

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra částí a mechanismů strojů



**DOKTORSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Analýza a plánování režijních činností ve výrobních systémech**

**Analysis and Planning of Indirect Labor in the Manufacturing Systems**

Studijní program: P2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301V031 Výrobní systémy a procesy

Doktorand: Ing. Petr Lepšík  
Školitel: Doc. Dr. Ing. Ivan Mašín

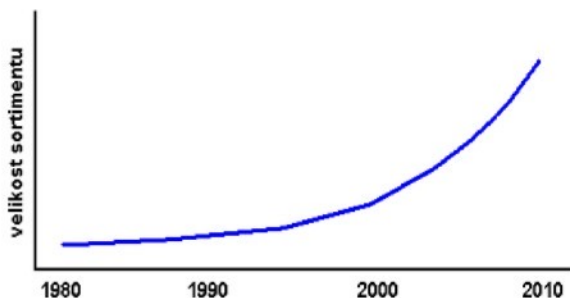
**Liberec 2010**

# 1 Úvod

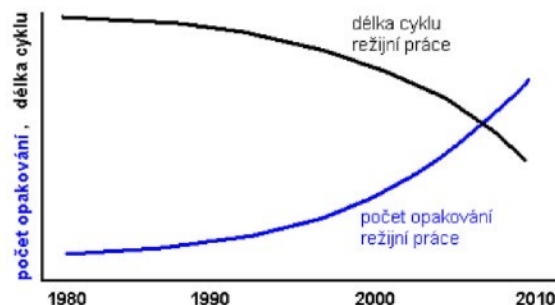
Pracovníci tvoří nedílnou součást každého podniku. Cílem většiny podniků je produkovat zisk. Pro dosažení vyšší produktivity podniku a vyššího zisku je potřeba stanovit skutečně potřebný počet pracovníků jednotlivých útvarů podniku.

Při zvyšování produktivity podniku byl doposud kladen důraz především na zvyšování produktivity v oblasti výroby. Problematikou zvyšování produktivity výrobního pracovníka pomocí monitorování a měření práce se poprvé skutečně začal zabývat Frederick Winslow Taylor (1856 - 1915), který položil základy tzv. vědeckého řízení, dnes nazývaného průmyslovým inženýrstvím. [21] Přístupům a metodám průmyslového inženýrství jsou věnovány např. monografie [124], [68], [52]. Principy, jež Taylor používal spočívaly v rozboru úkolu pracovníka, rozložení úkolu na pohyby a jejich analýze vedoucí k eliminaci zbytečných pohybů. Po těchto opatřeních začal vzestup produktivity pracovníka výroby o 3,5% ročně, což znamená, že se od „Taylorových časů“ produktivita zvýšila padesátinásobně. [21] Díky metodám analýzy a měření práce jsme v současné době schopni s poměrně velkou přesností určit čas potřebný k vykonání určitého objemu výrobní práce. Na základě znalosti tohoto času je pak možno stanovit počet výrobních pracovníků, jež jsou potřeba pro vykonání daného objemu práce. Způsob normování pracovního času je ovšem zatím znám pouze pro činnosti výrobních pracovníků. [78]

V současné době je stále více věnována pozornost zvyšování produktivity v oblasti režijních činností. Důvodem tohoto přechodu k režijním činnostem je, jak hledání dalšího prostoru k nalezení úspor, tak měnící se tržní prostředí, které zvyšuje nároky na produktivitu režijních pracovníků. Jednou z nejvýznamnějších změn je růst sortimentu. Rostoucí požadavky zákazníka nutí podniky vyrábět a dodávat na trh výrobky v nejrůznějších variantách a modifikacích tak, aby pro zákazníka vytvořily co možná nejširší spektrum nabídky jistého produktu. [69] Z pohledu výrobního podniku s sebou výroba velkého sortimentu vyráběného v malých sériích, přináší vyšší opakovanost režijních činností, jakými jsou např. přeseřizování strojů, údržba, manipulace, administrativa, technická příprava výroby atd. Rostoucí frekvence opakování režijních činností a zkracování jejich doby trvání je důvodem pro zaměření pozornosti do oblasti režijní práce. [70] Trend růstu sortimentu a komplexity strojírenských výrobků je znázorněn na obr. 1.1. Změna charakteru režijních činností, spočívající v růstu jejich frekvence opakování a zkracování jejich doby trvání je pak zachycena na obr. 1.2.



**Obr. 1.1** Trend růstu sortimentu a komplexity strojírenských výrobků\*



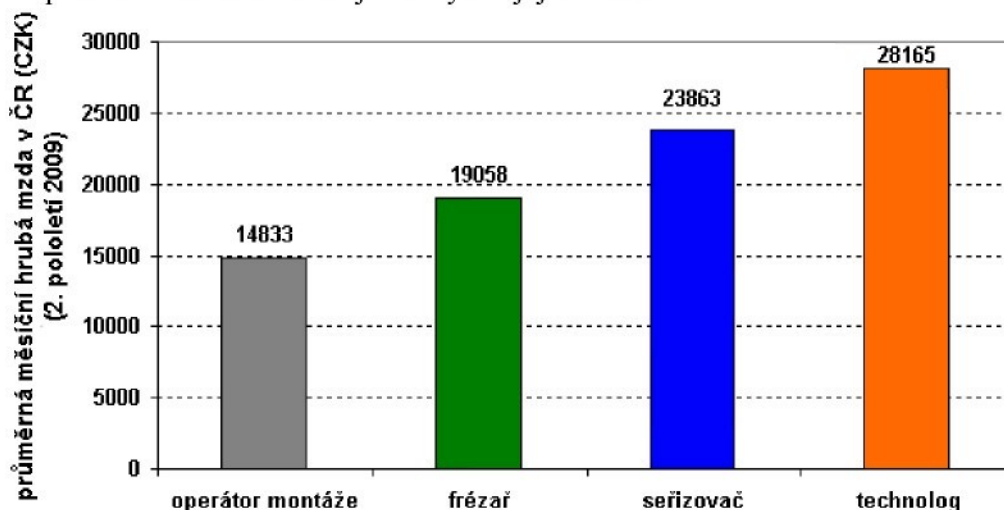
**Obr. 1.2** Změna charakteru režijní práce\*\*

\*Zdroj: Vlastní.

\*\*Zdroj: MAŠÍN, I.; KOŠTURIÁK, J.; DEBNÁR, P.: *Zlepšování nevýrobních procesů*. Liberec: Institut technologií a managementu, 2007. ISBN 80-903533-3-9



Dalším z důvodů zaměření pozornosti na oblast režijních činností jsou vyšší mzdy režijních pracovníků. Na obr. 1.3 je zachycen jejich růst.

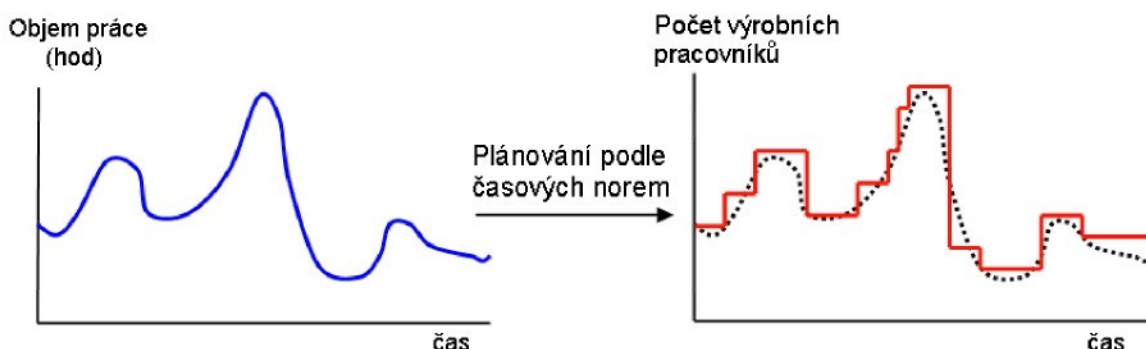


**Obr. 1.3** Porovnání výše mezd výrobních pracovníků (operátor montáže, frézař) a režijních pracovníků (seřizovač, technolog)

Zdroj: Kartotéka typových pozic – strojírenství. Ministerstvo práce a sociálních věcí. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://ktp.istp.cz/charlie/expert2/act/step2.act?lh=0&sm1=37>>

Stanovení potřebného počtu režijních pracovníků je díky uvedeným skutečnostem v dnešní době velmi aktuálním tématem. [70] V současné době existuje několik metod pomocí nichž je stanovován počet režijních pracovníků pro určitá pracoviště. Mezi nejčastěji používané metody patří poměrové plánování, využití měření spotřeby práce, plánování podle zásobníku práce, plánování podle rozpočtu, benchmarking či počítačová simulace diskretních událostí. Tyto metody ovšem poskytují pouze informativní údaje o doporučeném počtu režijních pracovníků.

Režijní činnosti se oproti činnostem výrobním vyznačují podstatně vyšší proměnlivostí hustoty požadavků práce v čase a mnohem vyšší nahodilostí jejich dob trvání. Tato stochastická povaha režijních činností doposud nedovolila vytvořit dostatečně přesnou metodu stanovení potřebného počtu režijních pracovníků. Rozdíly v současném stavu plánování potřebného počtu pracovníků v oblasti výrobních (jednicových) činností a v oblasti režijních činností jsou znázorněny na obr. 1.4. a obr. 1.5.



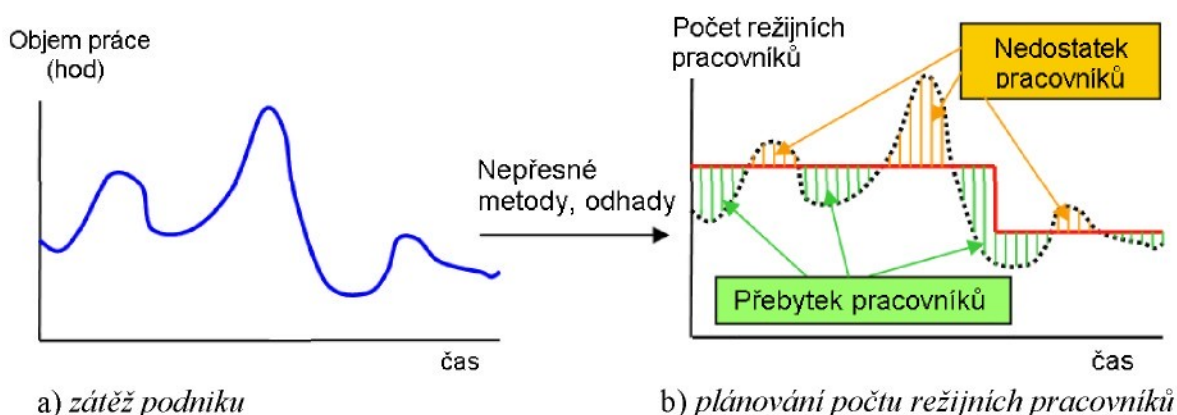
a) zátěž podniku

b) plánování počtu výrobních pracovníků

**Obr. 1.4:** Současné možnosti plánování výrobních pracovníků

Zdroj: Vlastní.

Z obrázků 1.4 a 1.5 je patrné, že zatímco u výrobních činností jsme schopni velmi přesně stanovit potřebný počet pracovníků a jejich plánování provádět s ohledem na proměnlivou zátěž podniku, tak u režijních činností zatím dochází pouze k určitým odhadům potřebného počtu režijních pracovníků, které navíc zpravidla nezohledňují proměnlivou zátěž podniku.



**Obr. 1.5:** Současné možnosti plánování režijních pracovníků

*Zdroj: Vlastní.*

Tento neuspokojivý stav plánování režijních pracovníků způsobuje podniku nezanedbatelné finanční ztráty. V případě přebytečného počtu pracovníků podnik zbytečně vynakládá finanční prostředky na mzdy pracovníků, které nepotřebuje. V opačném případě, kdy podnik nemá k dispozici dostatek režijních pracovníků může docházet k finančním ztrátám např. vlivem snížení plynulosti výroby a s ní spojený pokles produkce. Konkrétními případy mohou být čekání stroje na seřízení, čekání materiálu na přepravu, čekání výroby na technologický postup atd.

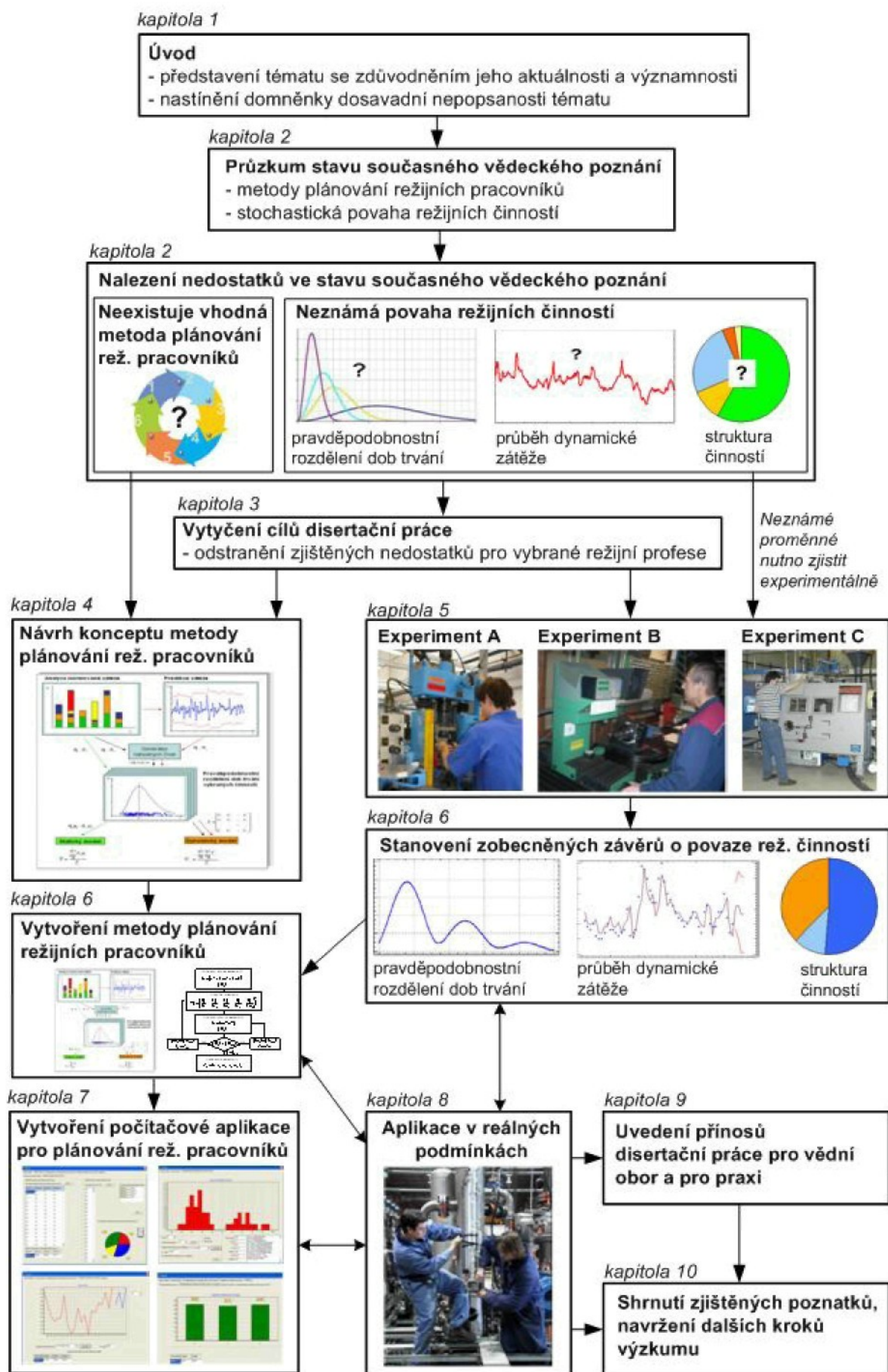
Vysoká aktuálnost, významnost, ale také neprostudovanost povahy režijní práce a prozatímni nenalezení uspokojivého způsobu plánování režijních pracovníků dává prostor k výzkumu stochastického chování režijních činností a vývoji metod plánování režijních pracovníků. Předkládaná disertační práce, která se chce stát příspěvkem k řešení této problematiky, se proto zabývá studiem povahy vybraných režijních činností a vývojem metodiky plánování vybraných skupin režijních pracovníků. Poznatky, získané v průběhu řešení tématu disertační práce, se opírají o experimenty realizované ve skutečných provozních podmínkách výrobních podniků.

Vlastním výstupem disertační práce jsou nové zobecněné závěry o povaze vybraných režijních činností, na jejich základě bylo možné vytvořit metodiku plánování vybraných skupin režijních pracovníků a sestavit výpočetní algoritmy plánování. Pro uživatelsky snazší aplikaci vytvořené metody a algoritmů byla navržena počítačová aplikace, která uživateli umožňuje provádět výpočty bez nároků na znalost použitých matematicko statistických nástrojů.

Zobecněné teoretické závěry, vytvořená metodika plánování včetně výpočetních algoritmů a navržená počítačová aplikace byly verifikovány v reálných provozních podmínkách výrobního podniku, kde byla potvrzena opodstatněnost teoretických závěrů, aplikovatelnost navržené metody a funkčnost sestavených algoritmů a navržené počítačové aplikace.

Struktura disertační práce je znázorněna na obr. 1.6.





Obr. 1.6 Struktura disertační práce

## 2 Stav současného vědeckého poznání

V této kapitole, představující podstatnou část rešeršní části předkládané disertační práce, bude přiblížen stav současného vědeckého poznání v oblasti kapacitního plánování lidských zdrojů. V úvodu kapitoly budou vymezeny pojmy a termíny z oblasti kapacitního plánování, které budou v práci vystupovat. Po té bude uveden způsob stanovení potřebného počtu výrobních pracovníků. Dále bude následovat 6 podkapitol, ve kterých budou představeny nejčastěji používané metody kapacitního plánování režijních pracovníků. Závěr kapitoly bude věnován kritickému rozboru a zhodnocení stávajících metod. Budou uvedeny nedostatky těchto metod a ukázán prostor pro hledání nových řešení. V souvislosti s nedostatky představených metod bude věnována pozornost také rozboru současného poznání povahy režijních činností.

### 2.1 Vymezení pojmů

V disertační práci budou používány pojmy a termíny z oblasti plánování lidských zdrojů. Pro jejich jednoznačnou interpretaci slouží následující přehled nejčastěji používaných pojmů.

**Výrobní činnost** (*Direct Labour*) – je každá činnost v procesu výroby nějakého výrobku, která výrobku přímo přidává hodnotu. Při provádění výrobní činnosti je přetvářen materiál, či polotovar ve výrobek. Příkladem výrobní činnosti může být obrábění, tváření, montáž atd..

**Režijní činnost** (*Indirect Labour*) – režijní činnost (někdy také nazývána činností nepřímou, podpůrnou, servisní, či nevýrobní) je každá činnost v procesu produkce nějakého výrobku, která výrobku přímo nepřidává hodnotu, ale její přítomnost ve výrobním procesu je nezbytná k produkování výrobků a chodu podniku. Režijní činnosti jsou děleny na režijní činnosti ve výrobě (těmi jsou např. seřizování strojů, údržba strojů, manipulace s výrobky a polotovary atd.) a na režijní činnosti mimo výrobu (příkladem může být technická příprava výroby, konstruování, plánování atd.).

**Výrobní pracovníci** (*Direct/Production Workers*) – pracovníci vykonávající výrobní činnosti. Příkladem výrobních pracovníků může být obsluha výrobních strojů či operátoři na montážních linkách.

**Režijní pracovníci** (*Indirect Workers*) – pracovníci vykonávající režijní práci. Režijní pracovníci jsou děleni na režijní pracovníky ve výrobě (např.: seřizovači strojů, pracovníci údržby strojů, manipulanti atd.) a na režijní pracovníky mimo výrobu (technologové, konstruktéři, plánovači, vedoucí pracovníci atd.).

**Kapacita** – potřebný počet pracovníků určité profese pro dané pracoviště.

**Kapacitní výpočet** – výpočet potřebného počtu pracovníků určité profese pro dané pracoviště.



**Kapacitní plánování** – vytvoření plánu, ve kterém budou uvedeny potřebné počty režijních pracovníků určité profese pro dané pracoviště na několik nadcházejících týdnů.

**Objem práce (hod)** – počet hodin práce, kterou má určitá skupina režijních pracovníků na daném pracovišti v daném týdnu vykonat.

**Vytíženost (%)** – procentuální vyjádření využití určité skupiny režijních pracovníků v daném týdnu.

**Zátěž** – počet výskytů určité činnosti, nebo skupiny činností v daném týdnu.

**Časová řada zátěže** – týdenní počty výskytů určité činnosti, nebo skupiny činností v minulých týdnech.

**Dynamická povaha zátěže režijní činností** – četnost výskytu takové činnosti je v čase proměnlivá.

**Doba trvání činnosti** – čas, za který pracovník vykoná danou činnost.

**Stochastická povaha doby trvání režijní činnosti** – doba trvání takové činnosti je náhodná.

**Stochastická povaha režijních činností** – souhrnné označení charakteru režijních činností, které se vyznačují jejich dynamickým (v čase proměnlivým) výskytem a stochastickou (náhodnou) dobou trvání.

**Hlavní činnosti** – takové pracovní činnosti, které jsou pro určitou profesi dominantní. Jejich výskyt bývá zpravidla zanašen do informačního systému podniku.

**Podružná činnost** – takové pracovní činnosti, které nejsou pro určitou profesi dominantní. Jejich výskyt zpravidla nebývá zanašen do informačního systému podniku.

**Dynamický model kapacitního plánování** – způsob kapacitního plánování režijních pracovníků, který zohledňuje tvar a parametry pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností

**Statický model kapacitního plánování** – způsob kapacitního plánování režijních pracovníků, který nezohledňuje tvar a parametry pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností

## **2.2 Kapacitní plánování výrobních pracovníků**

Před samotným představením metod kapacitního plánování režijních pracovníků bude představena metoda plánování výrobních pracovníků. Tato metoda vychází z předpokladu, že podnikatel potřebuje pracovníky k provedení určitého objemu práce, který lze vyjádřit pracovním časem. Na základě znalosti tohoto času je pak možno stanovit počet pracovníků, jež jsou potřeba pro vykonání daného objemu práce. [78]

Před samotným výpočtem potřebného počtu výrobních pracovníků je nezbytné definovat základní pojmy z této oblasti a uvést výpočet normovaného času na operaci, jež je hlavním prvkem stanovujícím objem práce.

#### **Základní pojmy [80], [78]**

**Čas práce jednotkové  $t_A$** , je čas nezbytně nutný k opracování jednoho kusu (popřípadě jiné vyráběné jednotky, jakou může být např. litr, čtverečný metr, apod.)

**Čas práce dávkové  $t_B$** , je čas nutný k přípravě práce na dané výrobní dávce. Konkrétně se může jednat o činnosti jakými jsou převzetí a prostudování výkresů a postupů, převzetí materiálu a speciálního nářadí, či přeseřízení stroje. Do dávkového času, mimo přípravy dané dávky, patří také čas potřebný k jejímu zakončení. Zde se může jednat např. o odevzdání výrobních dokladů, nářadí i hotových výrobků.

**Čas práce směnové  $t_C$** , je čas nutný pro uspořádání pracoviště na počátku směny a pro jeho úklid na konci směny. Do směnového času bývá také započítáván čas nutných přestávek, určených k přirozeným potřebám a oddychu pracovníka. Čas práce směnové je obvykle započítáván přírážkou k časům  $t_A$  a  $t_B$ . Toto započtení je provedeno pomocí koeficientu přírážky času směnového  $k_C$ , který je vyjádřen vztahem (2.1), kde  $T$  je normální čas 8-mi hodinové směny (480min.).

$$k_C = \frac{T}{(T - t_C)} \quad (2.1)$$

**Norma času jednotkového s přírážkou času směnového  $t_{AC}$**  [Nmin/kus] je pak dána vztahem (2.2).

$$t_{AC} = t_A \cdot k_C \quad (2.2)$$

**Norma času dávkového s přírážkou času směnového  $t_{BC}$**  [Nmin/dávka] lze vyjádřit vztahem (2.3).

$$t_{BC} = t_B \cdot k_C \quad (2.3)$$

**Normovaný čas na operaci  $t_N$**  [Nmin/kus] je čas potřebný k opracování jednoho kusu, přičemž je do tohoto času již zahrnut vliv času směnového i dávkového. Dávkový čas s přírážkou času směnového připadající na jeden kus je pak rozdělen podle počtu kusů v dávce  $d_v$ . Normovaný čas na operaci je popsán vztahem (2.4).

$$t_N = t_{AC} + \frac{t_{BC}}{d_v} \quad (2.4)$$

#### **Vlastní výpočet počtu výrobních pracovníků [80]**

Stanovený objem práce za určité období  $t$  (např. rok) je dán součinem normy spotřeby času na jeden výrobek  $t_N$  [Nh/ks] a počtem těchto výrobků  $q_t$  [ks/rok] plánovaných vyrobit v daném období. Tento počet musí být ještě zvětšen o počet kusů uvažovaných jako náhradní díly (vyjádřené koeficientem  $k_{ND}$ ) a o plánovaný odpad či zmetky (koeficientem  $k_{zm}$ ). Pokud je uvažováno  $m$  výrobků, je celkový objem práce dán součtem

práce pro všech  $m$  výrobků. Skutečný časový fond pracovníka je dán součinem časovým fondem pracovníka  $F_D$  [h/rok] a koeficientem plnění norem  $k_{pm}$ . Potřebný počet výrobních pracovníků je pak dán vztahem (2.5), tedy podílem celkového času potřebného ke splnění plánu a skutečného časového fondu pracovníka.

$$L_{VP} = \frac{\sum_{i=1}^m (t_N \cdot q_i \cdot k_{ND} \cdot k_{zm})}{F_D \cdot k_{pm}} \quad (2.5)$$

Tato metoda stanovení potřebného počtu výrobních pracovníků je s výhodou využívána již řadu let.

### **Metody kapacitního plánování režijních pracovníků**

Nyní již budou představeny metody kapacitního plánování režijních pracovníků, které jsou v současné době nejčastěji používány. Jsou jimi:

- Poměrové plánování,
- Využití metod měření spotřeby práce,
- Kapacitní plánování podle zásobníku práce,
- Kapacitní plánování podle rozpočtu,
- Benchmarking,
- Počítačová simulace,
- další méně používané.

## **2.3 Poměrové plánování**

Pomocí metody poměrového plánování je počet pracovníků vykonávajících režijní činnosti stanovován prostřednictvím empirických koeficientů. Ty jsou stanoveny s ohledem na počet výrobních pracovníků, stupeň automatizace výroby, velikost podniku a složitosti výroby.

### **2.3.1 Kapacitní výpočet režijních pracovníků ve výrobě**

Kromě výrobních pracovníků jsou ve výrobě nezbytní také režijní pracovníci, jako např. seřizovači, údržbáři, nástrojaři, skladníci, manipulanti a další pomocní pracovníci. Jejich práce je v současné době stále ještě obtížně normovatelná, a proto je počet těchto režijních pracovníků pomocí této metody stanovován podílem k pracovníkům výrobním. V kusové výrobě jejich počet činí asi 25%, v automatizované cca 75%, u pružných výrobních systémů řízených počítači je to až 120%. Tento podíl lze vyjádřit koeficientem  $k_{RP} = (0,25 \text{ až } 1,2)$ . Počet režijních pracovníků potom bude stanoven vztahem (2.6), kde  $L_{VP}$  je počet výrobních pracovníků popsáný vztahem (2.5). [23]

$$L_{RP} = k_{RP} \cdot L_{VP} \quad (2.6)$$

Celkový počet pracovníků pracujících ve výrobě, tedy výrobních i režijních, je pak dán vztahem (2.7).

$$L_P = L_{VP} + L_{RP} \quad (2.7)$$



### 2.3.2 Kapacitní výpočet režijních pracovníků mimo výrobu

Je zřejmé, že k chodu podniku jsou zapotřebí též manažeři, a to zpravidla na všech stupních řízení. Jejich počet je taktéž určován podílem, tentokrát ovšem k celkovému počtu pracovníků působících ve výrobě, tedy k  $L_P$ .

Management lze podle stupně řízení dělit na vrcholový, střední a provozní. Každému stupni managementu pak náleží určitý interval podílů, resp. koeficientů, kterými je pak násoben celkový počet pracovníků působících ve výrobě.

**Vrcholový management** – (ředitel podniku, obchodně-ekonomický ředitel, technicko-výrobní ředitel, apod.). Počet vrcholných manažerů je dán vztahem (2.8), kde  $k_{VM} = (0,01$  až  $0,03)$ , přičemž platí, že čím menší je podnik, tím větší je použit koeficient. [80]

$$L_{VM} = k_{VM} \cdot L_P \quad (2.8)$$

**Střední management** – (vedoucí výroby, vedoucí obchodního úseku, vedoucí kvalitář, personalista, plánovač, apod.). Počet středních manažerů je obdobně dán vztahem (2.9), kde  $k_{SM} = (0,08$  až  $0,12)$ , přičemž platí, že čím složitější je výroba, tím větší je použit koeficient. [80]

$$L_{SM} = k_{SM} \cdot L_P \quad (2.9)$$

**Provozní management** - (vedoucí svařovny, vedoucí lisovny, apod.). Počet provozních manažerů je pak dán vztahem (2.10), kde  $k_{PM} = (0,15$  až  $0,25)$ , přičemž platí, že čím menší je provoz a čím složitější je výroba, tím větší je použit koeficient. [80]

$$L_{PM} = k_{PM} \cdot L_P \quad (2.10)$$

Z výše uvedených vztahů (2.5) až (2.10), stanovujících potřebné počty pracovníků na různých pozicích, lze již snadno, jejich sečtením, stanovit celkový potřebný počet zaměstnanců podniku. Ten je popsán vztahem (2.11). Zapišeme-li tento vztah pomocí koeficientů, dostaneme rovnost (2.12). [80]

$$L = L_{VP} + L_{RP} + L_{VM} + L_{SM} + L_{PM} \quad (2.11)$$

$$L = L_{VP} \cdot (1 + k_{RP}) \cdot (1 + k_{VM} + k_{SM} + k_{PM}) \quad (2.12)$$

### 2.3.3 Výhody a nevýhody

Výhody této metody lze shrnout do následujících bodů:

- rychlá,
- levná,

- poměrně jednoduchá.

Mezi nevýhody této metody patří především:

- Značná nepřesnost stanovení potřebného počtu režijních pracovníků. Ze vztahu (2.12) je zřejmé, že je tato metoda velmi citlivá na volbu koeficientů. Ty se mohou, především pro výpočet režijních pracovníků ve výrobě, pohybovat v poměrně širokém intervalu. Výsledky získané pomocí této metody tedy poskytují jen hrubý odhad počtu režijních pracovníků.
- Metoda nezohledňuje skutečně plánovaný ani očekávaný objem práce.
- Metoda nezohledňuje stochastickou povahu režijních činností.

## **2.4 Využití metod měření spotřeby práce**

Další z přístupů kapacitního plánování režijních pracovníků vychází z využití metod měření spotřeby práce. Tento přístup je založen na myšlence, že pokud známe čas potřebný pro vykonání určitého objemu práce, jsme na základě známého časového fondu pracovníka schopni určit potřebný počet pracovníků.

### **2.4.1 Přehled metod měření práce**

Pro stanovení potřebného času pro vykonání určité operace existuje více metod. Nejčastěji používané metody poskytuje jsou uvedeny v následujícím přehledu: [48]

- Strukturované odhady [51]
  - Analytické odhady
  - Porovnávací odhady
- Časové studie [46]
  - Snímek operace
    - snímek průběhu práce,
    - chronometráž (plynulá, výběrová, obkročná),
    - filmový záznam.
  - Snímek pracovního dne
    - jednotlivce,
    - hromadný,
    - vlastní.
  - Snímek dvoustranného pozorování.
- Momentkové pozorování [49]
- Metody předem určených časů [18]
  - MOST (*Maynard Operation Sequence Technique*) – Basic MOST, Mini MOST, Maxi MOST, Admin (Clerical) MOST
  - UMS (*Universal Maintenance Standards*) - Univerzální údržbové standardy
  - MTM (*Method Time Measurement*) – MTM1, MTM2, MTM3
  - Další: USD, UAS, MEK, WOFAC, atd.
- Podnikové normativy. [50]

Výběr vhodné metody měření spotřeby času závisí na délce cyklu operace, objemu vykonávané operace, požadované přesnosti měření a požadavcích na rychlost stanovení norem spotřeby času. [48]

Pro režijní činnosti je typický dlouhý čas cyklu a nízká opakovanost činností. Pro takovéto činnosti je, z výše uvedených, vhodné použít následující metody měření práce:

- Strukturované odhady,
- Snímkování pracovního dne,
- Snímkování operace – snímek průběhu práce,
- Maxi MOST,
- Admin MOST,
- UMS (*Universal Maintenance Standards*) - Univerzální údržbové standardy,
- Momentové pozorování – pro stanovení struktury činností.

## 2.4.2 Strukturované odhady

Odhady času jsou pravděpodobně nejstarší technikou stanovení spotřeby času. Odhady vychází ze zkušeností, od kterých se také odvíjí jejich přesnost. Metoda strukturovaných odhadů se snaží pro zvýšení přesnosti odhadů využít metodický postup, tak aby se dosažené výsledky co nejvíce blížily skutečnosti. Z hlediska metodologie rozlišujeme:

- analytické odhady,
- porovnávací odhady. [51]

### Analytické odhady

Jsou kombinací odhadů a syntézy z databanky norem. Založené jsou na rozdělení práce na více složek, pro které se stanoví norma času odhadem, nebo měřením. Odchylky v normě času pro jednotlivé složky jsou náhodné, a proto se navzájem vykompenzují tak, že celková norma času bude v přijatelné přesnosti. [51]

### Porovnávací odhady

Porovnávací odhady, v anglicky psané literatuře označované jako *Slotting*, jsou založené na porovnávání obsahu činností se vzorky činností, které mají známou časovou normu. Vzorky činností jsou vybrány tak, aby reprezentovaly celý rozsah vykonávaných činností. Jejich časová norma je stanovována pomocí jiných měřicích technik s vyšší přesností. [51]

Princip porovnávacích odhadů vychází z myšlenky, že je obvykle snazší odhadnout zda práce vyžaduje více či méně času než jiná práce, než-li izolovaně stanovit spotřebu času. Plánovač provádí na základě svého vlastního uvážení rozhodnutí o tom, do jaké skupiny časové náročnosti daná činnost spadá. Ačkoli daná činnost nebude přesně odpovídat zástupci vybrané skupiny, bude náležet do tohoto intervalu a to je dostačující odhad, resp. nejlepší možný s využitím této metody. [82] Poměrně podrobný návod jak postupovat při aplikaci metody *Slotting* je popsán v monografii [82].

Mezi výhody strukturovaných odhadů patří to, že jsou, u porovnávacích odhadů po vytvoření knihovny činností, levné a rychlé. Nevýhodou je jejich nižší přesnost. Strukturované odhady se nejčastěji používají pro hrubé stanovení spotřeby času, např. za účelem rychlého stanovení cenové nabídky. Vhodné jsou pro operace s dlouhým časem cyklu a nízkou opakovaností. [51]

### 2.4.3 Snímkování operace

Snímky operace jsou zaměřeny na určitou pracovní operaci, pracovní úkol, nebo cyklus. Vyhodnocuje se trvání jednotlivých pozorovaných dějů připadajících na množství zpracované během operace (cyklu).

Cílem snímkování operace je získat podkladový materiál pro tvorbu normativů, nebo norem času. Dalším cílem je posouzení účelnosti pracovního postupu a tvorba podkladů pro zlepšující opatření. [46]

#### Snímek průběhu práce

V průběhu snímkování je zapisována mimo druhu činnosti, také spotřeba času na vykonání činnosti a výskyt neočekávaných činností s nepravidelným cyklem.

#### Chronometráž

Úkoly jsou sepsány již před měřením, na místě je pak zapisována spotřeba času. Chronometráž se využívá ke zjištění jednicového času operace přímým měřením. [72]

Vzhledem k nízké standardizaci režijních činností a jejich dlouhým časům cyklů, není tato metoda pro stanovení spotřeby času režijních činností vhodná.

### 2.4.4 Snímkování pracovního dne

U snímků pracovního dne je pozorování zaměřeno na celou pracovní směnu. V průběhu snímkování je zapisován jak druh práce, tak i spotřeba času. Tyto údaje jsou zapisovány do formuláře, viz. [47]. Vyhodnocení spočívá v tom, že je zjištěn časový podíl činností v celé pracovní směně.

Snímkování pracovního dne se provádí za účelem provedení rozboru organizace práce a získání podkladů pro odstraňování nedostatků a příčin časových ztrát. Snímky poskytují informace o vytížení pracovníků a podklady pro stanovení normativů časů. [72]

Snímek pracovního dne jednotlivce je podrobný, ale může být nahodilý, proto se musí opakovat, což je nákladné. Hromadný snímek pracovního dne (obchůzkový snímek) umožňuje zjišťovat spotřebu času více pracovníků současně. Intervaly zápisu v závislosti na počtu pozorovaných pracovníků udává tabulka 2.1. [5]

**Tab. 2.1** *Intervaly zápisu v závislosti na počtu pozorovaných pracovníků*

|                       |        |         |          |          |          |
|-----------------------|--------|---------|----------|----------|----------|
| Počet pracovníků      | 3 až 6 | 7 až 12 | 13 až 18 | 19 až 24 | 25 až 30 |
| Interval zápisu (min) | 1      | 2       | 3        | 4        | 5        |

Zdroj: BAUER, J. a kol.: *Metodika normování práce*. Praha: TÚSTE Praha, 1972.

Při snímkování režijních pracovníků ve výrobě, jakými jsou seřizovači či údržbáři, dochází k tomu, že pracovníci nahodile vykonávají práci na různých strojích v různých částech výrobní haly. Při snímkování skupin takovýchto pracovníků jsou, v závislosti na velikosti výrobní haly, její přehlednosti apod., intervaly větší. Ještě větší intervaly je potřeba volit při snímkování skupiny manipulantů, obzvláště manipulantů s vysokozdviznými vozíky. [62]



## 2.4.5 Momentkové pozorování

Momentkové pozorování je proces provádění náhodného pozorování předdefinovaných činností operátora a stanovení jejich relativního zastoupení v časovém fondu pracovníka [1]. Cílem metody momentkového pozorování tedy není zjistit dobu trvání určitých činností, ale zjistit strukturu časového fondu pracovníka. Momentkové pozorování je určené především pro měření práce skupin pracovníků v delším časovém období a na větším prostoru.

Metoda momentkového pozorování obsahuje přípravnou část, do které spadá:

- vymezení činností,
- určení pozorovacího stanoviště, kde pozorovatel zaznamená ve stanovený okamžik jakou činnost pracovník vykonává,
- stanovení výchozího času obchůzek, obchůzky se pak provádějí ve zvolených nepravidelných intervalech podle časového plánu,
- vytyčení trasy obchůzky.

Dále následuje samotné pozorování, kde pozorovatel provádí, podle předem stanoveného harmonogramu, v určeném pořadí obchůzky pracovišť a zaznamenává výskyt příslušných dějů. Po provedení náměrů následuje fáze jejich vyhodnocení. [72]

Pro zajištění požadované přesnosti naměřených výsledků je potřeba provést určitý počet pozorování, ten je dán vztahem (2.13). [72]

$$n = \frac{4(1-p)}{p \cdot y^2} \quad (2.13)$$

Kde:

- $n$  ... potřebný počet pozorování,
- $p$  ... předpokládaný podíl četnosti výskytu dané činnosti vůči výskytu všech činností, (při jeho odhadu je třeba vycházet z výsledků dřívějšího šetření, nebo z namátkového šetření, které je k tomuto účelu provedeno),
- $y$  ... procento přípustné nepřesnosti výsledků měření vyjádřené desetinným číslem.

Bližší je metoda momentkového pozorování popsána např. v monografiích [81] nebo [37].

Nevýhodou této metody je, že pomocí ní lze určit pouze strukturu práce, nikoliv doby trvání konkrétních činností. Další nevýhodou je její časová náročnost, pro pořízení dostatečného počtu náměrů je v některých případech potřeba provádět pozorování i několik týdnů.

## 2.4.6 Maxi MOST

Maxi MOST (*Maynard Operation Sequence Technique*) je jedna z metod systémů předem určených časů. Tato metoda je určena pro stanovení času operací s dobou trvání od dvou minut do několika hodin (2000 až 20000 TMU<sup>1</sup>), které se vyskytují méně než 150 krát za

---

<sup>1</sup> TMU (*Time Measure Unit*) je časová jednotka využívaná v systémech předem určených časů,

týden. [126] Z toho důvodu je tuto metodu možno využít pro měření času režijních činností.

Pro měření spotřeby času jednicové práce je využíván systém Basic MOST, pro operace s cyklem kratším než 10 sekund systém Mini MOST. Pro oblast administrativních činností je využíván systém Admin MOST (dříve nazývaný Clerical MOST). Rozvoj systému Admin MOST vytvořením systému Integrovaných administrativních aktivit (IAA) je popsán v [68].

Systémy předem určených časů (*Predetermined Motion Time Systems – PMTS*) jsou obecně založeny na využití katalogů standardizovaných časů základních pohybů, sloužících k určení normálního času potřebného k vykonání úkolu. Pro měření spotřeby času pomocí systémů předem určených časů tedy není využíváno časoměrných přístrojů. [71]

Systémy MOST vycházejí z definice práce, která je dána součinem síly a vzdálenosti. Přemísťování objektů sleduje určité opakující se vzorce (sáhnout, uchopit, přemístit, umístit). Tyto vzorce byly identifikovány a uspořádány jako **sekvence** pohybových prvků (subaktivit), uplatněné při přemísťování objektů. Subaktivity se v těchto sekvencích mění nezávisle jedna na druhé, podle jejich skutečného pohybového obsahu. Sekvenční modely ukazují sérii událostí, nebo fází, které nastávají při přemísťování objektu, nebo používání nástroje.

Sekvence pohybových prvků jsou zapisovány jako sekvence určitých písmen. Ke každému písmenu sekvence je pak přiřazen číselný index, jehož velikost určuje čas potřebný k vykonání činnosti. Hodnoty indexů jsou vybrány z datakarty podle aplikačních pravidel. [71] Sečtením všech přiřazených indexů a vynásobením získaného součtu koeficientem 100 dostaneme potřebný čas pro vykonání operace v jednotkách TMU [70]. Příklad sekvence s indexy pro případ obecného přemístění systému může vypadat následovně [77]:

|                  |                                                  |                                                  |                      |
|------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------|
| Fáze:            | Získat                                           | Položit                                          | Návrat               |
| Sekvenční model: | <b>A<sub>6</sub> B<sub>6</sub> G<sub>1</sub></b> | <b>A<sub>1</sub> B<sub>0</sub> P<sub>3</sub></b> | <b>A<sub>0</sub></b> |

Kde písmena sekvence mají následující význam: A-akce na určitou vzdálenost (Action Distance), B-pohyb těla (Body Motion), G-získání kontroly (Gain Control), P-umístění (Placement). Tento příklad je pouze ukázka jedné sekvence. Podrobně je systém MOST popsán v monografii [126] K. B. Zandina.

Výhodou této metody měření spotřeby práce je její objektivita. Dále je to možnost provést stanovení spotřeby času již ve fázi návrhu pracoviště. Nevýhodou této metody je nezohlednění stochastické povahy režijních činností.

## 2.4.7 Univerzální údržbové standardy

Univerzální údržbové standardy (*Universal Maintenance Standards – UMS*) tvoří systém měření spotřeby práce využívaný především v oblasti údržby.

---

1TMU = 0,036 s.

Princip tohoto systému vychází z Taylorova přístupu založeném na rozkladu práce na elementy. Rozsáhlá údržbářská práce je dělena na elementy, které lze snadněji plánovat a řídit s větší přesností. Je vycházeno z přístupu, že údržba odpovídá výrobě, pouze má delší čas cyklu. Rozklad údržbářské práce na elementární činnosti s sebou přináší, díky jejímu dlouhému času cyklu, velký počet elementárních činností. Doba trvání každé elementární činnosti je pak měřena zvlášť. [117]

Univerzální údržbové standardy vycházejí z pěti úrovní dat, kterými jsou: základní pohyby, základní operace, řemeslné operace, typové činnosti, rozšířený seznam činností.

Časy základních pohybů a základních operací (např. přemístění předmětu určité hmotnosti na určitou vzdálenost) jsou určeny pomocí systému MOST. Základní pohyby a základní operace se vyskytují u každého odvětví údržby. Řemeslné operace jsou pro každé odvětví údržby rozdílné.

Typové činnosti se skládají ze základních a řemeslných operací. Tyto činnosti jsou typickými a nejčastějšími činnostmi, které se v daném odvětví údržby vyskytují. Spotřeba času dalších činností je stanovována na základě podobnosti s typovými činnostmi. V současné době je pro všechna odvětví údržby sestavena knihovna čítající přibližně 1200 typových činností. [122]

Rozšířený seznam činností v sobě zahrnuje mimo typových činností a pomocí nich určených dalších činností, také časy potřebné pro přípravu každé z činností, čas pro odpočinek a nevyhnutelné časové ztráty. Pokud je již rozšířený seznam činností vytvořen, jeho využití pro několika hodinovou činnost zabere jen několik málo sekund. [122]

Variabilita času potřebného pro vykonání určité údržbářské činnosti je zde zohledněna vymezením časového intervalu. Jeho velikost je stanovena tak, aby tento interval pokryl 95% případů. Při plánování práce je pak počítáno s horní hranicí vymezeného intervalu. [120]

Po vytvoření samotných standardů hraje významnou roli jejich správné využití. Ve většině podniků provádí plánování údržby supervizor, nebo přímo údržbáři. Praxe ukazuje, že oddělení údržby dosahuje mnohem vyšší produktivity, pokud jsou součástí tohoto oddělení plánovači údržby. Pozici plánovačů by měli zastávat nejschopnější z údržbářů. Úkolem plánovače je zajistit dostupnost potřebného nářadí, technické dokumentace, dílů apod. a rozdělení práce podle dovedností jednotlivých údržbářů. Vhodný poměr počtu údržbářů ku počtu plánovačů je 20 až 30:1. [119] Začleněním plánovačů do oddělení údržby dochází k ušetření 20 až 30% údržbářů. Tzn., že např. oddělení údržby se 30-ti údržbáři a jedním plánovačem odpovídá oddělení údržby s 36 až 39 údržbáři. [118] Většina oddělení bez plánovače je produktivní jen z 50 až 60%. Produktivitu 60% ukazuje také případová studie [121]. Studie ukazují, že produktivita oddělení údržby, s využitím plánovače a univerzálních údržbových standardů, vzroste přinejmenším na 80%. [120]

Vedle univerzálních údržbových standardů využívaných převážně v průmyslové sféře se rozvíjejí také tzv. Inženýrské výkonové standardy (*Engineered Performance Standards - EPS*), pomocí kterých lze měřit a plánovat i v dalších nevýrobních oblastech, jakými jsou např. státní správa, finančníctví, vzdělávání či zdravotnictví. [120]

Výhodou využití univerzálních údržbových standardů je, že tento systém vychází ze skutečného objemu práce, který je potřeba vykonat. Pomocí seznamu činností lze s dostatečnou přesností stanovit střední hodnotu očekávané doby trvání úkolu.

Nevýhodou univerzálních údržbových standardů je jejich úzké zaměření pouze na oblast údržby. Pro kapacitní plánování dalších režijních profesí, jakými jsou např. seřizovači strojů či manipulanti tato metoda není vhodná. Další nevýhodou je jejich obtížná aplikovatelnost v každodenní praxi. Obtíže se objevují především při výběru odpovídajícího standardu a jeho rychlém nalezení. Dalším nedostatkem je nezohlednění stochastické povahy doby trvání údržbářských činností.

#### **2.4.8 Výhody a nevýhody**

Oblast měření spotřeby práce v sobě zahrnuje, stejně tak jako tato podkapitola, více metod měření práce. Každá z metod se vyznačuje jinými rysy a má jiné výhody a nevýhody. Obecně lze ovšem shrnout výhody využití měření spotřeby práce pro kapacitní plánování režijních pracovníků do následujících bodů:

- Metody měření spotřeby režijní práce, především metody MaxiMOST, AdminMOST, USM a snímkování operace, poskytují dostatečně přesné informace o velikosti doby trvání určité činnosti.
- Pomocí metod snímkování pracovního dne a momentkové pozorování lze získat informace o struktuře činností režijních pracovníků.

Naopak nevýhody využití metod měření spotřeby práce pro kapacitní plánování režijních pracovníků lze popsat následujícími body:

- Metody měření spotřeby režijní práce vyžadují poměrně vysokou časovou náročnost na pořízení dat.
- Tyto metody nezohledňují stochastickou povahu výskytu činností.
- Redukování stochastické povahy doby trvání režijních činností na jejich střední hodnoty.

### **2.5 Kapacitní plánování podle zásobníku práce**

Metoda kapacitního plánování podle zásobníku práce (pracovních úkolů) je v anglicky psané literatuře označována jako Backlog Management.

Definice pojmu backlog se v literatuře nepatrně liší zdroj od zdroje, z vybraných pramenů [74], [82], [24] můžeme uvést například následující definice:

Pojmem backlog je v oblasti plánování údržby nazýván zásobník pracovních úkolů. Tento zásobník úkolů je vygenerován z požadavků na údržbu strojů. [75]

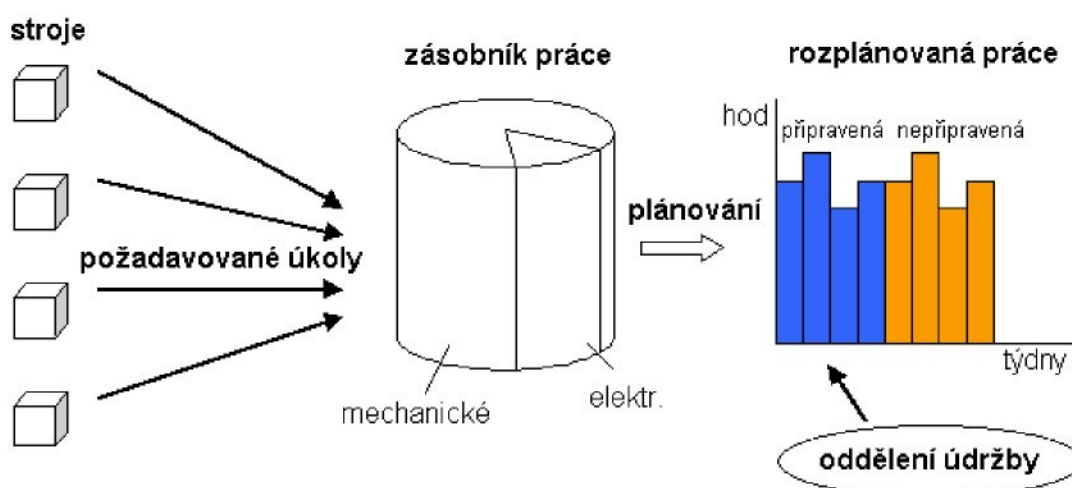
Backlog je definován jako určitý zásobník úkolů údržbářské práce které je potřeba vykonat, přičemž je udáván v hodinách. [82] Zde uveďme poznámku k jednotkám, v kterých je zásobník udáván. Primárně je zásobník udáván v hodinách, pro praktičtější využití je při zohlednění dostupných zdrojů a pracovního kalendáře zásobník udáván v týdnech.

Backlog lze také chápat jako souhrn úkolů údržbářské práce čekajících na její rozplánování. [24]

S pojmem backlog se pojí pojem backlog management, ten se zabývá plánováním a rozvrhováním práce tak, aby byla vykonána pomocí dostupných zdrojů ve stanoveném pořadí a do stanoveného data.

Backlog management tedy ve své podstatě není metoda explicitně určená k plánování kapacit, ale k plánování úkolů pro oddělení údržby. K tomuto plánování patří práce s lidskými zdroji, proto je backlog management přímým podkladem pro kapacitní plánování lidských zdrojů v oblasti údržby.

Zjednodušený princip procesu plánování práce s využitím zásobníku práce je znázorněn na obr. 2.1.



**Obr. 2.1** Princip procesu plánování práce s využitím zásobníku práce

*Zdroj: Vlastní.*

### 2.5.1 Proces plánování práce pomocí zásobníku práce

Plánování údržby strojů pomocí zásobníku práce probíhá obecně ve čtyřech hlavních krocích.

1. Shromáždění požadované práce.
2. Vytvoření pořadí úkolů a příprava podkladů, nástrojů a příslušenství potřebných k provedení úkolu.
3. Vytvoření časového harmonogramu pro plnění úkolů.
4. Provedení práce a aktualizace backlogu. [24]

#### 1) Shromáždění požadované práce

Prvním krokem je zařazení úkolů, které je potřeba vykonat, do zásobníku práce. Při zařazování úkolů je nutno uvést priority jednotlivých úkolů, požadovaná data dokončení jednotlivých úkolů a typ úkolů. [2] Naléhavé a nepopsatelné požadavky do zásobníku práce nepatří. [12]



## 2) Vytvoření pořadí úkolů a příprava podkladů, nástrojů a příslušenství potřebných k provedení úkolu

Podle uvedených priorit je stanoveno pořadí úkolů. Pro zařazení úkolů do zásobníku připravené práce je potřeba obstarat potřebné dostupné lidské zdroje, zařízení, nástroje, materiál, technickou dokumentaci atd. V této fázi plánovač také odhaduje doby trvání provedení jednotlivých úkolů. [75]

## 3) Vytvoření časového harmonogramu pro plnění úkolů [12]

V této fázi je úlohou plánovače rozplánovat jednotlivé úkoly tak, aby bylo pokud možno dodrženo datum jejich požadovaného dokončení. Při tomto plánování musí plánovač počítat s omezenou kapacitou lidských zdrojů. Plánování podle zásobníku práce poskytne informace o tom, jaké lidské zdroje budou vyžadovány v následujících týdnech a měsících.

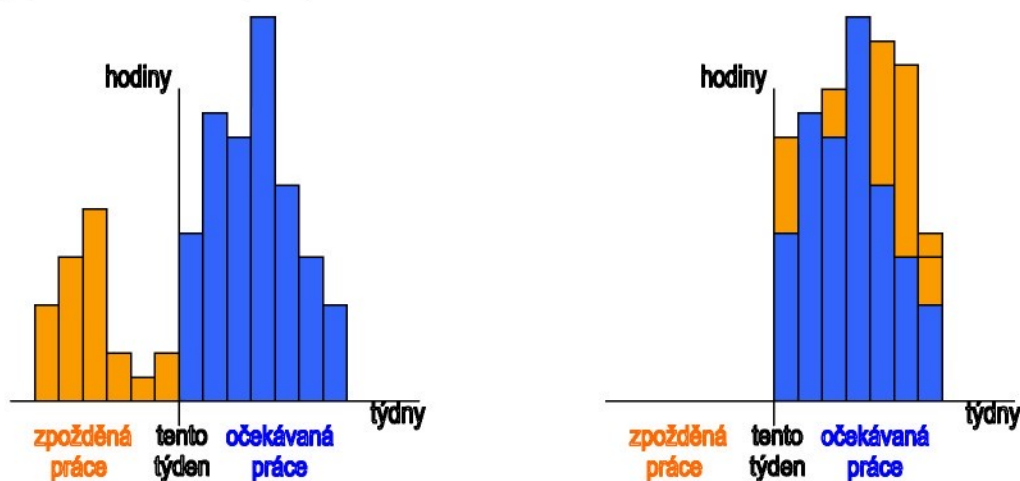
Nástroj, který může být velice užitečný pro sestavování týdenních rozvrhů je sloupcový diagram dob trvání požadovaných úkolů. Postup jeho vytvoření je následující:

- seřazení veškeré požadované práce podle požadovaného data dokončení,
- rozřídění práce do týdnů,
- sečtení hodin předpokládaných dob trvání úkolů v každém týdnu a vytvoření sloupcového diagramu.

Tento proces může být ve větším podniku udělán pro každé oddělení.

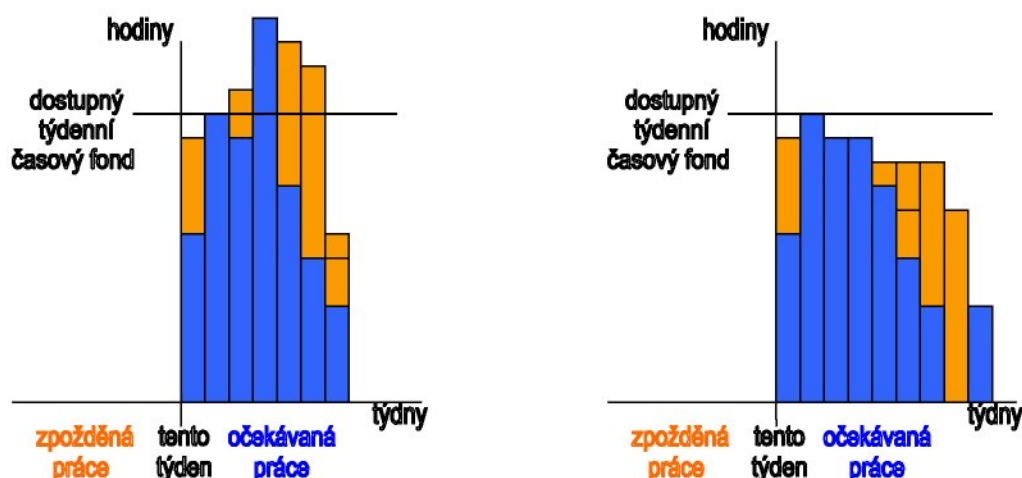
Určité zpoždění plnění práce je akceptovatelné, ale rostoucí počet úkolů se zpožděním, musí být přeplánován (viz. obr. 2.2). Za tím účelem může plánovač vyžadovat poskytnutí nových (přepřacovaných) požadavků od zadavatele požadavků práce. Někdy má plánovač kompetenci určovat priority jednotlivých požadavků sám.

Plán činností je často vygenerován počítačovým systémem týden před očekávaným plněním úkolu. Z toho důvodu se v diagramu neodráží aktuální plán pro všechny naplánované týdny. Aktuální plán práce je upřesňován vždy týden dopředu. Z tohoto hlediska rozlišujeme dva druhy plánování, předběžné na několik týdnů dopředu a přesné vždy pouze na následující týden.



Obr. 2.2 Backlog management – 1.a 2. fáze rozvrhování

Zdroj: Vlastní.



a) zanesení dostupného týdenního časového fondu      b) konečná podoba naplánované práce do omezených, dostupných kapacit

**Obr. 2.3** Backlog management – 3.a 4. fáze rozvrhování

Zdroj: Vlastní.

Dalším krokem je výpočet celkových hodin, které je oddělení údržby za týden schopno odpracovat. Tento celkový počet hodin se vypočítá jako součin počtu pracovníků a časového fondu jednoho pracovníka. Vypočítaný počet hodin je dále násoben koeficientem pro zohlednění absencí (bývá počítáno se 7% absencí) [12]. Nakonec je od vypočítané hodnoty potřeba odečíst hodiny, které oddělení údržby spotřebuje na jinou než preventivní údržbu. Tento výpočet lze popsat vztahem (2.14).

$$T_D = T_{pt} \cdot PDP \cdot 0,93 - T_{NPM} \quad (2.14)$$

Kde je:

- $T_D$  ... počet dostupných hodin oddělení údržby pro preventivní údržbu,
- $T_{pt}$  ... časový fond jednoho pracovníka,
- $PDP$  ... počet dostupných pracovníků oddělení údržby,
- $T_{NPM}$  ... počet hodin, které oddělení údržby spotřebuje na jinou než preventivní údržbu

Pokud je tomu tak jako na obr. 2.3a, kde plán překračuje počet hodin jež jsou k dispozici, lze toto přetížení zdrojů řešit pomocí přesčasů. V případě, že ani využití přesčasů nevede k řešení, bývá provedeno přeplánování změnou priorit objednávek práce a přesunutí práce do dalších týdnů (viz. obr. 2.3b). Tímto způsobem provádí plánovač aktualizaci každý týden, toto plánování vždy na týden dopředu se ukazuje být vhodné především z důvodu možnosti odhalení případných kapacitních nedostatků.

Mnoho počítačových systémů řízení údržby (*Computerized Maintenance Management System - CMMS*) [85] v určité podobě obsahuje popsané nástroje plánování údržby. Tyto systémy však zpravidla neobsahují grafické výstupy. Datové výstupy jsou ovšem použitelné pro tvorbu grafů v jiných aplikacích. [12]

#### 4) Provedení práce a aktualizace zásobníku práce

Poslední fází je již samotné provedení požadované práce. V případě správného plánování v předchozích fázích je požadovaná práce vykonána určeným zdrojem v požadovaný čas. Po provedení práce je potřeba aktualizovat zásobník práce tak, aby provedená práce nezůstávala nadále v zásobníku a nedocházelo k opětovnému plánování již provedené práce. [74]

### 2.5.2 Ukazatele zásobníku práce

#### Velikost zásobníku práce [12]

Velikost zásobníku je indikátorem schopnosti oddělení údržby vykonat požadovanou práci, která je generována každý den. Tento ukazatel slouží také ke stanovení potřebného počtu pracovníků. Velikost zásobníku údržbářské práce je celkový očekávaný počet hodin potřebný pro vykonání veškeré naplánované práce. Při zohlednění dostupných zdrojů a pracovního kalendáře lze pomocí vztahu (2.15) vyjádřit velikost zásobníku práce v týdnech, které jsou potřeba ke splnění požadované práce.

$$B = \frac{t_{pp}}{T_{pt} \cdot PDP} \quad [\text{týdny}] \quad (2.15)$$

Kde je:

- $t_{pp}$  ... počet hodin požadované práce,
- $T_{pt}$  ... počet pracovních hodin týdne,
- $PDP$  ... počet dostupných pracovníků.

Tímto způsobem lze vypočítat jak velikost zásobníku připravené práce, tak velikost celého zásobníku práce. Rozdíl je v uvedení hodnoty  $t_{pp}$ , kde jsou pro zásobník připravené práce uváděny pouze počty hodin připravené práce a pro celý zásobník práce počty hodin připravené i nepřipravené práce.

V literatuře se doporučovaná velikost zásobníku práce do jisté míry liší. Prostudované prameny uvádí jeho následující doporučenou velikost:

- 2 až 8 týdnů [12], [82],
- 2 až 6 týdnů [41],
- 3 až 5 týdnů [75].

Velikost zásobníku práce přímo poukazuje na kapacitní vytížení lidských zdrojů. V případě, že se velikost zásobníku práce trvaleji drží pod hodnotou dvou týdnů a navíc je prioritou úkolů nízká, dochází k nevytíženosti zdrojů a je tak žádoucí snížení počtu pracovníků. Naopak v případě, že je velikost zásobníku práce vyšší než 8 týdnů, bude docházet k tomu, že úkoly s vysokou prioritou nebudou plněny včas. Tento stav se dá rychle řešit pomocí přesčasů, nebo úpravou pracovní smlouvy. Pokud se zásobníku práce trvale drží nad hodnotou 8 týdnů, je nezbytné zvýšit počet pracovníků. [12]

#### Zásobník připravené práce

Zásobník připravené práce je taktéž udáván v týdnech a říká, na kolik týdnů dopředu je naplánována práce, která je již připravena k provedení. Za takovou práci je považována práce, u které jsou známy a připraveny metody pro její provedení, požadované lidské zdroje s uvedením jejich dovedností, potřebné součásti, nástroje, přípravky a příslušenství, materiál, technická dokumentace, bezpečnostní opatření, potřebná povolení. [75] V literatuře je uváděno, že hodnota připraveného backlogu by se měla pohybovat v rozmezí od 2 do 4 týdnů [82], [41].

Pro snadnější řízení převodu úkolů z celkového backlogu do připraveného backlogu je využíváno tzv. statutů úkolů. Každému úkolu je přiřazen status, který uvádí nedostatky v připravenosti úkolu k dosažení stavu připraven k provedení [82].

### Index zásobníku práce [36]

Vypovídá o růstu či poklesu velikosti zásobníku práce. Index zásobníku práce je označován zkratkou *BMI* (*Backlog Management Index*) a lze ho vypočítat ze vztahu (2.16).

$$BMI = \frac{UP}{PP} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.16)$$

Kde je:

*UP* ... počet vyřešených (uzavřených) úkolů během měsíce,  
*PP* ... počet došlých požadavků práce během měsíce.

V případě, že platí nerovnost (2.17), hodnota velikosti zásobníku práce klesá. Platí-li nerovnost (2.18), velikost zásobníku práce roste.

$$BMI < 100 \quad \dots \text{velikost zásobníku práce klesá} \quad (2.17)$$

$$BMI > 100 \quad \dots \text{velikost zásobníku práce roste} \quad (2.18)$$

Rychlost poklesu či růstu velikosti zásobníku je hlídána dolním kontrolním limitem *LCL* (*lower control limit*) a horním kontrolním limitem *UCL* (*upper control limit*), tyto limity jsou zpravidla stanoveny na hodnoty 80 a 120%. [36]

### 2.5.3 Stanovení počtu pracovníků pomocí zásobníku práce

Z výše uvedeného je zřejmé, že zásobník práce lze využít pro kapacitní plánování lidských zdrojů v oblasti údržby. Explicitním vyjádřením počtu dostupných pracovníků *PDP* ze vztahu (2.15) dostáváme rovnost (2.19), která při dodržení doporučené velikosti zásobníku práce udává potřebný počet pracovníků *PPP*.

$$PDP \approx PPP = \frac{t_{pp}}{T_{pt} \cdot B} \quad (2.19)$$

Kde je:

*t<sub>pp</sub>* ... počet hodin požadované práce,  
*T<sub>pt</sub>* ... počet hodin pracovního týdne,  
*PDP* ... počet dostupných pracovníků,  
*PPP* ... počet potřebných pracovníků,

$B$  ... velikost zásobníku práce,  $B = 2$  až 8 týdnů [12], [82], 2 až 6 týdnů [41], 3 až 5 týdnů [75].

## 2.5.4 Výhody a nevýhody

Výhody kapacitního plánování lidských zdrojů využitím zásobníku práce lze shrnout do následujících bodů:

- Plánování práce a kapacit vychází ze skutečných požadavků práce, je tím tedy zohledněna proměnlivost výskytu režijních činností.
- Použití této metody plánování práce a kapacit je relativně jednoduché a poměrně rychlé.
- Tato metoda plánování není závislá na datech uložených v informačním systému.

Mezi nevýhody kapacitního plánování lidských zdrojů využitím zásobníku práce patří především:

- Využitelnost nachází tato metoda pouze pro oblast údržby a to navíc převážně jen pro preventivní údržbu.
- Metoda poskytuje velmi nízkou přesnost stanovení potřebného počtu pracovníků. Stanovený počet potřebných pracovníků je nepřímo úměrný zvolené velikosti zásobníku práce. Doporučená velikost zásobníku práce se pohybuje v intervalu od 2 do 8 týdnů. Potřebný počet pracovníků se tedy v závislosti na uvážení plánovače může v krajních případech lišit až čtyřnásobně.
- Doby trvání práce jsou stanovovány pouze na základě odhadů.

## 2.6 Kapacitní plánování podle rozpočtu

### 2.6.1 Podstata metody

Další z využívaných metod kapacitního plánování vychází z myšlenky, že lze potřebný počet pracovníků údržby stanovit na základě rozpočtu podniku. Výpočet potřebného počtu pracovníků údržby je pomocí této metody počítán ze vztahu (2.20). [82]

$$MBS = \frac{[(RCB \cdot BMR) + (RCE \cdot EMR)] \cdot NMF \cdot LP}{AASLR} \quad (2.20)$$

Kde:

- **MBS** (*Maintenance Budgeted Staffing*) je potřebný počet pracovníků údržby.
- **RCB** (*Replacement Cost of Buildings*) je cena budov a technického vybavení budov.
- **BMR** (*Building Maintenance Ratio*) je procentuálně vyjádřená hodnota pořizovacích nákladů, která musí být každým rokem do budov a jejich technických vybavení investována. Pro standardní typy budov činní běžná hodnota BMR 0,5% až 2%. Pro případ BMR = 2% je počítáno s dobou odpisu budov 50 let. Do vztahu (2.20) je tato hodnota dosazována jako desetinné číslo, nikoliv jako procento.

- **RCE** (*Replacement Cost of Equipment*) je faktor zahrnující cenu mobilních zařízení pro výrobu, balení, skladování a další procesy. V kapitálově náročných odvětvích je RCE výrazně vyšší hodnota než RCB.
- **ERM** (*Equipment Maintenance Ratio*) je procentuálně vyjádřená přidaná hodnota, která je každým rokem investována do mobilních zařízení. Běžně se tato hodnota pohybuje mezi 3% až 15% zisku. V případě elektronického zařízení je doporučováno zvolit hodnotu ERM 12%. Do vztahu (2.20) je tato hodnota dosazována jako desetinné číslo, nikoliv jako procento.
- **NMF** (*Non Maintenance Factor*) je vztah mezi celkovým časem a materiálem vynaloženým na všechny činnosti vykonávané oddělením údržby a časem a materiálem vynaloženým přímo na provádění údržby. Mezi neúdržbářské činnosti lze zařadit např. tvorbu nových postupů, operativní činnosti jako seřizování, výměnu nástrojů, apod. Tento faktor musí být do rovnice zahrnut, jelikož oddělení údržby ve většině podniků vykonává tuto práci i přesto, že přímo nespadá do jejich náplně práce.
- **LP** (*Labor Percentage*) je procentuální vyjádření celkového rozpočtu oddělení údržby na přímou práci, která nezahrnuje náklady na přesčasy a prémie. Do vztahu (2.20) je tato hodnota dosazována jako desetinné číslo, nikoliv jako procento.
- **AASLTR** (*Average Annual Straight Time Labour Rate*) je průměrná hodinová mzda všech pracovníků oddělení údržby v daném roce roznásobená počtem pracovních hodin daného roku.

Pokud je podniku tvořen větším množstvím budov, je možno podle potřeby použít rozdílné faktory pro jednotlivé budovy. V tomto případě bude mít vztah (2.20) podobu vztahu (2.21). [82]

$$MBS = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (RCB_i \cdot BMR_i) + \sum_{j=1}^m (RCE_j \cdot EMR_j) \right] \cdot NMF \cdot LP}{AASLTR} \quad (2.21)$$

Kde:

- $n$  ... počet rozlišovaných budov, či skupin budov s technickým vybavením,  
 $m$  ... počet rozlišovaných skupin strojního zařízení podniku.

## 2.6.2 Výhody a nevýhody

Výhody kapacitního plánování pomocí této metody lze shrnout do následujících bodů:

- Jednoduchá a rychlá metoda stanovení potřebného počtu pracovníků údržby.
- Tuto metodu lze s výhodou použít především při projektování nového procesu, kde nám na základě rozpočtu dokáže zodpovědět otázku kolik je potřeba pracovníků údržby pro zajištění tohoto procesu.

Mezi nevýhody této metody patří především:

- Použitelnost této metody se omezuje pouze na oblast údržby. Pro ostatní režijní profese, jakými jsou např. seřizovači strojů, manipulanti apod., tuto metodu nelze použít.
- Poměrně nízká přesnost stanovení potřebného počtu pracovníků údržby. Tato metoda stanovení potřebného počtu pracovníků údržby slouží především jako



odhad, který se může od skutečně potřebného počtu pracovníků údržby lišit až v rozmezí  $\pm 30\%$ . [82]

- Metoda nezohledňuje skutečnou ani očekávanou zátěž pracovníků údržby a vychází pouze z rozpočtu, který nemusí korespondovat se skutečnými požadavky na oddělení údržbu.

## 2.7 Benchmarking

### 2.7.1 Definice benchmarkingu

Další metodou kapacitního plánování režijních pracovníků je tzv. benchmarking. Prostudované prameny definují benchmarking následovně:

Americké centrum pro produktivitu a kvalitu definuje benchmarking jako proces neustálého srovnávání a měření organizace oproti vůdčím firmám kdekoli na světě, s cílem získat informace, které organizaci pomohou přijmout a realizovat aktivity, vedoucí ke zlepšení své vlastní výkonnosti. [9]

Robert C. Camp, který stál u zrodu benchmarkingu, definuje benchmarking jako hledání nejlepších postupů v podnikání, které vedou k vynikajícím výsledkům. Poté je samozřejmě nutná jejich implementace. [106]

Benchmarking je nástroj, který je obecně založen na porovnávání dosažených parametrů, zavedených postupů a používaných praktik s nejlepšími známými parametry, postupy a praktikami v daném oboru a oblasti [70].

Benchmarking je nástroj, který pomáhá lépe pochopit konkurenční pozici organizace, definuje nejlepší pracovní postupy a začleňuje je do aktivit podniku. Srovnání s výkony jiných organizací umožňuje stanovit silné stránky společnosti a oblasti pro její rozvoj. [7]

Benchmarking je legální, systematický, veřejný a etický proces, který dává podněty k efektivní konkurenceschopnosti. Jeho hybnou silou je učení se pomocí sdílení. Benchmarking podléhá světově uznávanému Kodexu vedení benchmarkingu, který je uveden v [42].

### 2.7.2 Druhy benchmarkingu

Benchmarking lze podle jeho zaměření členit na: [7]

- **benchmarking výkonů** (srovnávání klíčových finančních a dalších ukazatelů)
- **benchmarking procesů** (srovnání procesů)
- **benchmarking nejlepších postupů** (srovnání s nejlepšími organizacemi v místním, celostátním, nebo mezinárodním měřítku)

Podrobnější členění druhů benchmarkingu nám nabízí zdroj [33].

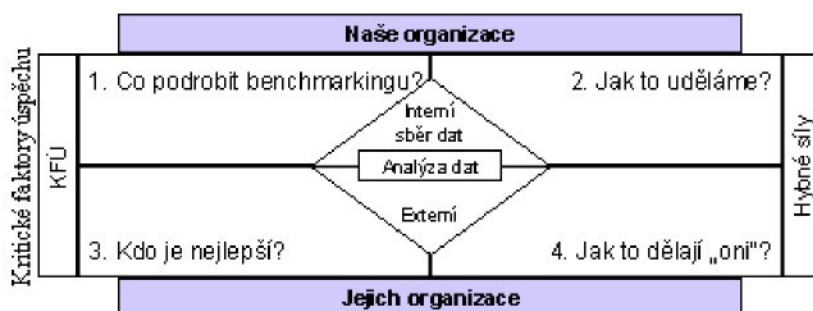
- **Interní** (vnitřní) benchmarking srovnání procesů i organizačních jednotek v rámci podniku.

- **Konkurenční** (vnější) benchmarking - srovnání s přímými konkurenty;
- **Funkční** benchmarking - porovnání podobných klíčových operací a funkčních oblastí napříč odvětvími.
- **Generický** benchmarking - srovnání základních podnikatelských funkcí napříč odvětvími.
- **Zákaznický** benchmarking - porovnání toho, co podnik nabízí s tím, co zákazník očekává.
- **Strategický** benchmarking - komparativní analýza nejlepších podniků v nekonkurenčním odvětví pro určení možností strategické změny v rámci klíčových podnikatelských procesů.
- **Taktický** benchmarking - srovnání podnikatelského procesu napříč odvětvími.
- **Procesní** benchmarking - srovnání podnikatelského procesu v rámci určitého průmyslového odvětví.

Iniciátorem konkurenčního benchmarkingu se stala v roce 1979 firma Xerox Corp., která jej tehdy využila ke snížení výrobních nákladů. Všeobecně nejpobulárnějším typem je procesní benchmarking. [33] Právě procesního benchmarkingu lze využít pro kapacitní plánování režijních pracovníků.

### 2.7.3 Proces aplikace benchmarkingu

Procesní model benchmarkingu nastiňuje kroky, které je třeba udělat v rámci benchmarkingového projektu. Existuje řada přístupů s různým počtem kroků. Existuje-li množství různých přístupů k benchmarkingu, je obtížné pro organizace mezi sebou komunikovat. Aby bylo možné tuto komunikaci zlepšit, vyvinuly čtyři organizace, které se benchmarkingem intenzivně zabývají (Boeing, Digital Equipment, Motorola a Xerox) model se čtyřmi kvadranty, který objasňuje podstatu benchmarkingu, viz. obr. 2.4. Tato šablona ustavuje obecné souvislosti pro tvorbu procesního modelu, který vyjadřuje specifickou posloupnost kroků a činností pro provedení benchmarkingu. [27]



**Obr. 2.4** Šablona procesu benchmarkingu – model se čtyřmi kvadranty

Zdroj: O Benchmarkingu. Česká společnost pro jakost. [online]. [cit. 05/2008] Dostupné z: [http://www.benchmarking.cz/o\\_benchmarkingu.asp](http://www.benchmarking.cz/o_benchmarkingu.asp).

Šablona má čtyři kvadranty, které jsou spojeny procesem shromažďování a analýzy dat. Co se děje v každém kvadrantu je možné zjistit nastolením otázek pro každý z těchto kvadrantů. Přístup využívá čtyř fází benchmarkingu - plánování, shromažďování dat, analýzu a zlepšení pomocí adaptace. [27]

Co se týká sběru dat, každá metoda má své přednosti a nevýhody, které je třeba pečlivě zvážit ještě před zahájením benchmarkingu. Swanson např. pro benchmarkingové analýzy doporučuje nejprve zaslání dotazníku a poté zbývající metody (interview, pozorování, analýzy záznamů) pro sběr dat přímo u konkurenta. [112]

V literatuře lze najít různá označení, a dokonce i různý počet jednotlivých fází benchmarkingu. Za nejvýstižnější je často považován cyklus o sedmi krocích, používaný benchmarkingovou organizací OMBI (*Ontario Municipal Benchmarking Initiative*) v kanadském Ontariu [116], [8]:

- 1) Výběr činností, či oblastí pro benchmarkingové porovnávání.
- 2) Vypracování profilů služeb, navrhnutí definice dat a ukazatelů.
- 3) Provedení sběru a analýzy dat o výkonu.
- 4) Analýza dat, identifikování nejlepších výkonů a mezer ve výkonech.
- 5) Definování nejlepších praktických postupů.
- 6) Navržení strategie a akčního plánu pro optimalizaci procesů.
- 7) Opakované analyzování dosažených výsledků a optimalizovaných procesů.

Pro kapacitní plánování režijních pracovníků to tedy znamená, že podnik stanovuje počet svých režijních pracovníků na základě počtu režijních pracovníků v podniku, který dosahuje lepších výsledků a má podobnou strukturu výroby. Podrobněji jsou aspekty zavádění benchmarkingu v oblasti režijních činností, konkrétně údržby, popsány v [123].

Využití benchmarkingu v oblasti plánování lidských zdrojů je popsáno v [25], v oblasti zlepšení přístupu pracovníků k práci v [11]. V článku [17] je pak popsáno využití benchmarkingu pro kapacitní plánování režijních pracovníků v knihovnách.

## **2.7.4 Výhody a nevýhody**

Výhody kapacitního plánování pomocí benchmarkingu lze shrnout do následujících bodů:

- Využití metody benchmarking poskytuje porovnání s podnikem, který v dané oblasti dosahuje nejlepších výsledků.
- Správnou aplikací benchmarkingu je možno dosáhnout nejlepších výsledků, jaké jsou v současné době dosažitelné.

Mezi nevýhody této metody patří především:

- Využitím benchmarkingu pro kapacitní plánování režijních pracovníků dochází v podstatě k sekundárnímu plánování, jež primárně muselo vycházet z některé z ostatních metod, které stále ještě neposkytují dostatečně přesné výsledky.
- Metoda nezohledňuje skutečnou zátěž režijních pracovníků daného provozu.
- Benchmarkingový projekt může být časově náročný a nákladný.

## **2.8 Počítačová simulace**

### **2.8.1 Princip počítačové simulace výrobních systémů**

Dalším nástrojem pro kapacitní plánování lidských zdrojů je počítačová simulace. Počítačová simulace výrobního systému je etapa dynamického zkoumání výrobního systému. Jejím principem je experimentování s počítačovým modelem, který je pokud

možno přesným obrazem stochasticky se chovajícího výrobního systému. Na simulačním modelu se simulují stavy systému (např. transport součástí, proces obrábění, porucha atd.) v závislosti na čase. Jejich změna přitom nastává diskrétně v časových okamžicích, které jsou reprezentovány diskrétní událostí (např. příchod zakázky, začátek obrábění, začátek seřizování, začátek poruchy apod.). Cílem experimentování je vyhledání takových hodnot výstupních veličin modelu, které vyhovují předem stanoveným požadavkům (cílům simulační studie). Vstupní hodnoty tohoto řešení jsou potom použitelné i pro reálný systém. Princip počítačové simulace je znázorněn na obr. 2.5. [65]



**Obr. 2.5:** *Princip počítačové simulace*

Zdroj: MANLIG, F: Počítačová simulace diskrétních událostí. MM Průmyslové spektrum 10/99, s.34-35.

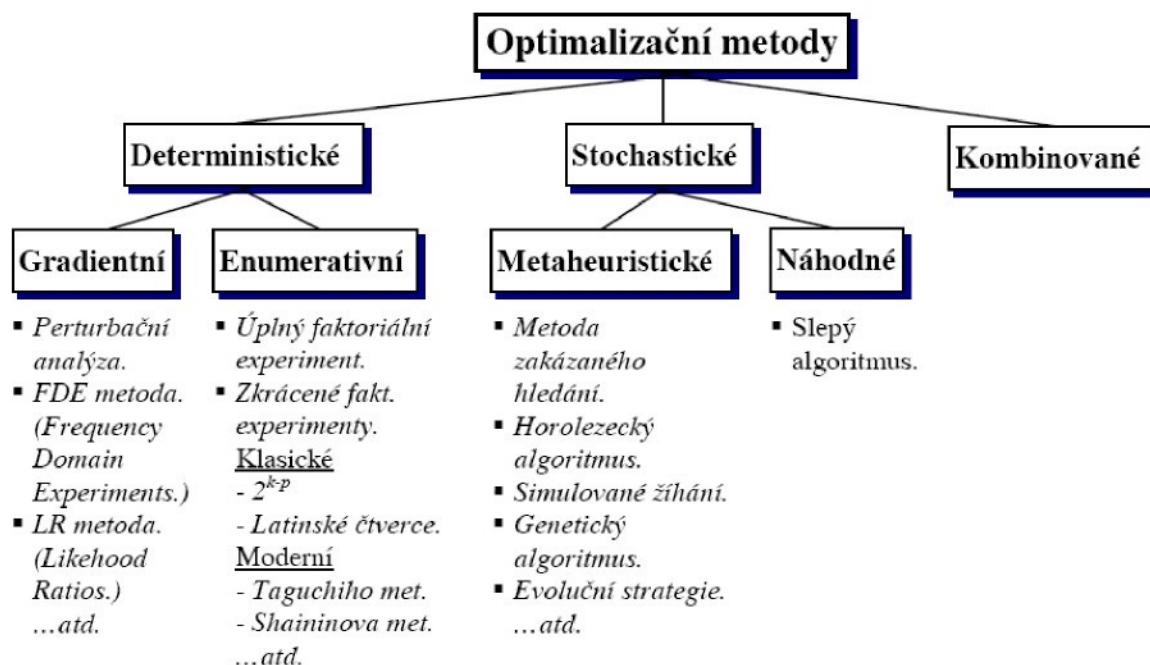
## 2.8.2 Postup při použití počítačové simulace

První etapou simulačního projektu je etapa získávání vstupních údajů (definování prvků systému včetně jejich vazeb, sběr dat a analýza pravděpodobnostních rozdělení náhodných veličin). Po získání vstupních údajů následuje etapa vlastní tvorby modelu. Další částí simulačního projektu je experimentování, které spočívá v cílené změně hodnot parametrů modelu tak, aby se dosáhlo požadovaných cílů projektu. Simulační čas může běžet mnohem rychleji než reálný, a tak je možné rychle vyhodnotit různé varianty navrhovaného řešení problému. Simulační projekt je zakončen kompletací dokumentace (tj. uchováním znalostí), zhodnocením výsledků a realizací optimální varianty řešení. [58]

## 2.8.3 Optimalizační metody

Podstata hledání optimální varianty řešení spočívá v optimalizaci nějaké účelové funkce, která závisí na sekvencích jednotlivých operací na strojích. K nalezení globálního extrému účelové funkce je využívána celá řada metod. Přehled nejčastěji používaných metod je uveden na obr. 2.6. Blíže je problematika optimalizace účelové funkce popsána v [83], [13].





**Obr. 2.6** Přehled optimalizačních metod

Zdroj: MANLIG, F; URBAN, P; HAVLÍK, R: Optimalizace výrobních procesů pomocí počítačové simulace. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. [zpráva k vědeckovýzkumnému záměru]

## 2.8.4 Softwarové produkty

Na trhu je dostupných více simulačních softwarů určených k simulaci výrobních systémů. Mezi nejrozšířenější patří následující produkty.

### Witness

Systém Witness [100] je považován za jeden ze světově nejúspěšnějších simulačních programů pro simulování výrobních a logistických procesů. Používá se také pro podporu rozhodování vedoucích pracovníků při řešení organizačních, technických a provozních problémů souvisejících zejména s restrukturalizací a zlepšováním podnikových procesů.

Jádro systému WITNESS doplňují moduly pro optimalizaci procesů, zobrazení v prostředí virtuální reality pro snadnou oboustrannou výměnu informací mezi nástroji WITNESS a Microsoft VISIO, propojení s CAD/CAM systémy, dokumentaci modelů a získávání znalostí z rozsáhlých souborů dat.

Modely v programu WITNESS dynamicky zobrazují pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace, aktuální využití zdrojů. Zároveň jsou zaznamenávány všechny události, které v systému nastaly. Uživatel tak může sledovat dynamiku procesu a má k dispozici i údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému podle zvolených kritérií. WITNESS může být použit k analýze jakýchkoliv procesů, kde je zapotřebí měřit dopad navržených změn a podloženě kvantifikovat alternativy řešení. V libovolném čase je možno simulaci zastavit, změnit parametry systému, například velikosti zásobníků, počet pracovníků na směně nebo směrování materiálu, a poté v simulaci pokračovat. Ihned můžeme sledovat důsledky takovýchto změn. [58]

### **Simcron**

Rodina produktů Simcron (Simcron MODELLER, Simcron PLANNER a Simcron VIEWER) tvoří nástroj pro plánování a rozvrhování výroby založeném na simulaci diskrétních událostí. Tento produkt je také možno propojit s ERP systémy. [92]

### **eM-Plant**

Produkt eM-Plant představuje objektově orientovanou diskrétní počítačovou simulaci výrobních, logistických a obslužných procesů. Software umožňuje rychlé vytvoření modelu, jeho prezentaci ve virtuální realitě, provádění „on-line“ změn či přenos dat s Microsoft Office. [89]

### **ShowFlow**

Produkt ShowFlow představuje jednodušší a méně nákladnou variantu simulačních programů zaměřených na simulaci diskrétních událostí. Systém umožňuje přenos vstupních a výstupních dat s aplikací MS Excel. Software umožňuje provádět modelování a simulaci výrobního systému, vytvářet analýzy a výstupní statistiky a provádět 3D animace. [91]

### **Delmia**

Produkt Delmia [88] představuje 3D digitální podnik (Digital Factory - DF), je virtuálním obrazem reálné výroby, který zobrazuje výrobní procesy ve virtuálním prostředí. Digitální podnik slouží především k plánování, simulaci a optimalizaci výroby složitých výrobků. Podle zahraniční studie CIMdata report „The Benefits of Digital Manufacturing“ se v rámci sledovaných řešení nasazení systémů digitálního podniku dosáhlo mimo jiné 30% úspory nákladů díky lepšímu využití lidských zdrojů. [19]

### **QUEST**

Produkt QUEST představuje kompletní 3D digitální podnik pro simulaci, analýzu, vhodnost a rentabilitu procesů podobně jako Delmia. Z 3D modelu je možné určit optimální rozmístění strojů, průběžnou dobu výroby výrobků, tok nákladů existujících, nebo nových systémů. QUEST pracuje buď jako samostatný simulační program, nebo je integrovaný do balíku (IGRIP, ENVISIO/ERGO, VIRTUAL NC), který vyrábí firma Delmia. [90]

Mezi další produkty patří např.: Simul8 [93], [94], Simio [98], SimCad Processs Simulator [97] či Micro Saint Sharp [99].

Uvedené systémy se liší v uživatelské náročnosti, šíři dílčích možností, kvalitě 3D animací, možnostmi přenosu dat, provedení výstupů analýz, ceně atd. Obecně u všech těchto systémů ovšem zůstává zachován princip počítačové simulace uvedený v úvodu této podkapitoly.

Přehled simulačních softwarů s uvedením jejich oblastí nejčastějšího využití je uveden na [95], specifikace možností tvorby modelů na [101], specifikace využívaných optimalizačních metod na [102], porovnání možností animace na [103] a informace o cenách na [104].



### 2.8.5 Typické úlohy pro řešení pomocí počítačové simulace

Sledování využitosti lidských zdrojů a jejich kapacitní plánování je jen jedna z úloh, kterou lze pomocí počítačové simulace řešit. Počítačová simulace je dále nejčastěji využívána pro řešení úloh v následujících oblastech:

- **„Optimalizace“ obchodních procesů** - stanovení „optimální“ výrobní strategie, předpovídání „skutečných“ nákladů na zakázku.
- **Plánování a řízení výroby** - plánování celopodnikových zdrojů, přidělování zakázek jednotlivým výrobním celkům, dílenské řízení výroby.
- **Zlepšení logistických koncepcí** - minimalizace skladů a zásob, redukce rozpracované výroby a průběžných dob, určování výrobních a transportních dávek, sladění dodávek surovin a polotovarů s výrobou, zabezpečení expedice.
- **Projektování výrobních systémů** - projektování inovačních změn stávajících výrobních systémů, zjištění požadavků na kapacity pro zajištění plynulosti výroby, návrh dispozičního uspořádání, „optimalizace“ uspořádání jednotlivých prvků celku, zkušební provoz.
- **Analýzy výrobních systémů** - identifikování a odstranění úzkých míst, odhalování rezerv důkladným rozбором nejrůznějších činností, „co když“ analýzy.
- **Školení pracovníků v oblasti** - stanovování výrobní strategie, projektování a plánování výroby, analýz a zlepšování výrobních systémů, zaškolování nových pracovníků. [65]
- **Zdravotnictví** – redukce časů čekání na příjmu v nemocnicích [29]

### 2.8.6 Možnosti zohlednění stochastické povahy režijních činností

Představené počítačové systémy poskytují možnost zohlednění proměnlivé doby trvání výrobních operací. Zohlednění proměnlivé doby trvání režijních činností poskytují jen některé ze systémů.

Např. systém Witness nabízí možnost výběru z 11-ti typů spojitých pravděpodobnostních rozdělení (Beta, Erlangovo, Gama, Lognormální, Negativní exponenciální [40], Normální, Náhodné [64], T-Normální [10], Trojúhelníkové, Uniformní a Weibullovo). S těmito rozděleními lze generovat pseudonáhodná čísla vyjadřující dobu trvání výrobních činností. Systém neumožňuje provádět testy dobré shody teoretických rozdělení s experimentálními daty, proto musí být rozdělení jednoznačně zvoleno uživatelem. Systém dále umožňuje generování pseudonáhodných čísel přímo podle rozložení četností ve třídách histogramu experimentálních dat. V tomto případě uživatel sám volí počet tříd histogramu a explicitně zadává meze tříd histogramu a dílčí četnosti v jednotlivých třídách.

Zmíněné možnosti zohlednění stochastické povahy dob trvání systém Witness ovšem umožňuje pouze pro výrobní operace. Časy seřízení strojů a další režijní činnosti jsou do

systému zadávány bez zohlednění jejich proměnlivosti, pouze v podobě středních hodnot dob trvání jednotlivých činností.

Naopak systém Simcron MODELLER umožňuje zohlednění proměnlivosti časů nejen výrobních činností, ale také režijních činností, jakými je seřizování strojů, údržba či manipulace. Pseudonáhodná čísla je možno generovat z 5-ti typů spojitých pravděpodobnostních rozdělení (Uniformního, Trojúhelníkového, Exponenciálního, Erlangova a Normálního). [86]

Porovnání simulačních softwarů z hlediska možností zohlednění stochastické povahy doby trvání činností je uvedeno v [96]. Systémy nejčastěji nabízejí okolo 15-ti typů pravděpodobnostních rozdělení. Přibližně polovina systémů je vybavena nástrojem pro provádění testů dobré shody a automatického výběru nejvhodnějšího pravděpodobnostního rozdělení dob trvání, které je prováděno na základě vložených vstupních experimentálních dat.

### **2.8.7 Výhody a nevýhody**

Výhody počítačové simulace lze shrnout do následujících bodů:

- Simulaci lze řešit i velmi složité systémy, které jsou neřešitelné analytickými metodami, popř. kde by použití analytického řešení bylo příliš zjednodušující. Pomocí simulace je rovněž možné prověřit výsledky docílené jinými metodami z hlediska dynamických, stochastických vlivů.
- Simulace umožňuje studium chování systému v reálném, zrychleném nebo zpomaleném čase. Během několika minut tak lze např. odsimulovat průběh výroby.
- Simulace nabízí komplexní pohled na studovaný problém a umožňuje tak jeho vícekritériální analýzu. Na modelu je možné zároveň sledovat různé parametry systému (tj. vytížení zdrojů, průběžné doby a rozpracovanou výrobu) i propojení jednotlivých subsystémů. [66]

Mezi nevýhody počítačové simulace patří především:

- Vysoké náklady spojené s jejím nasazením. Největší nákladovou položkou jsou mzdové náklady, které mohou dosáhnout hranice až 80 % celkových nákladů na simulační projekt. [66] Další výraznou položku tvoří cena simulačního systému, nezanedbatelné jsou i udržovací licenční poplatky.
- Oproti ostatním metodám poměrně vysoká časová náročnost pořízení vstupních dat a vytvoření počítačového modelu.
- Vyšší znalostní nároky na uživatele tohoto nástroje.
- Některé počítačové systémy nezohledňují stochastickou povahu režijních činností.

## **2.9 Kritické zhodnocení současného stavu**

V předchozích kapitolách byly jednotlivě představeny nejčastěji používané metody kapacitního plánování režijních pracovníků. Cílem této podkapitoly je provést rozbor výhod a nevýhod jednotlivých metod a vytvořit určitou kvalitativní matici metod kapacitního plánování, pomocí níž bude možno jak identifikovat silné a slabé stránky jednotlivých metod, tak provést porovnání jednotlivých metod ve vybraných oblastech.

Uvedené rozborů ukáží na dosud neprostudované oblasti, ve kterých je z hlediska vývoje metod kapacitního plánování žádoucí provádět výzkum a pokusit se rozšířit současné poznání.

### 2.9.1 Zhodnocení používaných metod

V tabulce 2.2 je uveden přehled nejpoužívanějších metod kapacitního plánování s uvedením jejich výhod a nevýhod.

**Tab. 2.2** *Přehled výhod a nevýhod v současnosti používaných metod kap. plánování*

| Metoda                                           | Výhody metody                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Nevýhody metody                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Poměrové plánování</b>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rychlé, levné a poměrně jednoduché použití metody.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Značně nepřesná.</li> <li>- Nezohledňuje skutečný objem práce.</li> <li>- Nezohledňuje stochastičnost režijních činností.</li> </ul>                                                                                                |
| <b>Využití měření spotřeby práce</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poskytuje přesné stanovení doby trvání činností.</li> <li>- Možnost stanovení struktury činností.</li> </ul>                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Časově náročná.</li> <li>- Nezohledňuje stochastičnost režijních činností.</li> </ul>                                                                                                                                               |
| <b>Kapacitní plánování podle zásobníku práce</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vychází ze skutečných požadavků práce.</li> <li>- Zohledňuje stochastičnost výskytu režijních činností.</li> <li>- Rychlé, levné a poměrně jednoduché použití metody.</li> <li>- Nezávislá na datech z IS.</li> </ul>                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Využitelná pouze v oblasti údržby.</li> <li>- Velmi nízká přesnost.</li> <li>- Nezohledňuje stochastičnost doby trvání činností.</li> <li>- Vychází pouze z odhadu dob trvání činností.</li> </ul>                                  |
| <b>Kapacitní plánování podle rozpočtu</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednoduché, rychlé a levné použití metody.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Využitelná pouze v oblasti údržby.</li> <li>- Poměrně nízká přesnost.</li> <li>- Kapacitní výpočet se může lišit v rozmezí <math>\pm 30\%</math> [82]</li> </ul>                                                                    |
| <b>Benchmarking</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poskytuje možnost dosáhnout nejlepších výsledků, jaké jsou v současné době dosažitelné.</li> </ul>                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sekundární plánování, primárně vycházející z ostatních nepřesných metod.</li> <li>- Nezohledňuje skutečnou zátěž režijních pracovníků daného provozu.</li> </ul>                                                                    |
| <b>Počítačová simulace</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umožňuje provést návrh optimalizace procesu.</li> <li>- Dostatečně přesná.</li> <li>- Lze plánovat i velmi složité procesy.</li> <li>- Umožňuje provádět simulace ve zrychleném čase.</li> <li>- Poskytuje komplexní pohled na studovaný problém.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Časově náročná, nákladná.</li> <li>- Značně nákladná.</li> <li>- Časově dosti náročná.</li> <li>- Uživatelsky dosti náročná.</li> <li>- Některé počítačové systémy nezohledňují stochastickou povahu režijních činností.</li> </ul> |

*Zdroj: Vlastní.*

Pro lepší přehlednost silných a slabých stránek jednotlivých metod ve vybraných oblastech byla vytvořena určitá kvalitativní matice, která poskytuje, mimo izolované zhodnocení jednotlivých metod, také možnost porovnání jednotlivých metod mezi sebou. Tato matice je uvedena v tabulce 2.3. Přiřazená bodová ohodnocení byla volena podle následujícího klíče:

- 0 ... metoda daný parametr vůbec nezohledňuje,
- 1 ... metoda v dané oblasti poskytuje podprůměrné výsledky,
- 2 ... metoda v dané oblasti poskytuje průměrné výsledky,
- 3 ... metoda v dané oblasti poskytuje nadprůměrné výsledky.

**Tab. 2.3** Kvalitativní matice metod kapacitního plánování

| Metoda                                           | Šíře využití | Dosahovaná přesnost | Nízká časová náročnost | Nízká složitost použití | Nízká nákladnost | Zohlednění dynamické zátěže | Zohlednění stochastičnosti doby trvání činností | Celkové skóre metody* |
|--------------------------------------------------|--------------|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Poměrové plánování</b>                        | 2            | 1                   | 3                      | 3                       | 3                | 0                           | 0                                               | 13                    |
| <b>Využití metod měření spotřeby práce</b>       | 3            | 2                   | 1                      | 2                       | 2                | 0                           | 1                                               | 13                    |
| <b>Kapacitní plánování podle zásobníku práce</b> | 1            | 1                   | 2                      | 2                       | 2                | 3                           | 0                                               | 11                    |
| <b>Kapacitní plánování podle rozpočtu</b>        | 1            | 1                   | 3                      | 3                       | 3                | 0                           | 0                                               | 12                    |
| <b>Benchmarking</b>                              | 3            | 3                   | 1                      | 1                       | 1                | 0                           | 0                                               | 12                    |
| <b>Počítačová simulace</b>                       | 3            | 3                   | 1                      | 1                       | 1                | 3                           | 1                                               | 15                    |
| Skóre hodnocené oblasti                          | 13           | 11                  | 11                     | 12                      | 12               | 6                           | 2                                               | x                     |

\*...Celkové skóre bylo vypočteno součtem bodového ohodnocení dílčích parametrů s tím, že vysoká významnost dosahované přesnosti metody byla zohledněna roznásobením bodového ohodnocení dosahované přesnosti koeficientem 2.

*Zdroj: Vlastní.*

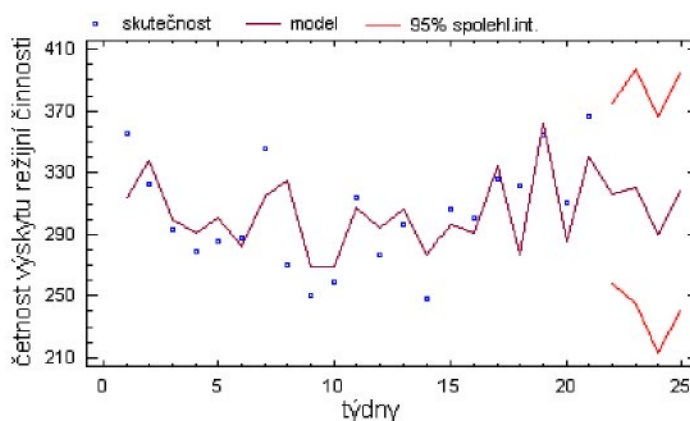
Z představených metod, provedeného rozboru a kvalitativní matice je zřejmé, že současné metody kapacitního plánování mají stále příliš nedostatků. Jedná se především o následující:

- **Nízká přesnost** většiny metod. U metod, kde lze dosahovat vyšší přesnosti je tato výhoda kompenzována **vysokými náklady, složitostí a vysokou časovou náročností použití metody.**
- **Omezená využitelnost.**
- **Nezohlednění dynamického výskytu režijních činností.**
- **Nezohlednění stochastické povahy dob trvání režijních činností.**

## 2.9.2 Současné poznání o povaze režijní práce

Dvěma z uvedených nedostatků současných metod jsou nezohlednění dynamického výskytu režijních činností a nezohlednění stochastické povahy dob trvání režijních činností. Právě tuto skutečnost považuje autor za příčinu značné nepřesnosti současných metod a vidí v ní prostor a příležitost ke zlepšení.

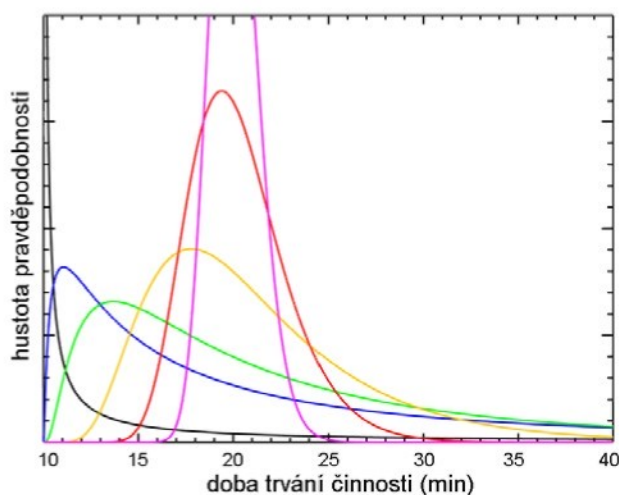
Pro zohlednění dynamického výskytu režijních činností je nutné znát zákonitosti o chování časových řad zátěže. Např. monografie [70] poukazuje na podstatně vyšší proměnlivost výskytu režijních činností v čase, než je proměnlivost výskytu výrobních činností. Konkrétní poznatky o chování časových řad zátěže ovšem nebyly nalezeny. Příklad dynamicky se chovající zátěže je znázorněn na obr. 2.7.



**Obr. 2.7** Dynamický výskyt režijních činností

*Zdroj: Vlastní.*

Pro zohlednění stochastické povahy dob trvání režijních činností je nutné znát informace o tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání příslušných režijních činností. Např. článek [79] poukazuje na vysokou variabilitu doby trvání režijních činností a na významnost zohlednění její stochastické povahy. Konkrétní poznatky o tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání příslušných režijních činností ovšem nebyly nalezeny. Příklad možných pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností je uveden na obr. 2.8.



**Obr. 2.8** Stochastická povaha doby trvání režijní činnosti

*Zdroj: Vlastní.*

Autorovi nejsou známi prameny, ve kterých by byly popsány zákonitosti chování časových řad zátěže, stejně tak jako ve kterých by byly popsány poznatky o tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání jakýchkoliv režijních činností. Současná neprostudovanost a nepopsanost této oblasti je pravděpodobně dána tím, že problematika kapacitního plánování režijních pracovníků začala být řešena a studována až v posledních několika letech.

**Závěrem rešeršní části této disertační práce zdůrazníme nejpodstatnější zjištění o současném stavu:**

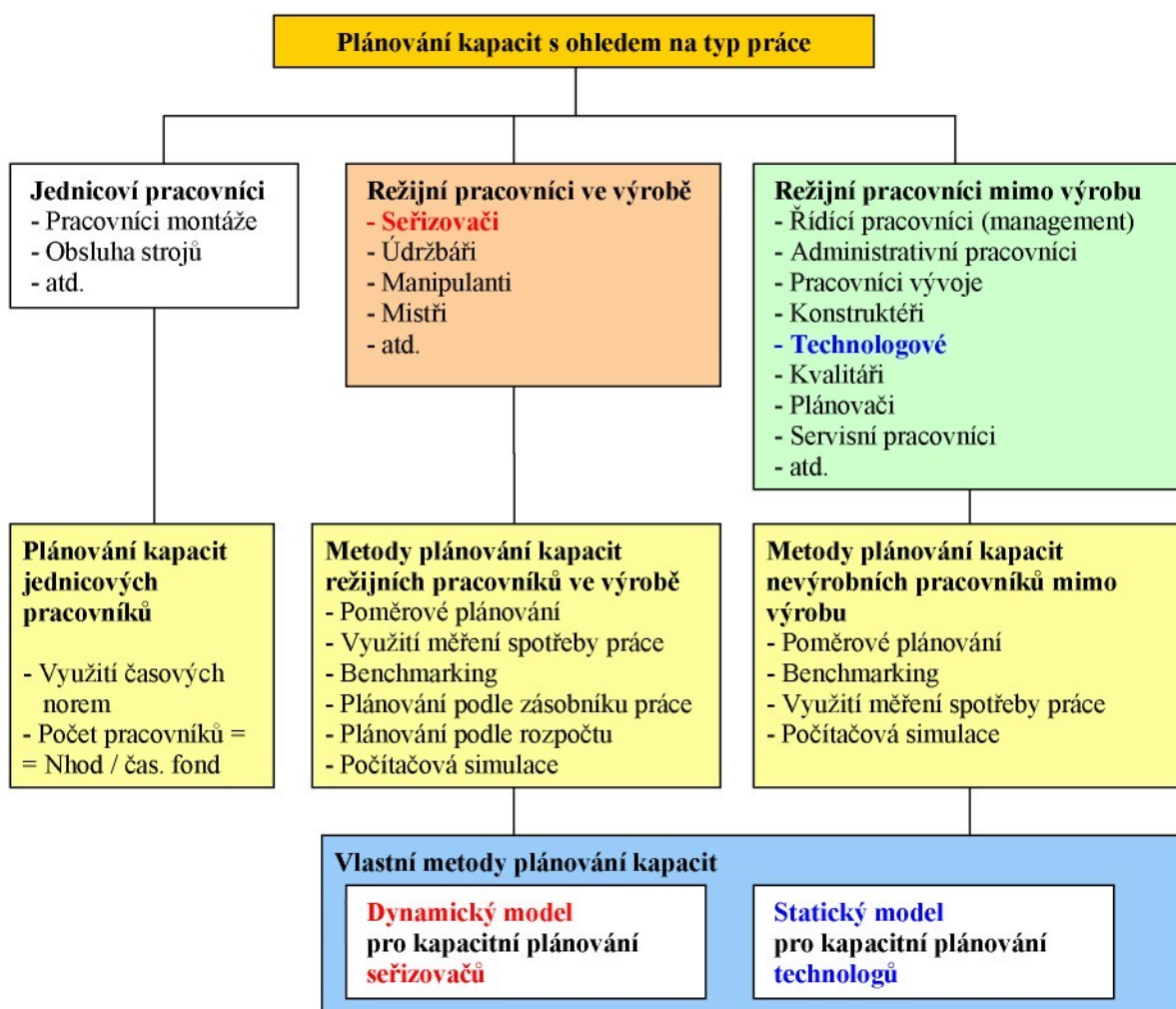
- **Současné metody kapacitního plánování režijních pracovníků neposkytují požadované výsledky.**
- **Bylo zjištěno, že současné metody nezohledňují stochastickou povahu režijních činností, která má vliv na správné stanovení potřebného počtu režijních pracovníků.**
- **V současné době nejsou zatím známy poznatky o povaze režijních činností, tedy o zákonitostech dynamického chování časových řad zátěže a o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání určitých režijních činností.**



### 3 Zaměření a cíle disertační práce

Z analýzy provedené v předchozí kapitole vyplynulo, že v současné době neexistuje dostatečně přesná metoda kapacitního plánování režijních pracovníků a nejsou k dispozici poznatky o stochasticky se chovajících režijních činnostech. Na druhé straně je nutno konstatovat, že jsou takovéto poznatky o chování režijních činností nezbytné při řešení problematiky kapacitního plánování režijních pracovníků.

Oblast režijních činností a profesí je poměrně široká, zároveň lze předpokládat, že charakter činností každé z režijních profesí může vykazovat určitou specifičnost. V rámci řešení jedné disertační práce by nebylo korektní snažit se postihnout celé spektrum režijních profesí. Pro možnost hlubšího prostudování chování určitých režijních činností byla zvolena **oblast seřizování strojů**, jakožto zástupce činností s vysoce stochastickou povahou a **oblast technické přípravy výroby**, jakožto zástupce činností z oblasti nevýrobního režie, ke které směřuje další vývoj normování a plánování práce.



Obr. 3.1 Zaměření disertační práce

Zdroj: Vlastní.

Na obr. 3.1 je uveden stručný přehled některých režijních profesí a současných metod kapacitního plánování režijních pracovníků těchto profesí. Obrázek dále ukazuje zaměření disertační práce na vývoj metody kapacitního plánování seřizovačů strojů a vývoj metody kapacitního plánování technologů. Uvedené zaměření disertační práce je nutno blíže specifikovat stanovením cílů disertační práce.

**Hlavním cílem disertační práce je:**

- Vyvinout metodu kapacitního plánování seřizovačů, jakožto zástupce profese vykonávající činnosti s vysoce stochastickou povahou.

**Vedlejší cíle disertační práce jsou:**

- Stanovit zobecněné závěry o pravděpodobnostních rozděleních dob trvání seřizovacích činností.
- Stanovit závěry o dynamicky se chovajících časových řadách zátěže seřizovačů.
- Vyvinout metodu kapacitního plánování technologů, jakožto zástupce profese z oblasti nevýrobních režijních profesí, ke kterým směřuje další vývoj normování a plánování práce.
- Poskytnout přehled současných metod kapacitního plánování režijních pracovníků s uvedením rozborů jednotlivých metod a uvedením vzájemného porovnání metod ve vybraných oblastech.
- Navrhnout počítačovou aplikaci pro uživatelsky snadnou aplikaci vytvořených metod kapacitního plánování.

## 4 Koncept metod kapacitního plánování režijních pracovníků

V předchozí kapitole bylo uvedeno, že si disertační práce klade za cíl vytvořit metodu kapacitního plánování seřizovačů a metodu kapacitního plánování technologů.

V této kapitole bude představena idea a navrhovaný koncept metody kapacitního plánování, jak pro seřizovače, tak pro technologe. Obě metody se liší v rozsahu zohlednění stochastické povahy režijních činností.

Metoda kapacitního plánování seřizovačů, jakožto zástupce profese vykonávající činnosti s vysoce stochastickou povahou, bude tuto stochastičnost, vyskytující se v podobě dynamického průběhu časových řad zátěže a náhodné doby trvání činností, zohledňovat. Vzhledem k tomu, že metoda bude využívat empirických poznatků, bude způsob plánování zohledňující jak dynamický průběh zátěže časových řad, tak náhodné doby trvání činností, nazýván **dynamický model** kapacitního plánování. Výstupem této metody bude pravděpodobnostní rozdělení potřebného počtu seřizovačů.

Metoda kapacitního plánování technologů, jakožto zástupce profese z oblasti nevýrobní režie, bude zohledňovat pouze dynamický průběh časových řad zátěže. Náhodné doby trvání činností zde budou, díky velmi vysokému počtu činností, shlukovány do skupin a popisovány pomocí středních hodnot dob trvání. Vzhledem k tomu, že metoda bude využívat empirických poznatků, bude způsob plánování zohledňující pouze dynamický průběh zátěže časových řad, bez zohlednění náhodné doby trvání činností, nazýván **statický model** kapacitního plánování. Výstupem této metody bude pevně stanovený potřebný počet technologů.

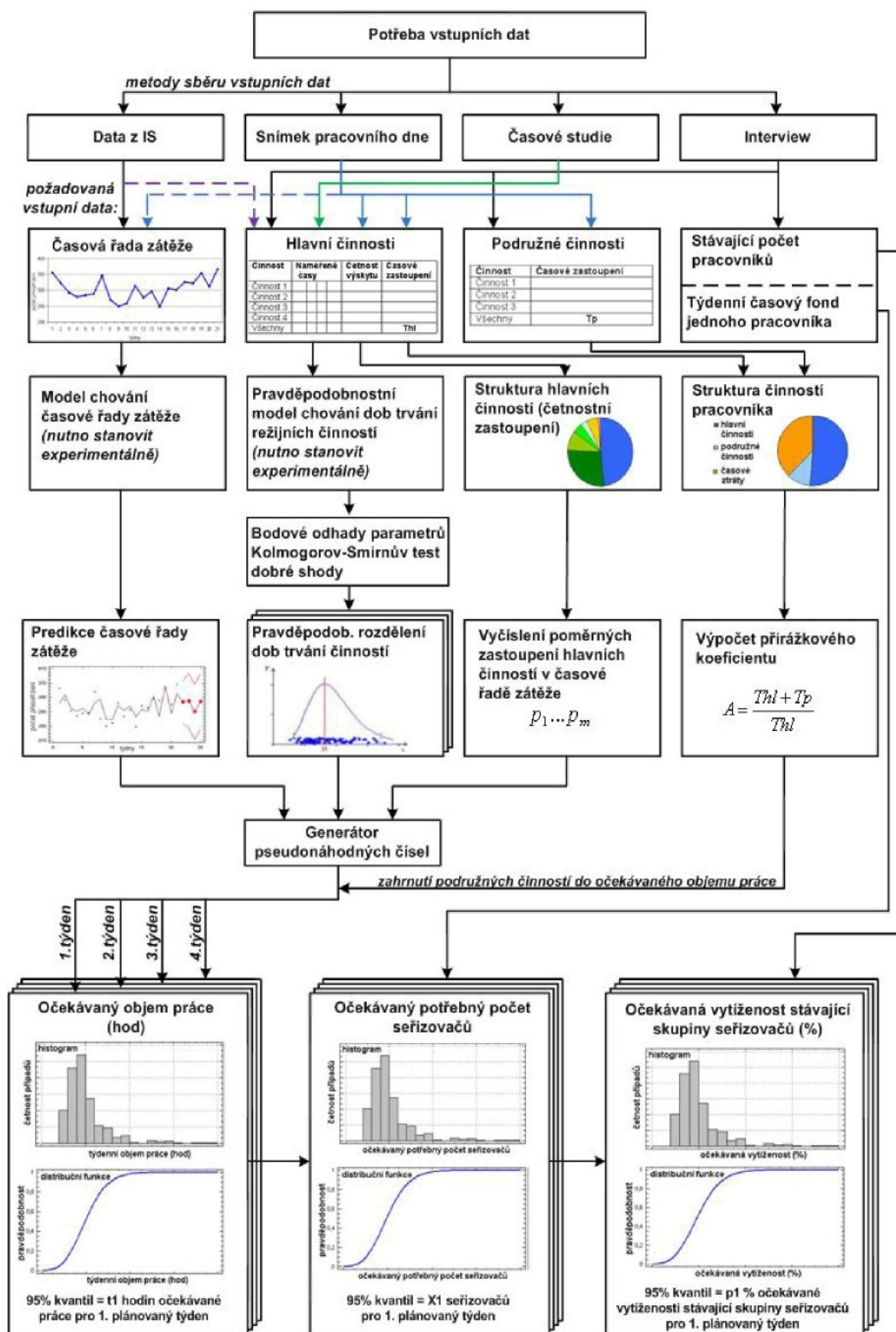
Oba koncepty metod v sobě obsahují parametry, o kterých doposud nebyly stanoveny zobecněné závěry a je nutno je zjistit experimentální cestou. Na zde představený koncept tedy bude navazovat experimentální část (kapitola 5), ve které budou získány podklady pro zobecnění zákonitostí chování režijních činností (kapitola 6). Konečná podoba obou metod, resp. doplnění a plná specifikace konceptů pak bude popsána v kapitole 7.

### 4.1 Koncept metody kapacitního plánování využívající dynamický model plánování

Nejprve bude představen koncept metody kapacitního plánování seřizovačů, která využívá dynamický model plánování. Schéma této metody je zachyceno na obr. 4.1.

Metoda kapacitního plánování seřizovačů využívající dynamický model vychází z myšlenky, že lze potřebný počet seřizovačů stanovit jako podíl celkového objemu práce (hod), kterou má skupina seřizovačů za nějaké období (týden) odpracovat, ku (týdennímu) časovému fondu jednoho seřizovače. Tato základní myšlenka je popsána vztahem (4.1).

$$\text{Potřebný počet seřizovačů} = \frac{\text{objem práce (hod)}}{\text{časový fond seřizovače (hod)}} \quad (4.1)$$



**Obr. 4.1** Struktura nové metody kapacitního plánování využívající dynamický model  
Zdroj: Vlastní

Vztah (4.1) se sám o sobě nikterak neliší od vztahu pro stanovení potřebného počtu jednicových pracovníků. Rozdílnost je ovšem ukryta v čitateli zlomku, tedy v objemu práce. Stanovení objemu práce, kterou mají seřizovači vykonat za nějaké období bude stěžejním bodem kapacitního výpočtu. V objemu práce stanoveném touto metodou vystupuje jak dynamická zátěž, tak stochastická povaha doby trvání seřizovacích činností.

**Pro aplikaci navržené metody byl navržen následující postup:**

#### **Sběr vstupních dat**

1. Provedeme interview s hlavním, nebo vybraným seřizovačem. Cílem je sestavit seznam všech činností, které seřizovači vykonávají. Tento seznam všech činností dále rozdělíme na hlavní činnosti a na činnosti podružné. Hlavní činnosti se vyznačují tím, že mají v náplni práce seřizovače dominantní zastoupení a jsou zanášeny do informačního systému. Dále zjistíme směnnost, časový fond seřizovače a stávající počet seřizovačů na směně.
2. Pokud je podnik vybaven informačním systémem, využijeme dat z tohoto systému pro získání počtů přeseřizení strojů za několik minulých týdnů, tím získáme časovou řadu zátěže). V případě, že systém eviduje i druh přeseřizení a dobu přeseřizení, je možno získat i informace o dobách trvání hlavních činností.
3. Provedeme několikadenní snímkování pracovního dne skupiny seřizovačů. Při snímkování provádíme záznamy o tom, jakou z činností seřizovač právě vykonává. Vyhodnocení snímků pracovního dne nám poskytne informace o časovém zastoupení hlavních činností, podružných činností a ztrát v časovém fondu seřizovače. Dále pak informace o četnostním zastoupení jednotlivých hlavních činností. Při vhodně zvolené frekvenci snímkování je možno získat také výběrové soubory dob trvání hlavních činností.
4. V případě, že nebylo možno pomocí snímkování pracovního dne pořídít s dostatečnou přesností doby trvání hlavních činností, provedeme časové studie, kde pomocí časoměrného zařízení naměříme alespoň 5 náměrů doby trvání každé z hlavních činností.

#### **Zpracování vstupních dat**

5. Provedeme predikci časové řady zátěže. Tuto predikci provedeme s ohledem na zjištěné zákonitosti chování časových řad zátěže seřizovačů. (Tyto zákonitosti zatím nejsou známy a budou muset být zjištěny experimentálním způsobem). Predikci časové řady zátěže dostaneme očekávané počty výskytů hlavních činností v nadcházejících několika týdnech. Za důvěryhodný predikční horizont bylo zvoleno období 4 týdnů. Tyto očekávané počty výskytů hlavních činností budou dále v kapacitním výpočtu označeny  $N_h$ , kde  $h=1 \dots 4$ .
6. Z časových náměrů dob trvání hlavních činností stanovíme pro každou hlavní činnost úplně definované pravděpodobnostní rozdělení dob trvání. Stanovení tvaru teoretického rozdělení dob trvání činností bude vycházet ze zjištěných zákonitostí chování dob trvání seřizovacích činností. (Tyto zákonitosti zatím nejsou známy a budou muset být zjištěny experimentálním způsobem). Shoda o tvaru

předpokládaného teoretického rozdělení s naměřenými daty bude provedena pomocí Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody, pomocí kterého lze testovat výběrový soubor i velmi malého rozsahu. Parametry rozdělení budou stanoveny pomocí bodových odhadů.

7. Ze snímku pracovního dne vyčíslíme počty výskytu hlavních činností. Poměrné četnostní zastoupení jednotlivých typů hlavních činností vyjádříme desetinným číslem. Tato poměrná četnostní zastoupení jednotlivých typů hlavních činností budou dále v kapacitním výpočtu vystupovat pod označením  $p_1 \dots p_m$ , kde  $m$  je počet hlavních činností.
8. Ze snímku pracovního dne vyjádříme časové zastoupení hlavních a podružných činností a pomocí vztahu (4.2) vypočítáme přírážkový koeficient  $A$  (*allowance*), ve kterém  $T_{hl}$  značí časové zastoupení hlavních činností a  $T_p$  časové zastoupení podružných činností.

$$A = \frac{T_{hl} + T_p}{T_{hl}} \quad (4.2)$$

Pomocí tohoto koeficientu bude zohledněno vykonávání podružných činností, jejichž výskyt není evidován v informačním systému, resp. jejich výskyt není zanesen do časové řady zátěže.

### Výpočet očekávaného objemu práce

9. Generování pseudonáhodných čísel (očekávaných dob trvání hlavních činností). Jelikož dynamický model zohledňuje vedle dynamické zátěže, také stochastickou povahu dob trvání seřizovacích činností, budou pro každou hlavní činnost generována pseudonáhodná čísla s příslušným pravděpodobnostním rozdělením doby trvání dané činnosti. Počet vygenerovaných čísel pro  $j$ -tou činnost v  $h$ -tém týdnu je dán součinem  $N_h \cdot p_j$ , kde  $N_h$  je očekávaný počet výskytu všech hlavních činností v  $h$ -tém týdnu a  $p_j$  je poměrné četnostní zastoupení  $j$ -té hlavní činnosti vůči všem hlavním činnostem. Jednotlivá vygenerovaná pseudonáhodná čísla budou v dalším výpočtu označována  $t_{i,j}$ .
10. Explicitní vyjádření vzorku očekávaného objemu práce (hod). V tuto chvíli již známe všechny nezávislé proměnné, jež implicitně vystupují ve vzorci (4.3), který je explicitním vyjádřením vzorku očekávaného objemu práce pro  $h$ -tý týden.

$$T_h = \frac{A}{60} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N_h \cdot p_j)} t_{i,j} \quad (4.3)$$

Kde je:

- $t_{i,j}$  ...  $i$ -tá vygenerovaná doba trvání  $j$ -té činnosti v minutách,
- $m$  ... počet hlavních činností,
- $N_h$  ... predikovaný počet požadavků práce v  $h$ -tém týdnu,



- $p_j$  ... poměrné četnostní zastoupení  $j$ -té hlavní činnosti,  
 $A$  ... přírážkový koeficient zohledňující provádění podružných činností.

Jelikož generováním pseudonáhodných čísel s různými pravděpodobnostními rozděleními nabývá očekávaný objem práce  $T_h$ , tak jak je zapsán pomocí vztahu (4.3), pokaždé jiné hodnoty (opět s určitým novým pravděpodobnostním rozdělením, které je dáno součtem pravděpodobnostních rozdělení dob trvání jednotlivých hlavních činností) je výraz  $T_h$  nazýván pouze určitým vzorkem (prvkem) ze souboru vzorků očekávaného objemu práce.

11. Stanovení očekávaného objemu práce se zvoleným kvantilem. Pro úplný popis očekávaného objemu práce je nutno využít pravděpodobnostního rozdělení objemu práce, popřípadě se zvoleným kvantilem stanovit konkrétní hodnotu očekávaného objemu práce. Požadovaný soubor očekávaného objemu práce dostaneme opětovným generováním pseudonáhodných čísel  $t_{i,j}$  a vyjadřováním hodnoty  $T_h$ . Z tohoto souboru prvků lze sestavit histogram a frekvenční tabulka, z které je patrné, jaký objem práce je postihnut zvoleným kvantilem. Pokud chceme vyjádřit objem práce s kvantilem 95%, je pro praktické využití vhodné vyčíslit 100 krát hodnotu  $T_h$ . Tyto hodnoty vzestupně seřadit a za výsledný objem práce postihující 95 % případů považovat 95. hodnotu v řadě, označovanou  $T_{h,95}$ .

### Výpočet očekávaného potřebného počtu seřizovačů

12. Výpočet očekávaného potřebného počtu seřizovačů vychází z výpočtu očekávaného objemu práce, popsaného v bodech 10 a 11. Rozdíl je pouze v podělení očekávaného objemu práce  $T_h$  časovým fondem seřizovače  $TF$ , viz. vztah (4.4).

$$K_h = \frac{T_h}{TF} = \frac{A}{60 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N_h \cdot p_j)} t_{i,j} \quad (4.4)$$

Vhodným vyjádřením očekávaného potřebného počtu seřizovačů je opět frekvenční tabulka s uvedením počtů seřizovačů a jim příslušným kvantilem. Pro stanovení potřebného počtu seřizovačů s 95% kvantilem platí vztah (4.5).

$$K_{h,95} = \frac{T_{h,95}}{TF} \quad (4.5)$$

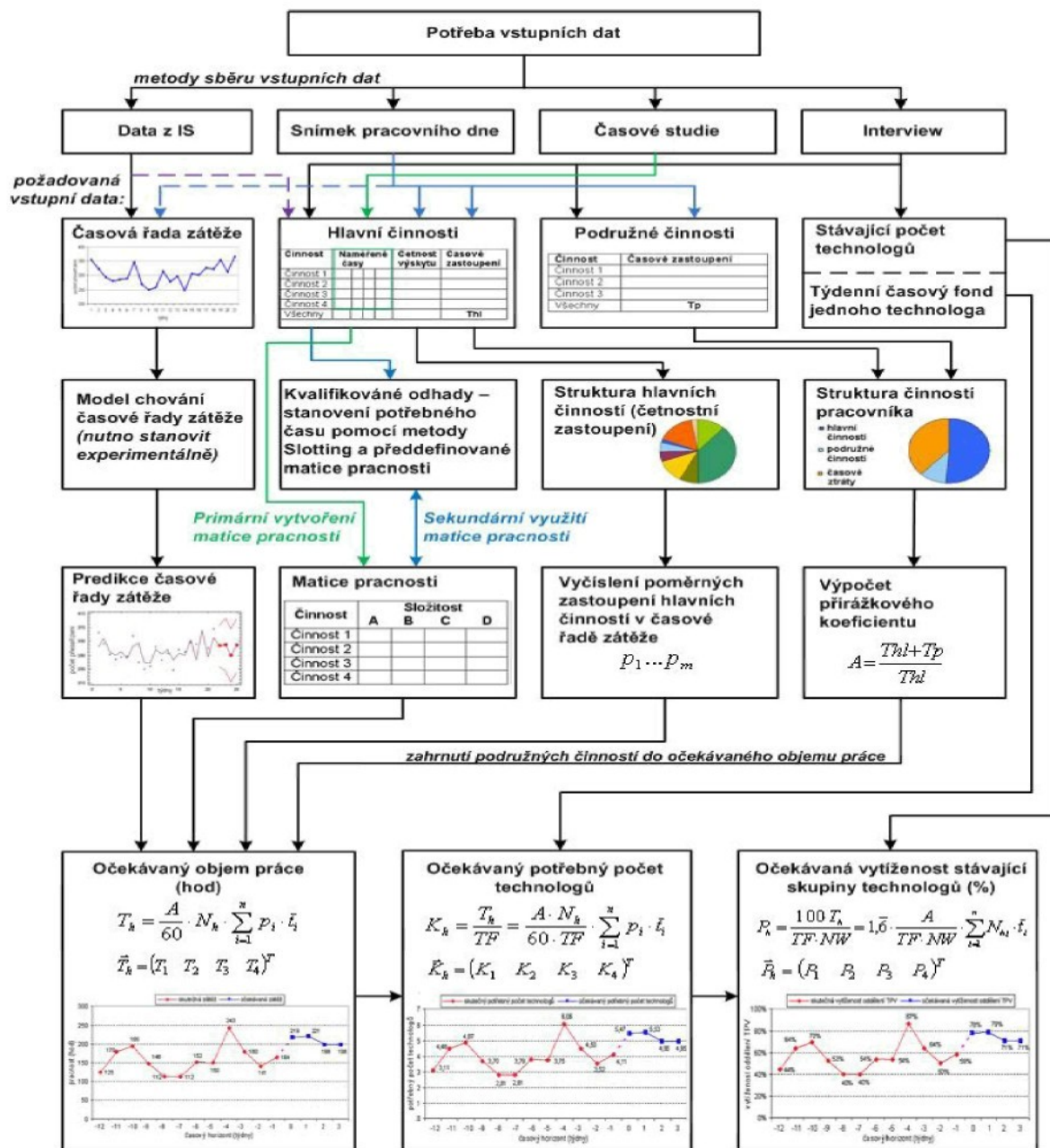
### Výpočet očekávané vytíženosti stávající skupiny seřizovačů

13. Pro úplnost lze s využitím údaje o současném počtu seřizovačů  $NW$  stanovit očekávanou procentuální vytíženost stávající skupiny seřizovačů. I zde platí vhodnost vyjádření očekávané vytíženosti pomocí frekvenční tabulky s uvedením procenta vytíženosti a jemu náležícímu kvantilu. Procentuální vytíženost stávající skupiny seřizovačů s 95% kvantilem je pro  $h$ -tý týden dána vztahem (4.6).

$$P_{h,95} = \frac{100 \cdot T_{h,95}}{TF \cdot NW} \quad (4.6)$$

## 4.2 Koncept metody kapacitního plánování využívající statický model plánování

Druhou z vyvíjených metod kapacitního plánování, je metoda využívající statický model plánování. Schéma této metody je zachyceno na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Struktura metody kapacitního plánování využívající statický model

Zdroj: Vlastní

Tato metoda vychází, stejně jako metoda kapacitního plánování využívající dynamický model plánování, ze základní myšlenky popsané vztahem (4.1). I zde je rozdílnost oproti plánování jednicových pracovníků i oproti plánování seřizovačů. Ta spočívá v rozdílném výpočtu objemu práce. Při výpočtu objemu práce bude zohledněn dynamický průběh časových řad zátěže, náhodné doby trvání činností zde budou redukovány na střední hodnotu doby trvání zástupce skupiny činností.

**Pro aplikaci navržené metody byl navržen následující postup:**

### **Sběr vstupních dat**

1. Provedeme interview s hlavním technologem. Cílem je sestavit seznam všech činností, které technologové vykonávají. Tento seznam všech činností dále rozdělíme na hlavní činnosti a na činnosti podružné. Hlavní činnosti se vyznačují tím, že mají v náplni práce technologa dominantní zastoupení a jejich provádění je evidováno. Dále zjistíme, časový fond technologa ( $TF$ ) a stávající počet technologů ( $NW$ ).
2. Pro zjištění počtů vykonaných hlavních činností v minulých obdobích využijeme evidenci provedených činností, která je zpravidla vedena hlavním technologem. Tím získáme časovou řadu zátěže.
3. Provedeme několikadenní snímkování pracovního dne skupiny technologů. Při snímkování zaznamenáváme jakou činnost technolog právě vykonává včetně zaznamenání čísla výkresu, pro který je danou činnost vykonává. Vzhledem k tomu, že při snímkování skupiny technologů lze zvolit vyšší frekvenci snímkování, než např. u stejné početné skupiny seřizovačů, poskytnou nám snímky pracovního dne také informace o dobách trvání hlavních činností.
4. V případě, že nebylo možno pomocí snímkování pracovního dne pořídit s dostatečnou přesností doby trvání hlavních činností, provedeme časové studie, kde pomocí časoměrného zařízení naměříme cca 10 náměrů doby trvání každé z hlavních činností.

### **Zpracování vstupních dat**

5. Provedeme predikci časové řady zátěže. Tuto predikci provedeme s ohledem na zjištěné zákonitosti chování časových řad zátěže technologů. (Tyto zákonitosti zatím nejsou známy a budou muset být zjištěny experimentálním způsobem). Predikci časové řady zátěže získáme očekávané počty výskytů hlavních činností v nadcházejících několika týdnech. Za důvěryhodný predikční horizont bylo zvoleno období 4 týdnů. Tyto očekávané počty výskytů hlavních činností budou dále v kapacitním výpočtu označeny  $N_h$ , kde  $h = 1 \dots 4$ .
6. Vytvoříme matici pracnosti, viz. tab. 4.1. Tu vytvoříme tím způsobem, že časové náměry dob trvání jednotlivých činností seřadíme pro každou činnost vzestupně. Vzniklé řady dob trvání činností rozdělíme dvěma vhodně zvolenými časovými údaji na 3 intervaly A, B, C. Mezní hodnoty, které tvoří horní hranice intervalů A, B, budou označovány  $t_{\max,A1}, t_{\max,B1}, \dots, t_{\max,Am}, t_{\max,Bm}$ . Konkrétní činnosti (identifikované číslem výrobního výkresu, pro který je činnost prováděna) s dobou trvání blízkou dobám  $t_{\max,A1}, t_{\max,B1}, \dots, t_{\max,Am}, t_{\max,Bm}$ , budou dále sloužit jako vzorky činností se známou dobou trvání. Ty budou podkladem pro stanovování pracnosti pomocí metody Slotting. Provedeným dělením dojde k rozdělení jednotlivých činností podle náročnosti provedení činnosti na časově málo náročné (interval A:  $(0; t_{\max,Aj})$ ), časově středně náročné (interval B:  $(t_{\max,Aj}; t_{\max,Bj})$ ), a

časově velmi náročné (interval C:  $t_{Cj} > t_{\max, Bj}$ ). Tímto budou rozděleny všechny náměry do  $3 \times m$  skupin. Z rozdělených náměrů vypočítáme pro každou skupinu náměrů střední hodnotu doby trvání, ty označíme  $\bar{t}_{A1}, \bar{t}_{B1}, \dots, \bar{t}_{Cm}$ , resp. pro kapacitní výpočet použijeme označení  $\bar{t}_j$ , kde  $j = A1 \dots Cm$ .

**Tab. 4.1** Návrh matice pracnosti

| Činnosti    | Časová náročnost provedení činnosti |                              |                |
|-------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------|
|             | A                                   | B                            | C              |
| Činnost 1   | $\bar{t}_{A1}, t_{\max, A1}$        | $\bar{t}_{B1}, t_{\max, B1}$ | $\bar{t}_{C1}$ |
| Činnost 2   | $\bar{t}_{A2}, t_{\max, A2}$        | $\bar{t}_{B2}, t_{\max, B2}$ | $\bar{t}_{C2}$ |
| ...         | ...                                 | ...                          | ...            |
| Činnost $m$ | $\bar{t}_{Am}, t_{\max, Am}$        | $\bar{t}_{Bm}, t_{\max, Bm}$ | $\bar{t}_{Cm}$ |

*Zdroj: Vlastní.*

- Pomocí metody Slotting provede hlavní technolog rozřazení určitého počtu konkrétních úkolů (výrobních výkresů) každé z činností do skupin A, B, C. Je vhodné, aby pro každou z činností bylo ohodnoceno a rozřazeno alespoň 15 konkrétních úkolů (výkresů). Z četnostního zastoupení úkolů v jednotlivých skupinách vyjádříme desetinným číslem poměrné četnostní zastoupení úkolů v každé ze skupin. Tato poměrná četnostní zastoupení jednotlivých typů hlavních činností budou dále v kapacitním výpočtu vystupovat pod označením  $p_j$ , kde  $j = A1 \dots Cm$ .
- Ze snímku pracovního dne vyjádříme časové zastoupení hlavních a podružných činností a pomocí vztahu (4.2) vypočítáme přírážkový koeficient  $A$ .

#### Výpočet očekávaného objemu práce, očekávaného potřebného počtu technologů a očekávané vytiženosti stávající skupiny technologů

- Po výše popsaném zpracování vstupních dat je v tuto chvíli možné přistoupit k výpočtu očekávaného objemu práce (hod), očekávaného potřebného počtu technologů a očekávané vytiženosti stávající skupiny technologů (%). Očekávaný objem práce v hodinách pro  $h$ -tý plánovaný týden je popsán vztahem (4.7), očekávaný potřebný počet technologů pro  $h$ -tý plánovaný týden je popsán vztahem (4.8) a očekávané procentuální vytižení stávající skupiny technologů v  $h$ -tém plánovaném týdnu vztahem (4.9).

$$T_h = \frac{A}{60} \cdot N_h \cdot \sum_{j=1}^m p_j \cdot \bar{t}_j \quad (4.7)$$

$$K_h = \frac{T_h}{TF} = \frac{A \cdot N_h}{60 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m p_j \cdot \bar{t}_j \quad (4.8)$$

$$P_h = \frac{100 \cdot T_h}{TF \cdot NW} = 1,6 \cdot \frac{A \cdot N_h}{TF \cdot NW} \cdot \sum_{j=1}^m p_j \cdot \bar{t}_j \quad (4.9)$$

Kde je:

- $A$  ... přírážkový koeficient zohledňující provádění podružných činností,
- $h$  ...  $h$ -tý týden, pro který je výpočet proveden,
- $N_h$  ... predikovaný počet požadavků práce v  $h$ -tém týdnu,
- $p_j$  ... poměrné zastoupení výskytu  $j$ -té činnosti,
- $\bar{t}_j$  ... střední doba trvání  $j$ -té činnosti v minutách,
- $m$  ... počet hlavních činností,
- $TF$  ... týdenní časový fond jednoho technologa v hodinách,
- $NW$  ... stávající počet technologů.

Alternativou představeného plánování vycházejícího z historických dat (časové řady zátěže za minulá období), je využití skutečného seznamu činností, jež mají být v nadcházejících týdnech vykonány. U takového přístupu jsou predikované hodnoty časové řady zátěže nahrazeny plánovanými hodnotami zátěže pro nadcházející týdny tak, aby byly splněny požadované termíny dokončení zakázek. Ostatní proměnné vystupující v metodě zůstávají zachovány.

### **4.3 Matematicko statistické nástroje vystupující v navržených metodách kapacitního plánování**

V navržených metodách kapacitního plánování vystupují matematicko statistické nástroje, které tvoří významnou část zpracování vstupních dat. Proto budou tyto nástroje v této podkapitole stručně představeny. Jedná se o metody analýzy a predikce časových řad a testy dobré shody.

#### **4.3.1 Metody analýzy a predikce časových řad zátěže**

Jedním z požadavků na stanovení potřebného počtu režijních pracovníků, je predikce počtu výskytů hlavních činností. Při predikci počtu výskytů hlavních činností bude vycházeno z počtu výskytů hlavních činností, které se uskutečnily v minulosti. K získání potřebných dat lze využít informací zanesených do informačního systému podniku.

##### **Počítačová podpora modelování časových řad**

Pro modelování časových řad je výhodné využít některého ze statistických softwarových produktů. Na českém trhu jsou v současné době nejrozšířenějšími statistickými aplikacemi Statgraphics [107], Statistica [108], SPSS [109] a SAS [110]. Pro analýzu experimentálních dat, pořízených v podnicích, bude pro modelování časových řad a další statistické analýzy využít SW Statgraphics Centurion XV [28], který je na TUL k dispozici.

##### **Klasické metody modelování časových řad**

Klasické metody modelování časových řad vycházejí z předpokladu, že je řada složena z několika složek, které mají jednodušší průběh než celá řada. Tyto složky je snazší modelovat samostatně, a potom z nich zpětně složit model celé řady. Složkami jsou trend  $T_t$ , cyklická  $C_t$ , sezónní  $S_t$  a reziduální  $E_t$  složka. Časovou řadu  $x_t$  lze z těchto složek

sestavit dvěma způsoby. V praxi je využíváno aditivního a multiplikativního modelu, viz. vztahy (4.10), (4.11). [87]

$$x_t = T_t + C_t + S_t + E_t \quad (4.10)$$

$$x_t = T_t \cdot C_t \cdot S_t \cdot E_t \quad (4.11)$$

Cyklická složka se vyznačuje v čase proměnnou periodou a amplitudou, je obtížně modelovatelná a často je zahrnována do trendové složky. Oproti tomu sezónní složka se vyznačuje relativně stálou periodou a průběhem v jednotlivých periodách. Sezónní složku je již poměrně snadné oddělit od složky trendové. Proces oddělování sezónní složky je nazýván sezónním očišťováním.

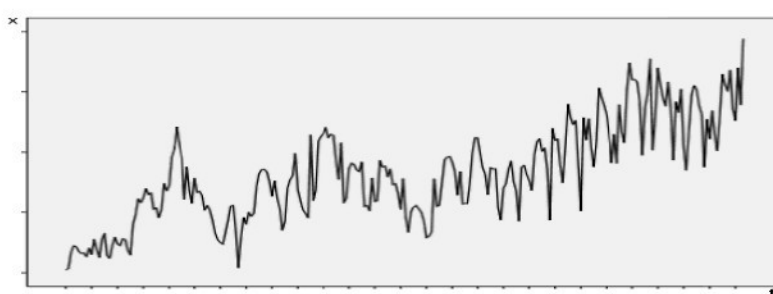
Sezónní očišťování je nejčastěji prováděno vymodelováním trendu pomocí klouzavých průměrů a následným odečtením trendu od původní řady. (V případě multiplikativního modelu se nejedná o odečítání, ale o dělení.) Tím dostaneme odfiltrovanou sezónní složku. Zprůměrováním jednotlivých sezón konečně dostáváme model sezóny.

V případě, že řada nevykazuje sezónní složku, je úloha postavena na modelování trendu. K jeho modelování je nejčastěji využívána regrese, metoda klouzavých průměrů, nebo metoda exponenciálního vyrovnání, která vychází z metody klouzavých průměrů s tím, že zohledňuje klesající váhu hodnot časové řady směrem do minulosti.

Tyto, jen velmi stručně nastíněné, klasické principy modelování časových řad nacházejí uplatnění u řad s jednoduchým průběhem, kde sezónní složka v čase nemění svůj charakter. Díky tomu je jejich využitelnost v praxi poměrně omezená, stejně tak jako jejich prediktivní schopnost.

### Box-Jenkinsova metodologie

Pokud tedy sezónní složka nepravidelně mění v průběhu času svůj charakter, tak jako na obr. 4.3, není vhodné používat klasické metody pro práci se sezónní složkou. Řešením je využití Box-Jenkinsovi metodologie a její sezónní modely SARIMA.



**Obr. 4.3:** Časová řada s nepravidelnou sezónní složkou

Komplexní model SARIMA je složen ze šesti procesů. Tři procesů popisujících trend a tři procesů popisujících sezónnost. Mezi procesy sloužící k modelování trendu patří *Autoregresní procesy* AR (p), *Procesy klouzavých průměrů* MA (q) a *Integrované procesy* I (d). Ty lze popsat vztahy (4.12), (4.13) a (4.14). [2]

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + \varepsilon_t = x_t (\phi_1 B^1 + \phi_2 B^2 + \dots + \phi_p B^p) + \varepsilon_t \Rightarrow \varepsilon_t = \phi_p(B) x_t \quad (4.12)$$

$$x_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} = \varepsilon_t (1 - \theta_1 B^1 - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) = \varepsilon_t \theta_q(B) \quad (4.13)$$



$$\varepsilon_t = (1-B)^d x_t = \Delta^d x_t \quad (4.14)$$

Kde  $x_t$  je člen řady,  $\varepsilon_t$  je reziduum,  $B$  je operátor zpětného posunutí,  $p, q, d$  jsou řády procesů a  $\phi_t, \theta_t$  jsou parametry procesů.

Spojením těchto procesů dostáváme pro stacionární řady smíšený proces ARMA ( $p, q$ ) a pro řady nestacionární smíšený proces ARIMA ( $p, d, q$ ). Ty jsou popsány vztahy (4.15) a (4.16). [3]

$$\phi_p(B)x_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (4.15)$$

$$\phi_p(B)\Delta^d x_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (4.16)$$

Sezónnost je do Box- Jenkinsovi metodologie vnesena sezónními procesy, jakými jsou *Sezónní autoregresní procesy* SAR (P), *Sezónní procesy klouzavých průměrů* SMA (Q) a *Sezónní integrované procesy* SI (D). Tyto procesy jsou analogicky k nesezónním procesům dány vztahy (4.17), (4.18), (4.19), [125] kde  $P, Q, D$  jsou řády procesů a  $S$  je počet časových jednotek vyjadřující sezónnost.

$$\varepsilon_t = \Phi_P(B^S)x_t \quad (4.17)$$

$$x_t = \Theta_Q(B^S)\varepsilon_t \quad (4.18)$$

$$\varepsilon_t = (1-B^S)^D x_t \quad (4.19)$$

Komplexní model SARIMA ( $p, d, q$ ) ( $P, D, Q$ ) s je pak popsán vztahem (4.20) [2], kde člen  $\sum_{j=1}^S \delta_j^* D_{j,t}$  v sobě zahrnuje nenulovou střední hodnotu řady.

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D x_t = \sum_{j=1}^S \delta_j^* D_{j,t} + \theta_q(B)\Theta_Q(B^S)\varepsilon_t \quad (4.20)$$

Výše uvedené vztahy představují pouhé nastínění rozsáhlé problematiky lineárních stochastických procesů. Podrobněji tuto problematiku popsal ve svých monografiích např. Arlt [2], [3], nebo Ruley [84] či Cipra [14].

### ***Tvorba modelu***

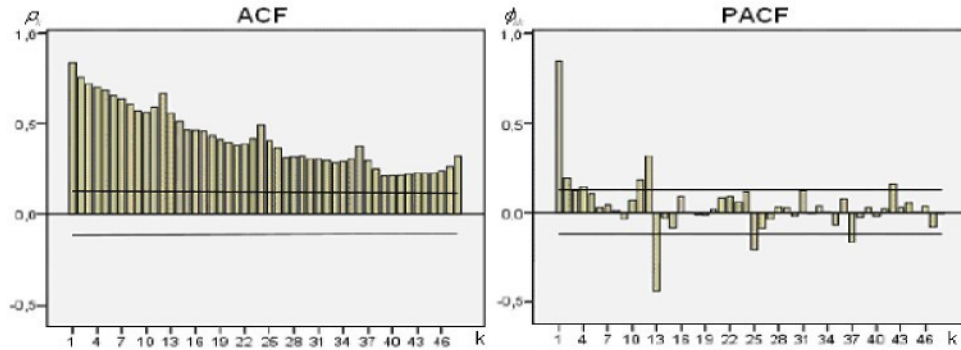
Nejkomplikovanějším krokem vytvoření modelu časové řady, je stanovení vhodných řádů polynomů jednotlivých procesů. Ke stanovení všech šesti dílčích řádů je využíván autokorelační diagram (ACF) a parciální autokorelační diagram (PACF), viz. obr. 4.4.

Tyto sloupcové diagramy zachycují hodnoty autokorelačních koeficientů  $\hat{\rho}_k$  a parciálních autokorelačních koeficientů  $\hat{\phi}_{kk}$ , spočtených z hodnot vyšetřované řady a hodnot tytéž řady posunuté o zpoždění  $k$ . Vzhledem k tomu, že obecně jsou parametry řady neznámé, jsou tyto parametry odhadovány z výběrových hodnot. Autokorelační koeficienty lze spočíst ze vztahu (4.21) [87] a parciální autokorelační koeficienty ze vztahu (4.22) [2].

$$\hat{\rho}_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} \left[ \left( x_t - \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} x_t \right) \left( x_{t+k} - \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} x_{t+k} \right) \right]}{\sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} \left( x_t - \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} x_t \right)^2 \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} \left( x_{t+k} - \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} x_{t+k} \right)^2}} = \frac{\text{cov}(x_t, x_{t+k})}{S_{(x_t)} S_{(x_{t+k})}} \quad (4.21)$$

$$\hat{\phi}_{kk} = \begin{vmatrix} 1 & \hat{\rho}_1 & \hat{\rho}_2 & \dots & \hat{\rho}_{k-2} & \hat{\rho}_{k-1} \\ \hat{\rho}_1 & 1 & \hat{\rho}_1 & \dots & \hat{\rho}_{k-3} & \hat{\rho}_{k-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \hat{\rho}_{k-1} & \hat{\rho}_{k-2} & \hat{\rho}_{k-3} & \dots & \hat{\rho}_1 & \hat{\rho}_k \\ 1 & \hat{\rho}_1 & \hat{\rho}_2 & \dots & \hat{\rho}_{k-2} & \hat{\rho}_{k-1} \\ \hat{\rho}_1 & 1 & \hat{\rho}_1 & \dots & \hat{\rho}_{k-3} & \hat{\rho}_{k-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \hat{\rho}_{k-1} & \hat{\rho}_{k-2} & \hat{\rho}_{k-3} & \dots & \hat{\rho}_1 & 1 \end{vmatrix} \quad (4.22)$$

Výpočet parciálních autokorelačních koeficientů je prováděn z toho důvodu, aby byla odhalena případná korelovanost dvou členů řady, způsobená třetím členem řady, ležícím mezi zmiňovanými členy. Parciální autokorelační koeficienty pak poskytují informace očištěné od korelovanosti vlivem třetího prvku.



**Obr. 4.4:** Autokorelační a parciální autokorelační funkce

### Predikce

Vytváření modelu časové řady následně složí k predikci průběhu modelované časové řady, při kterém je vycházeno z předpokladu, že budoucí hodnota je lineární kombinací již známých minulých hodnot. Explicitní vztah pro výpočet hodnot modelu časové řady pro následující období je např. pro smíšený proces ARIMA (p,d,q) dán vztahem (4.23), kde  $T$  je práh předpovědi a  $h$  je horizont předpovědi.

$$x_T(h) = \left( \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)\Delta^d} \right)_h \varepsilon_T + \left( \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)\Delta^d} \right)_{h+1} \varepsilon_{T-1} + \left( \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)\Delta^d} \right)_{h+2} \varepsilon_{T-2} + \dots \quad (4.23)$$

Tato předpověď je počítána s minimální střední čtvercovou chybou (4.24) [2] a spolehlivost předpovědi je dána spolehlivostním intervalem (4.25),

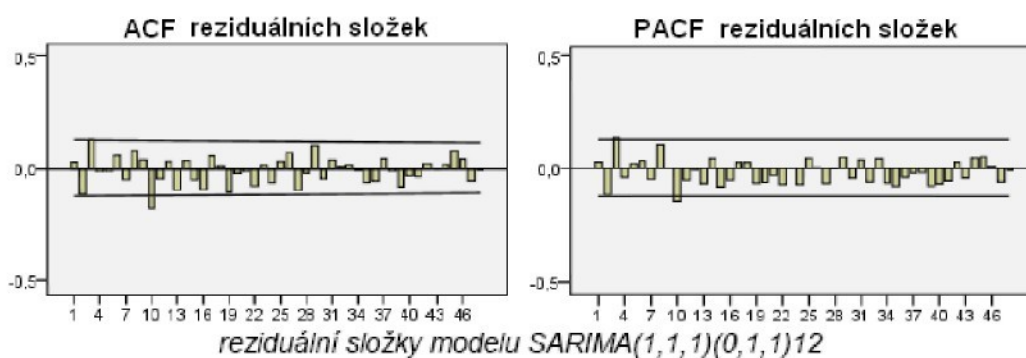
kde  $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$  je  $100(1-\alpha/2)\%$  kvantil normálního normovaného rozdělení.

$$MSE[x_T(h)] = E[x_{T+h} - x_T(h)]^2 \quad (4.24)$$

$$x_T(h) \pm u_{1-\frac{\alpha}{2}} \left[ \sum_{j=0}^{h-1} \left( \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)\Delta^d} \right)_j^2 \right]^{\frac{1}{2}} \sigma_\varepsilon \quad (4.25)$$

### Ověření správnosti modelu

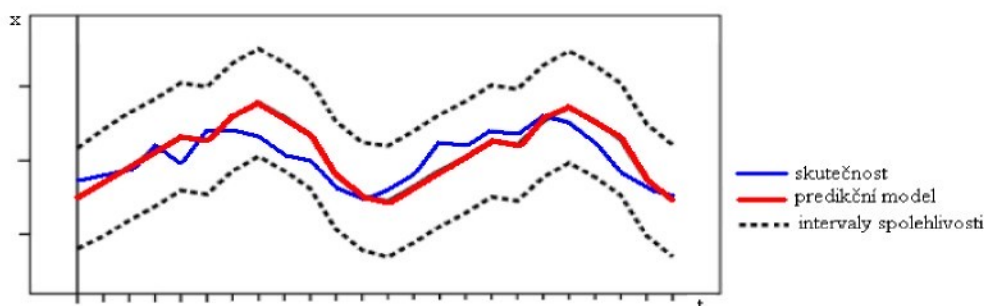
Správnost modelu ověřujeme testováním reziduální složky časové řady. Ta by měla být tvořena řadou bílého šumu, který vykazuje specifické vlastnosti. Nejdůležitější vlastností bílého šumu v Box-Jenkinsově metodologii je nevýznamnost hodnot ACF a PACF. Tato vlastnost je ověřována pomocí diagramů ACF, PACF reziduálních složek (viz. obr. 4.5).



**Obr. 4.5:** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek

Při dostatečném množství pozorování lze model ověřit také pomocí pseudopředpovědi, kdy vytvoříme model ze zkrácené řady a následně porovnáme model predikce se skutečně naměřenými hodnotami, viz. obr. 4.6.

Splnění podmínek a přijetí modelu ovšem neznamená, že je tento model jediným správným modelem. V praxi se může stát, že pro jednu řadu existuje více modelů a všechny jsou správné. K rozhodování o výběru nejlepšího modelu jsou využívána další kritéria, které by reziduální složka měla splňovat. Jedná se především o podmínku náhodnosti a normality reziduální složky. Testování náhodnosti a normality reziduální složky slouží spíše k usnadnění rozhodování při výběru mezi více modely, dobrý model přijímáme i v případě, že tyto podmínky nejsou splněny. Za nutnou a postačující podmínku pro přijetí modelu je podmínka nekorelovanosti reziduí.



**Obr. 4.6:** Porovnání predikčního modelu se skutečností při pseudopředpovědi

### 4.3.2 Testy dobré shody

Další částí navržené metody kapacitního plánování využívající dynamický model je stanovení teoretických pravděpodobnostních rozdělení dob trvání hlavních činností. Teoretická rozdělení jsou stanovována na základě jejich shody s empirickým rozdělením experimentálně získaných dat. K posouzení, zda je možno empirické rozdělení nahradit teoretickým, slouží testy dobré shody. Mezi nejrozšířenější testy dobré shody, které také budou využity v této práci patří Pearsonův  $\chi^2$  (chí-kvadrát) test dobré shody a Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody.

#### Pearsonův $\chi^2$ - test dobré shody

Předpokladem tohoto testu je možnost rozdělení naměřených hodnot do  $k$  disjunktních tříd, jejichž počet bývá stanovován pomocí Stugersova pravidla ( $k = 1 + 3,3 \log n$ ) [31]. Tento test dále vyžaduje dostatečný rozsah výběru, který by měl u 80-ti % intervalů splnit podmínku  $n\pi_{oi} > 5$  a u zbylých 20-ti % intervalů podmínku  $n\pi_{oi} > 1$ .

Pearsonův  $\chi^2$  test testuje nulovou hypotézu  $H_0$ , která předpokládá jisté teoretické rozdělení základního souboru. Alternativní hypotézu  $H_1$  popírající nulovou hypotézu lze zapsat jako  $H_1 : nonH_0$ . Testovací kritérium pro tento test je dáno vztahem (4.26) [76].

$$G = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n\pi_{oi})^2}{n\pi_{oi}} \quad (4.26)$$

Kde  $n_i$  vyjadřuje naměřenou četnost v  $i$ -tém intervalu četnostního rozdělení výběrového souboru a součin  $n\pi_{oi}$  vyjadřuje předpokládanou četnost v  $i$ -tém intervalu. Veličina  $G$  má rozdělení  $\chi^2$  s  $\nu = (k - p - 1)$  stupni volnosti. Přičemž  $p$  vyjadřuje počet odhadovaných parametrů. V případě normálního či log-normálního rozdělení je tedy  $p = 2$ . Po výpočtu testovacího kritéria je vymezen kritický interval popsáný vztahem (4.27).

$$W \equiv \{G; G \geq \chi_{1-\alpha}^2(k - p - 1)\} \quad (4.27)$$

Testovanou hypotézu  $H_0$  přijmeme na hladině významnosti  $\alpha$  pokud bude testovací kritérium ležet mimo kritický obor, tedy pokud bude platit  $G \leq \chi_{1-\alpha}^2(k - p - 1)$ . Dodejme ještě, že zmiňovaná hladina významnosti  $\alpha$  udává pravděpodobnost, že se dopustíme chyby I. druhu, tedy že chybně zamítneme hypotézu  $H_0$ , která platí. [15]

#### Kolmogorov – Smirnovův test dobré shody

K-S test testuje nulovou hypotézu  $H_0$  říkající, že výběr  $X_1, \dots, X_n$  pochází z rozdělení s distribuční funkcí  $\Phi(x)$ . Testovou statistiku vypočteme ze vztahu (4.28).

$$D_n = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_n(x) - \Phi(x)| \quad (4.28)$$

Kde  $F_n(x)$  značí výběrovou distribuční funkci. V případě, že  $D_n \geq D_n(\alpha)$ , kde  $D_n(\alpha)$  je tabelovaná kritická hodnota, zamítáme  $H_0$  na hladině  $\alpha$ . [43]

Výhoda Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody spočívá v možném použití i v případě malého rozsahu výběrového souboru, což u Pearsonova  $\chi^2$  testu dobré shody není možné, protože třídy by byly málo četné, nebo by jich bylo velmi málo. [44] Z toho důvodu bude Pearsonova  $\chi^2$  testu dobré shody využíváno pouze v experimentální části, kde budou výběrové soubory dostatečně četné. Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody bude s výhodou využíváno při aplikaci navržené metody, kde bude dostačující provést jen několik náměrů (cca 5 náměrů) dob trvání každé z hlavních činností.

Pro stanovení pravděpodobnostního rozdělení základního souboru je možno využít statistického software. Např. aplikace Statgraphics Centurion XV nabízí možnost testovat dobrou shodu pomocí celkem sedmi testů dobré shody, přičemž je možno testovat shodu výběrového souboru se 45-ti typy teoretických rozdělení.

### 4.3.3 Generování pseudonáhodných čísel

Další částí navržené metody kapacitního plánování využívající dynamický model plánování je generování pseudonáhodných čísel (dob trvání hlavních činností). Pro generování náhodných čísel z různých rozdělení lze využít SW Statgraphics, který nabízí možnost generovat náhodná čísla z celkem 45 pravděpodobnostních rozdělení. [28]

Alternativou generátoru, který obsahu aplikace Statgraphics, je např. generátor náhodných čísel ZRandom, který je určen pro MS Excel. Tento generátor používá algoritmus Mersenne Twister [73], což zaručuje lepší výsledky než podobná funkce (RAND) v Excelu. Pomocí ZRandom je možno vygenerovat náhodná čísla ze 16 diskrétních a spojitých distribučních funkcí. Po instalaci se program objeví v Excelu v menu Nástroje jako jedna z položek. [127]



## 5 Experimentální část

V předchozích kapitolách bylo uvedeno, že v navržené metodě kapacitního plánování vystupují neznámé parametry, které doposud nebyly popsány a je tedy nutno je zjistit experimentálním způsobem. Za tímto účelem byly v průběhu řešení této práce provedeny v reálných provozních podmínkách výrobních podniků 3 experimenty. První dva experimenty byly zaměřeny na práci seřizovačů, třetí z experimentů byl zaměřen na práci technologů. Cílem experimentů bylo pořídit experimentální data na jejichž základě bude možné stanovit zobecněné závěry především o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání určitých režijních činností a o dynamickém průběhu časových řad zátěže.

V této kapitole budou popsány tyto 3 provedené experimenty:

- Experiment A - Studie práce seřizovačů lisů,
- Experiment B - Studie práce seřizovačů nástrojů pro obráběcí CNC stroje,
- Experiment C - Studie práce technologů.

### 5.1 Experiment A – Studie práce seřizovačů lisů

#### 5.1.1 Prostředí provádění experimentu

První z provedených experimentů byl zaměřen na studium práce seřizovačů (viz. obr. 5.1). Tento experiment byl uskutečněn v podniku, ve kterém jsou vyráběny vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinutých karbidů.



**Obr. 5.1** Proces přeseřizování lisu



**Obr. 5.2** Prostředí realizace exp. A (lisovna)  
Zdroj: Vlastní.

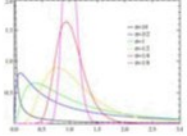
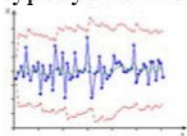
Pro experiment byl vybrán provoz lisovny (viz. obr. 5.2), ve kterém dochází k poměrně velkému počtu přeseřizování během směny, což je vhodné pro pořízení většího množství dat a dosažení přesnějších závěrů. V lisovně se nachází 16 lisů, které jsou obsluhovány šesti operátorkami a seřizovány čtyřmi seřizovači. Provoz na lisovně je dvousměnný. Všechny provedené operace jsou zanášeny do informačního systému SAP.



### 5.1.2 Cíle a zaměření experimentu

Cílem provedené studie bylo získat experimentálně naměřená data a poznatky, jež povedou k vytvoření metody kapacitního plánování seřizovačů. Oblasti na které byl experiment zaměřen, metody získávání dat, metody vyhodnocování dat a formy výstupů jednotlivých částí experimentu jsou shrnuty v tab. 5.1.

**Tab. 5.1** *Popis jednotlivých částí experimentu A*

| č. ex. | Studovaná oblast                     | Metoda sběru dat                                          | Metoda vyhodnocení                                                                                 | Výstup                                                                                                                                             |
|--------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1     | Pracovní činnosti.                   | Snímkování pracovního dne.                                |                                                                                                    | Seznam pracovních činností.                                                                                                                        |
| A2     | Struktura pracovních činností.       | Snímkování pracovního dne.                                | Rozdělení do skupin dle přidané hodnoty a dle charakteru činností.                                 | Procentuální zastoupení činností.<br>Koeficient přírážek A<br>  |
| A3     | Typologie pracovních činností.       | Měření práce se zaznamenáním výskytu chyb při seřizování. | Základní statistická analýza.                                                                      | Seznam typových pracovních činností.                                                                                                               |
| A4     | Povaha vybraných činností.           | Měření práce. Využití dat z informačního systému.         | Bodové odhady.<br>Pearsonův $\chi^2$ - test dobré shody.<br>Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody. | Pravděpodobnostní rozdělení dob trvání typových činností.<br> |
| A5     | Analýza časové řady zátěže.          | Využití dat z informačního systému.                       | Analýza časových řad.                                                                              | Model časové řady zátěže.                                                                                                                          |
| A6     | Očekávaný průběh časové řady zátěže. | Využití výstupu předešlé fáze.                            | Predikce časových řad.                                                                             | Predikční model požadavků typových činností.<br>              |
| A7     | Potřebný počet seřizovačů.           | Využití výstupů z předešlých fází experimentu.            | Navržená metoda kapacitního plán. využívající dyn. model plánování.                                | Potřebný počet seřizovačů, objem práce, vytíženost stávající skupiny seřizovačů.                                                                   |

*Zdroj: Vlastní.*

### 5.1.3 Vytvoření seznamu činností seřizovačů

Prvním krokem studie práce seřizovačů bylo sestavení seznamu úkolů, které má seřizovač vykonávat. Jedná se o výčet nejruznějších přeseřizení či drobných oprav, se kterými se seřizovač na svém pracovišti setkává a které musí vykonávat.

Při provádění experimentu bylo zjištěno, že seřizovači mají vykonávat 20 činností s různou frekvencí jejich výskytu. Mezi vysoce opakované (hlavní) činnosti patřila výměna materiálu, výměna nástroje a výměna adaptéru.

U těchto hlavních činností byla zohledněna geometrie výlisku, která může mít vliv na dobu trvání činností. Další (podružné) činnosti se vyskytovaly s nižší frekvencí a svým charakterem jejich doba trvání nebyla závislá na typu VBD. U těchto dalších činností tedy nebyla zohledněna geometrie výlisku. Souhrnně je všech 20 pracovních činností seřizovače uvedeno v tabulce 5.2.

**Tab. 5.2:** *Seznam činností seřizovačů*

| č. | Název činnosti                                 | Ozn. | Popis, poznámka                                                                                                                                                   |
|----|------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Výměna materiálu                               | M1   | Negativní geometrie VBD.                                                                                                                                          |
| 2  | Výměna materiálu                               | M2   | Pozitivní geometrie VBD s fazetkou.                                                                                                                               |
| 3  | Výměna materiálu                               | M3   | Pozitivní geometrie VBD bez fazetky.                                                                                                                              |
| 4  | Výměna nástroje                                | N1   | Negativní geometrie VBD.                                                                                                                                          |
| 5  | Výměna nástroje                                | N2   | Pozitivní geometrie VBD s fazetkou.                                                                                                                               |
| 6  | Výměna nástroje                                | N3   | Pozitivní geometrie VBD bez fazetky.                                                                                                                              |
| 7  | Výměna adaptéru                                | A1   | Negativní geometrie VBD.                                                                                                                                          |
| 8  | Výměna adaptéru                                | A2   | Pozitivní geometrie VBD s fazetkou.                                                                                                                               |
| 9  | Výměna adaptéru                                | A3   | Pozitivní geometrie VBD bez fazetky.                                                                                                                              |
| 10 | Výměna horního razníku                         | HR   | Je měněna pouze horní část nástroje.                                                                                                                              |
| 11 | Výměna dolního razníku                         | DR   | Je měněna pouze dolní část nástroje.                                                                                                                              |
| 12 | Lisování vzorků                                | V    | Vzorky jsou lisovány různými tlaky. Pak jsou slinovány a jsou vyhodnoceny jejich mechanické vlastnosti, na základě kterých je pak zvolen optimální lisovací tlak. |
| 13 | Cejchování                                     | C    | Nutno seřídít tak, aby byly dodrženy požadované parametry výlisku.                                                                                                |
| 14 | Výměna prasklého razníku                       | R    | Prasklý razník, na výlisku je rýha.                                                                                                                               |
| 15 | Řešení drolení                                 | D    | Výlisek se drolí, nutno přeseřídít.                                                                                                                               |
| 16 | Zasunutí jehly                                 | J    | Zasunutí jehly zpět do spodní části nástroje.                                                                                                                     |
| 17 | Nastavení automatu po zakolísání napětí v síti | EL   | Vlivem zakolísání el. en., bouřky či horka dochází k výpadkům citlivých lisů. Musí být vyvoláno poslední nastavení automatu.                                      |
| 18 | Výměna zásobníku                               | VZ   | Vyjímečný případ, prasklá tyč zásobníku prášku.                                                                                                                   |
| 19 | Pomoc obsluze stroje                           | PL   | Operativní řešení problémů, které se vyskytují na lisech v průběhu lisování.                                                                                      |
| 20 | Lisování                                       | L    | V případě, že nejsou seřizovači vytíženi, vykonávají práci obsluhy stroje a lisují.                                                                               |

*Zdroj: Vlastní.*

Při studii práce seřizovačů bylo zjištěno, že seřizovači věnují určité množství času operativnímu řešení problémů, které se vyskytují na lisech v průběhu lisování. Tyto operativní činnosti nejsou zanášeny do IS. Jejich výskyt bude do dalších výpočtů zahrnut pomocí přírážkového koeficientu.

Poslední z uvedených činností je lisování. To přímo nespadá do náplně práce seřizovačů, ale seřizovači ho vykonávají v době kdy nejsou vytíženi. Přejímání práce obsluhy stroje, v případě nízké vytíženosti seřizovačů, se ukazuje být jedním ze specifíků práce seřizovačů.

Doposud byl uveden pouze výčet činností bez zohlednění lisu na kterém je činnost vykonávána. Vzhledem k tomu, že se v lisovně nachází celkem 16 lisů 10-ti různých typů, jejichž přeseřídění může mít různou časovou náročnost, je třeba uvažovat také typ lisu. Ze

zmiňovaných 10-ti typů lisů měly, oproti ostatním typům, výrazně vyšší vytiženost 3 typy lisů, ty budou dále označovány L1, L2 a L3. Skupina lisů L1 je zastoupena čtyřmi lisy, skupina lisů L2 třemi lisy a do skupiny lisů L3 patří 2 lisy. Ostatních 7 lisů bylo vytiženo jen zřídka. Seřizování těchto lisů bude považováno za podružné činnosti, jejichž vykonávání je v kapacitním výpočtu zohledněno přírážkovým koeficientem.

#### 5.1.4 Struktura práce seřizovačů

Jelikož seřizovači vykonávají poměrně velké množství různě četných činností různého charakteru, bylo rozhodnuto o provedení časových studií pouze u vybraných činností a o zahrnutí zbylých činností pomocí přírážkového koeficientu. Tento koeficient vychází ze struktury práce seřizovače, která může být sestavena podle více hledisek. Nejčastějšími hledisky je přidaná hodnota a opakovanost činnosti.

##### Struktura práce podle přidané hodnoty

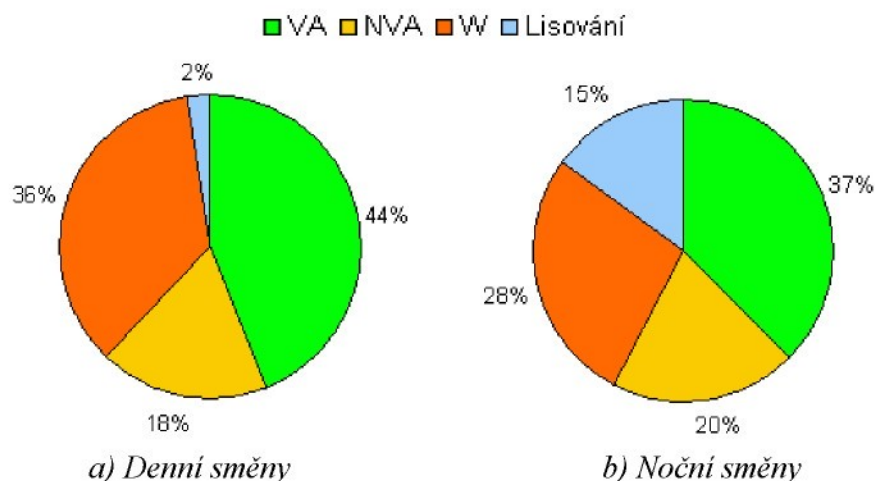
V oblasti výrobních činností je vhodné stanovit strukturu práce podle přidané hodnoty. Ze stejného přístupu bylo vycházeno i zde, kde byly při snímkování pracovního dne skupiny čtyř seřizovačů každé 2 minuty pořízeny záznamy o momentálně prováděné činnosti každého ze seřizovačů. Z hlediska přidané hodnoty byly rozlišovány tři typy činností (VA, NVA, W). Toto dělení podle přidané hodnoty bylo rozšířeno o činnost lisování. Celkem tedy byly rozlišovány následující typy činností:

- VA (*value added*) - Činnosti přímo přidávající hodnotu. Zástupcem těchto činností bylo seřizování a drobné opravy.
- NVA (*non value added*) – Činnosti, které přímo nepřidávají hodnotu, ale jsou potřebné pro možnost provádění činností typu VA. Mezi tyto činnosti patří převzetí materiálu, převzetí nástroje, práce na adaptéru mimo lis, kontrola výlisku mikroskopem, administrativa, zanášení dat do IS, konzultace.
- W (*waste*) – Ztráty. Doba po kterou není seřizovač vytižen, nebo nevykonává žádnou pracovní činnost.
- Lisování. Tato činnost má charakter činnosti VA. Vzhledem k tomu, že se ale nejedná o činnost, která by primárně spadala do náplně práce seřizovače, bylo lisování zaznamenáváno zvlášť. Situace, kdy seřizovač vykonával práci obsluhy stroje a lisoval, nastávala v případě, kdy nebyl seřizovač vytižen a některý z lisů čekal na pracovníka obsluhy stroje.

Z poměrného zastoupení jednotlivých činností během směny byla stanovena struktura časového fondu seřizovačů lisů. Ta je pomocí koláčových diagramů zvlášť pro denní a zvlášť pro noční směny znázorněna na obr. 5.3.

Z diagramů je patrné, že se na nočních směnách vyskytuje menší zastoupení činností VA, na úkor vyšší nevytiženosti seřizovače seřizováním. Při noční směně je tato nevytiženost kompenzována lisováním. Mimo výpočtu celkových struktur pro celé směny byly také vypočteny dílčí struktury pro jednotlivé fáze směn, ty jsou uvedeny v příloze I.

Při snímkování pracovního dne bylo zjištěno, že se činnosti typu VA a NVA u seřizovacích činností značně prolínají a využití struktury práce podle přidané hodnoty je pro výpočet přírážkového koeficientu nevhodné.



**Obr. 5.3** Struktura časového fondu seřizovačů lisů podle přidané hodnoty

Zdroj: Vlastní.

### Struktura práce podle opakovanosti činností

Vhodnějším kritériem pro dělení seřizovacích činností, než-li je přidaná hodnota, se ukazuje být opakovanost činností. Vysoce opakované činnosti budou nazývány hlavními činnostmi a budou dále detailněji studovány pomocí časových studií. Nízce opakované činnosti budou nazývány podružnými činnostmi a do objemu práce budou započteny pomocí přírážkového koeficientu. V tomto experimentu do skupiny hlavních činností spadali činnosti M1 až A3 (viz. tab. 5.2), zbylé činnosti byly zařazeny do skupiny podružných činností. Struktura časového zastoupení hlavních činností, podružných činností a ztrát je zachycena na obr. 5.4.



**Obr. 5.4** Struktura časového zastoupení činností seřizovačů

Zdroj: Vlastní.

### Stanovení závěrů o struktuře práce seřizovačů

Z provedené studie práce seřizovačů byly zjištěny následující poznatky o struktuře práce seřizovačů:

- Z hlediska využití struktury práce seřizovačů pro výpočet přírážkového koeficientu je vhodné vycházet ze struktury činností podle jejich opakovanosti.
- Činnosti typu VA a NVA se při seřizování strojů značně prolínají.
- Ve struktuře práce seřizovačů vystupuje i obsluha stroje, kterou by měl seřizovač provádět v době kdy není vytížen seřizováním.
- Objem práce seřizovačů je na denních a nočních směnách rozdílný, pro činnosti typu VA dosahuje objem práce na nočních směnách 78% objemu práce na denních



směnách. Pro činnosti typu VA+NVA dosahuje objem práce na nočních směnách 91% objemu práce na denních směnách.

- V průběhu denní i noční směny narůstá zastoupení ztrátových časů. Časy kdy nebyl seřizovač vytižen, nebo nevykonával žádnou pracovní činnost byly v jednotlivých fázích denních směn zastoupeny: 33%, 41%, 42% a v jednotlivých fázích nočních směn zastoupeny: 31%, 49%, 53%.
- V kapacitním výpočtu je nezbytné zohlednit pomoci přírážkového koeficientu také reakční dobu seřizovače. Tedy dobu po kterou čeká stroj na seřízení momentálně vytiženým seřizovačem. Reakční doba bývá evidována v IS.

### 5.1.5 Shlukování činností

Vzhledem k obecně vysokému počtu činností seřizovačů byla pozornost věnována nalezení vhodného způsobu shlukování činností tak, aby mohly být naměřeny doby trvání jen pro zástupce skupin činností a doby trvání ostatních činností pak od nich mohly být odvozeny.

Původní záměr využití nástrojů shlukové analýzy narazil na překážku nedostatku spojených dat, jež by popisovala seřizovací činnosti. Další variantou shlukování činností se ukazoval být slotting. V případě využití slottingu by ovšem došlo k zanedbání pravděpodobnostních rozdělení dob trvání činností, která jsou pro kapacitní metodu plánování využívající dynamický model stěžejní.

V průběhu provádění experimentu byl nalezen faktor, který se ukázal být vhodným kritériem pro shlukování činností. Tímto faktorem je možnost výskytu příčin zpoždění dokončení činnosti. Ty pak mají přímý vliv na tvar pravděpodobnostního rozdělení doby trvání přeseřizování stroje. Z provedených pozorování bylo zjištěno, že se při seřizování lisů u experimentu A vyskytují dvě hlavní příčiny zpoždění dokončení přeseřizování:

- nedostatečně vyleštěný razník,
- závada na odebíracím rameni.

Podle možnosti výskytu jednotlivých příčin zpoždění byly vytvořeny skupiny činností, které jsou uvedeny v tab. 5.3..

**Tab. 5.3** Skupiny seřizovacích činností

| Skupina | Výskyt příčiny zpoždění                                 | Typ seřízení | Skupina lisů | Rozdělení |
|---------|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| 1       | Bez možnosti výskytu příčiny zpoždění pro VBD 1 a 2     | M1,2         | L1,2,3       | N         |
| 2       | Možný výskyt pouze první příčiny zpoždění pro VBD 1 a 2 | N1,2, P1,2   | L3           | 2N        |
| 3       | Možný výskyt obou příčin zpoždění pro VBD 1 a 2         | N1,2, P1,2   | L1,2         | 3N, LN    |
| 4       | Bez možnosti výskytu příčiny zpoždění pro VBD 3         | M3           | L1,2,3       | LN        |
| 5       | Možný výskyt pouze první příčiny zpoždění pro VBD 3     | N3, P3       | L3           | LN        |
| 6       | Možný výskyt obou příčin zpoždění pro VBD 3             | N3, P3       | L1,2         | LN        |

*Zdroj: Vlastní.*

V tabulce byla použita označení, která znamenají následující: VBD 1 (VBD s negativní geometrií), VBD 2 (VBD s pozitivní geometrií s fazetkou), VBD 3 (VBD s pozitivní geometrií bez fazetky), N (normální rozdělení), 2N (směs dvou normálních rozdělení), 3N (směs tří normálních rozdělení), LN (lognormální rozdělení).

Informace o existenci příčin možných zpoždění byli pořízeny prostřednictvím interview s vybraným seřizovačem při sestavování seznamu činností. Informace získané pomocí interview byli dále doplněny v průběhu provádění snímkování pracovního dne. Na základě informace o výskytu příčin zpoždění je možno určit tvar pravděpodobnostního rozdělení doby trvání dané činnosti. Závislost tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání skupin činností na výskytu příčiny zpoždění je patrná z tab. 5.3

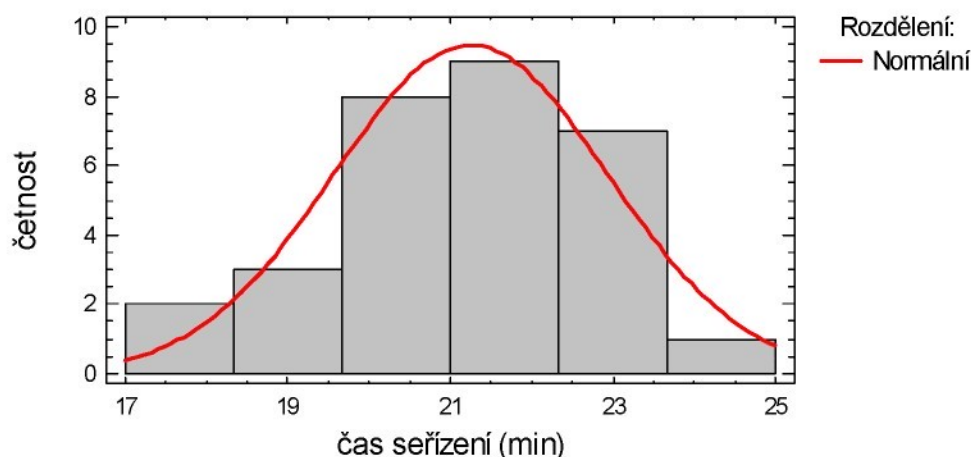
### 5.1.6 Stanovení experimentálních a teoretických rozdělení dob trvání vybraných seřizovacích operací

V této podkapitole bude věnována pozornost stanovení experimentálních a teoretických pravděpodobnostních rozdělení dob trvání vybraných činností. Experimentální data byla pořízena pomocí časových studií, přičemž byly zaznamenávány případy výskytu příčiny zpoždění. Studované činnosti byly vybrány tak, aby každá z vybraných činností reprezentovala rozdílnou skupinu činností.

Experimentální data budou v této podkapitole představena pomocí histogramů a základních ukazatelů explorativní statistiky. Aproximující teoretická rozdělení zde budou graficky znázorněna v obrázcích histogramů a zvláště budou uvedeny parametry teoretických rozdělení s výsledky testů dobré shody. Pořízená experimentální data, včetně rozsáhlejší explorativní analýzy, Pearsonových  $\chi^2$  testů dobré shody a Kolmogorov-Smirnových testů dobré shody, jsou uvedeny v příloze I.

#### Výměna materiálu na skupině lisů L1 pro VBD 1 a 2

Z provedených časových studií bylo zjištěno, že seřizovací operace pro VBD s negativní geometrií se z hlediska časové náročnosti neliší od seřizovacích operací pro VBD s pozitivní geometrií s fazetkou. Proto budou dále VBD 1 a 2 spadat do jedné skupiny.



**Obr. 5.5** Histogram aproximovaný normálním rozdělením

Zdroj: Vlastní.

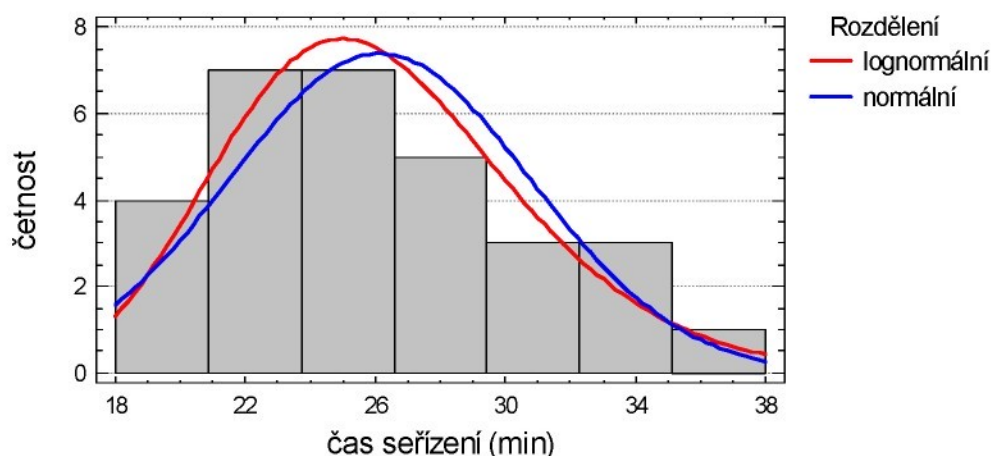


Seřizovací operace výměna materiálu pro VBD 1 a 2 spočívá ve výměně materiálu a následném poměrně snadném seřízení automatu, tak aby byla dodržena výška VBD, resp. výška fazetky VBD.

Na obr 5.5 je zachycen histogram naměřených časů seřízení proložený normálním rozdělením. Z histogramu i provedených testů dobré shody je patrné, že lze experimentální data aproximovat normálním rozdělením s parametry  $\mu = 21,25$  a  $\sigma = 1,685$ . P-hodnota pro Pearsonův  $\chi^2$  test dobré shody dosahuje hodnoty 0,75 a P-hodnota pro Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody činí 0,95.

### Výměna materiálu na L1 pro VBD 3

Výměna materiálu pro VBD 3 (VBD s pozitivní geometrií bez fazetky) s sebou kromě samotné výměny materiálu také přináší seřízení automatu tak, aby byl dodržen předepsaný rádius řezných hran VBD. Toto seřízení vyžaduje vyšší časovou náročnost a častější kontroly mikroskopem. V případě, že se seřizovači nedaří nalézt požadované nastavení lisu, dochází k protahování křivky pravděpodobnosti k delším časům. Výsledky testů dobré shody jsou uvedeny v tabulce 5.4 a ukazují na vhodnost aproximace experimentálních dat lognormálním rozdělením o parametrech  $\mu = 26,15$  a  $\sigma = 4,6$ . Histogram proložený lognormálním a normálním rozdělením je zachycen na obr. 5.6.



**Obr. 5.6** Histogram aproximovaný lognormálním a normálním rozdělením

*Zdroj: Vlastní.*

**Tab. 5.4** Výsledky testů dobré shody

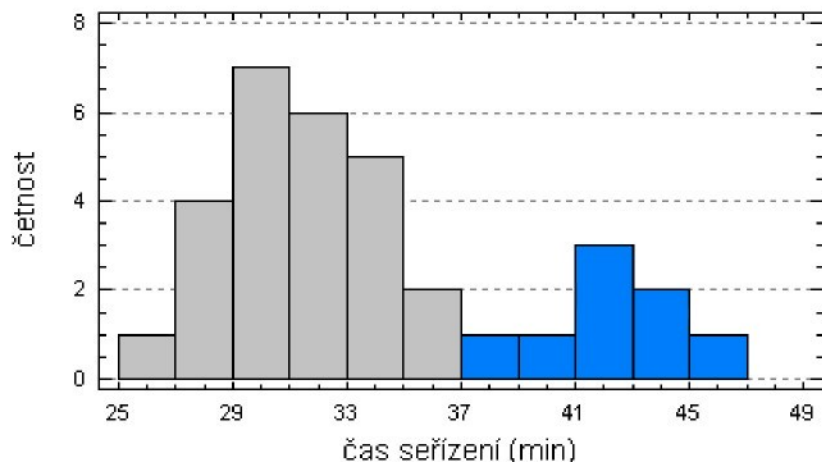
| Test                                                 | Lognormální | Normální |
|------------------------------------------------------|-------------|----------|
| P-hodnota pro Pearsonův chí-kvadrát test dobré shody | 0,852541    | 0,619343 |
| P-hodnota pro Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody  | 0,930506    | 0,884317 |

*Zdroj: Vlastní.*

### Výměna nástroje na skupině lisů L3 pro VBD 1 a 2

Při tomto typu výměny, kdy je vyměňován nástroj, již může dojít ke vzniku zpoždění dokončení seřízení. Příčinou tohoto zpoždění je nedostatečně vyleštěný razník.

Na obr. 5.7 je zobrazen histogram se znázorněním nehomogenity dat. Šedé sloupce histogramu vyznačují případy kdy nedošlo ke zpoždění dokončení seřízení, modré sloupce pak případy, kdy ke zpoždění došlo.



**Obr. 5.7** Histogram se znázorněním nehomogenity dat

Zdroj: Vlastní.

Pokud máme záznamy o tom v jakém případě zpoždění nastalo a v jakém nikoliv, je možné provést rozdělení dat na dva soubory a provést dílčí aproximace teoretickými rozděleními. O vhodnosti rozdělení dat vypovídají P-hodnoty uvedené v tabulce 5.5. Z této tabulky je patrné, že po rozdělení dat dosahují P-hodnoty výrazně vyšších hodnot, než P-hodnoty pro celý soubor, což svědčí o vyšší kvalitě aproximace rozdělených dat. Parametry teoretických rozdělení pro celý soubor dat a pro rozdělená data jsou uvedeny v tabulce 5.6.

**Tab. 5.5** P-hodnoty pro nerozdělená a rozdělená data

| Test dobré shody           | Všechna data (Normální) | Všechna data (Lognormální) | 1.lokální max. (Normální) | 2.lokální max. (Normální) |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Pearsonův chí-kvadrát test | 0,20209                 | 0,520207                   | 0,906047                  | x                         |
| Kolmogorov-Smirnovův test  | 0,530009                | 0,80831                    | 0,9413762                 | 0,926741                  |

Zdroj: Vlastní.

**Tab. 5.6** Parametry teoretických rozdělení

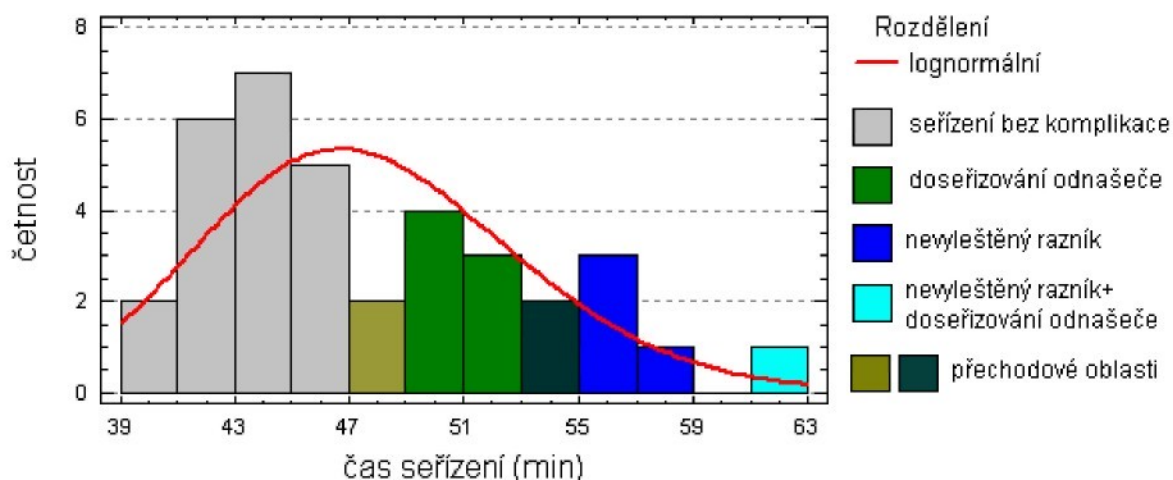
| Parametr            | Všechna data (Normální) | Všechna data (Lognormální) | 1.lokální max. (Normální) | 2.lokální max. (Normální) |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Střední hodnota     | 33,8409                 | 33,8436 (3,51)             | 31,6595                   | 42,1                      |
| Směrodatná odchylka | 5,37965                 | 5,2118 (0,153)             | 1,79705                   | 2,34207                   |

Zdroj: Vlastní.

### Výměna nástroje na skupině lisů L1 pro VBD 1 a 2

Tento typ seřizení s sebou přináší možnost zpoždění dokončení seřizování jak vlivem nedokonale vyleštěného razníku, tak vlivem komplikace při seřizování odebíracího ramena. Při pořizování dat bylo společně s časy zaznamenáno, zda došlo k některému z uvedených zpoždění. Na obr. 5.8 je zachycen histogram časů přeseřizení s rozlišením případů, kdy nastalo zpoždění vlivem nedokonale vyleštěného razníku, či komplikace při seřizování odebíracího ramene.

Z histogramu je patrné, že se jednotlivé případy výskytu chyb prolínají. V tomto případě se ukazuje být vhodným řešením nahrazení experimentálních dat lognormálním rozdělením s parametry  $\mu = 47,66$  a  $\sigma = 5,47$ , což potvrzují výsledky testů dobré shody, které jsou uvedeny v tabulce 5.7.



**Obr. 5.8** Histogram se znázorněním nehomogenity dat

Zdroj: Vlastní.

**Tab. 5.7** Výsledky testů dobré shody

| Test                                                 | Lognormální | Normální |
|------------------------------------------------------|-------------|----------|
| P-hodnota pro Pearsonův chí-kvadrát test dobré shody | 0,456415    | 0,389659 |
| P-hodnota pro Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody  | 0,729592    | 0,549331 |

Zdroj: Vlastní.

Pro další sledované činnosti, které zde nebyli představeny formou histogramů byly pořízeny časové náměry, ze kterých lze pomocí Kolmogorova-Smirnova testu dobré shody stanovit tvar pravděpodobnostního rozdělení a pomocí bodových odhadů určit hodnoty parametrů zjištěného rozdělení. Naměřené hodnoty jsou společně s výsledky testů dobré shody a parametry jednotlivých rozdělení uvedeny v příloze I.

#### Stanovení závěrů o pravděpodobnostních rozděleních dob trvání seřizovacích činností

Z provedené studie práce seřizovačů byly o pravděpodobnostních rozděleních dob trvání seřizovacích činností zjištěny následující poznatky:

- Tvar pravděpodobnostního rozdělení dob trvání seřizovacích činností je závislý na výskytu příčin zpoždění.
- Činnosti bez výskytu zpoždění vykazují v případě jednoduché seřizovací operace normální rozdělení, v případě komplikovanějších seřizovacích operací, kdy je potřeba provádět přesnější doseřizování vykazují lognormální rozdělení.
- Výskyt jedné příčiny zpoždění má za následek dvou modální rozdělení dat.
- Výskyt dvou příčin zpoždění vede k vytvoření směsi více rozdělení, které je vhodné aproximovat lognormálním rozdělením.

Problematicke typologie pravděpodobnostních rozdělení v závislosti na výskytu příčin zpoždění bude věnována podkapitola 6.3.1, kde budou v zobecněné rovině rozebrány zákonitosti týkající se vlivu kombinací dílčích rozdělení na podobu celkového pravděpodobnostního rozdělení.

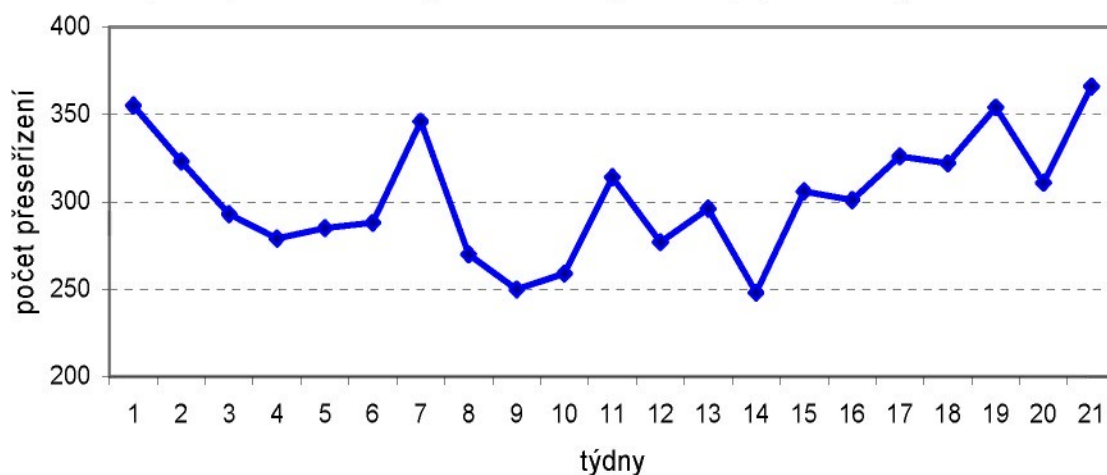


### 5.1.7 Analýza a predikce časových řad zátěže

Další částí navržené metody kapacitního plánování, je stanovení očekávané zátěže. V této podkapitole bude provedena analýza, modelování a predikce dvou časových řad počtů seřízení lisů a počtů provedených zkoušek. Tyto dvě časové řady byly pořízeny z informačního systému. Hodnoty časových řad zátěže a podrobnější údaje o provedených analýzách jsou uvedeny v příloze I.

#### Analýza časové řady počtů přeseřezání lisů

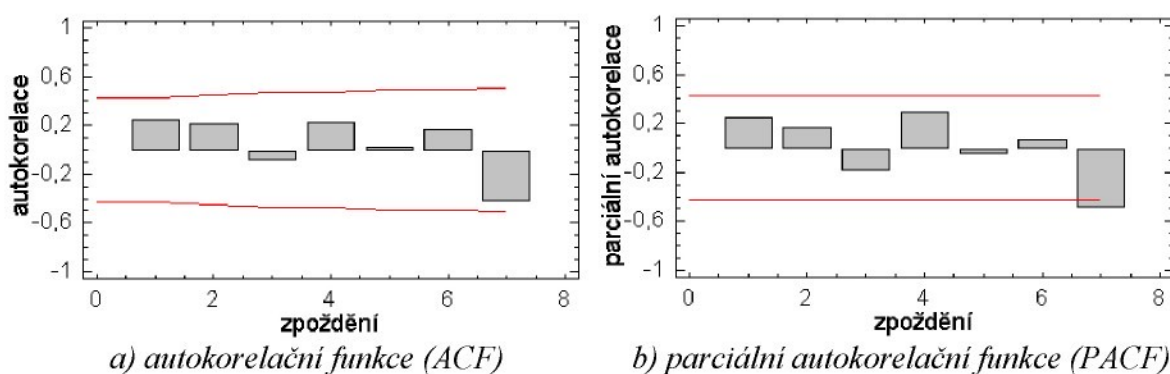
Časová řada počtů přeseřezání lisů je znázorněna pomocí spojnicového grafu na obr. 5.9.



Obr. 5.9 Časová řada počtů přeseřezání lisů

zdroj: vlastní

Na obr. 5.10a je zachycen graf autokorelační funkce s vyznačením 95% spolehlivostního intervalu. Z grafu je patrné, že žádný z autokorelačních koeficientů není statisticky významný, což poukazuje na vysokou nahodilost časové řady, jejíž vlastnosti se blíží bílému šumu. Tuto skutečnost potvrzuje také graf parciální autokorelační funkce, který je zachycen na obr. 5.10b.



Obr. 5.10 Autokorelační a parciální autokorelační funkce

zdroj: vlastní

Mimo využití grafů autokorelační funkce a parciální autokorelační funkce byla náhodnost časové řady testována třemi testy. Každý z testů je založen na jiném principu. Výsledky všech testů jsou ovšem jednotně vyjádřeny pomocí P-hodnoty. V případě, že je P-hodnota určitého testu vyšší než 0,05 nemůžeme pro daný test s 95% mírou spolehlivosti zamítnout hypotézu, že časová řada vykazuje nahodilost blízkou bílému šumu.

První z provedených testů spočívá v porovnávání prvků s mediánem časové řady a vyhodnocením sekvencí spadajících pod a nad medián. P-hodnota tohoto testu pro časovou řadu počtů přeseřžení lisů vyšla rovna hodnotě 0,107. Druhý z testů spočívá v porovnávání rostoucích a klesajících sekvencí prvků časové řady. P-hodnota tohoto testu je rovna hodnotě 1,0. Třetí z provedených testů je Box-Piercův test, který vychází z hodnoty součtu čtverců autokorelačních koeficientů. P-hodnota tohoto testu nabývá hodnoty 0,336. Ze všech tří testů tedy vyplývá vysoká nahodilost časové řady blíží se bílému šumu.

### **Predikce časové řady počtů přeseřžení lisů**

Stanovení vhodného predikčního modelu pro takto nahodilou časovou řadu je značně obtížné a mnohdy není v takovýchto případech predikce hodnot časové řady doporučována. S ohledem na následné plánování kapacit a vysoce stochastický charakter řady by tedy nebylo metodicky chybné počítat se zátěží za několik minulých období a vypočítat počet seřizovačů, jež byl v předchozích obdobích skutečně potřebný.

Pro kapacitní výpočet byly zvoleny dva přístupy, které je možno aplikovat současně. První z přístupů vychází ze skutečných počtů seřazení v předchozích týdnech, druhý z nejlepšího možného predikčního modelu časové řady, který jsme schopni vytvořit.

Při stanovování nejvhodnějšího modelu pro predikci časové řady byly testovány následující potenciálně vhodné modely:

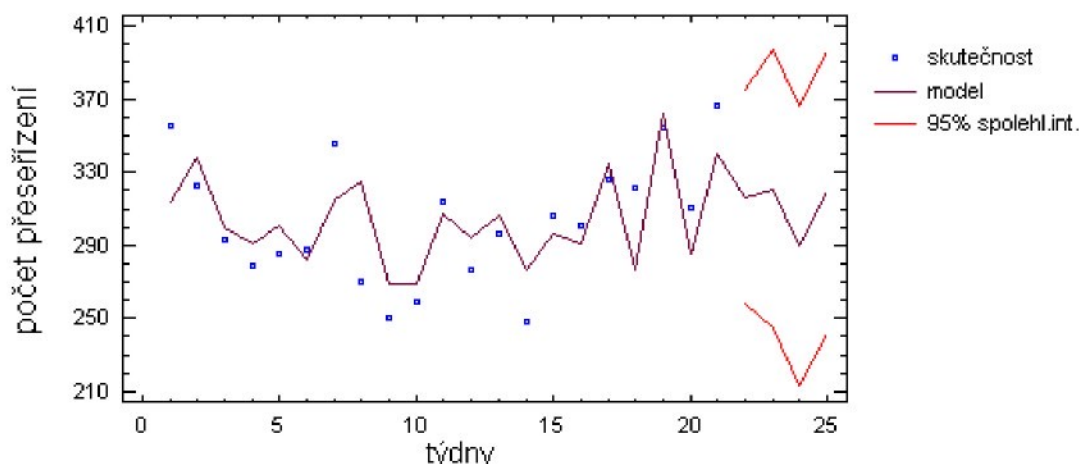
- Náhodná procházka,
- Konstantní průběh = 303,286,
- Lineární model =  $289,2 + 1,28052 t$ ,
- Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,4033$ ,
- Brownovo lineálně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1788$ ,
- Holtsovo lineálně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1801$  a  $\beta = 0,8563$ ,
- ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty,
- ARIMA(0,2,2) s konstantními koeficienty,
- ARIMA(2,0,1) s konstantními koeficienty,
- ARIMA(0,1,1),
- ARIMA(0,2,2).

Pro tyto modely byly spočteny chyby ME, RMSE, MAE, MAPE, MPE a *Akaikeho informativní kritérium* (AIC). Nejnižší hodnotu AIC vykazoval model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro predikci časové řady. Tento model byl dále testován testy RUNS, RUNM, AUTO, MEAN, VAR, které splnil.

Nutno poznamenat, že se hodnoty AIC u ostatních modelů příliš nelišily od hodnoty AIC vybraného modelu a že i některé další modely splnily provedené testy. Výsledky analýzy jsou uvedeny v příloze I. Toto poukazuje na možnost modelovat časovou řadu i jinými modely. Nicméně nejlepší vlastnosti vykazuje model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty. Tento model je zobrazen společně se skutečnými hodnotami, predikcí a 95% intervalem spolehlivosti na obr. 5.11.

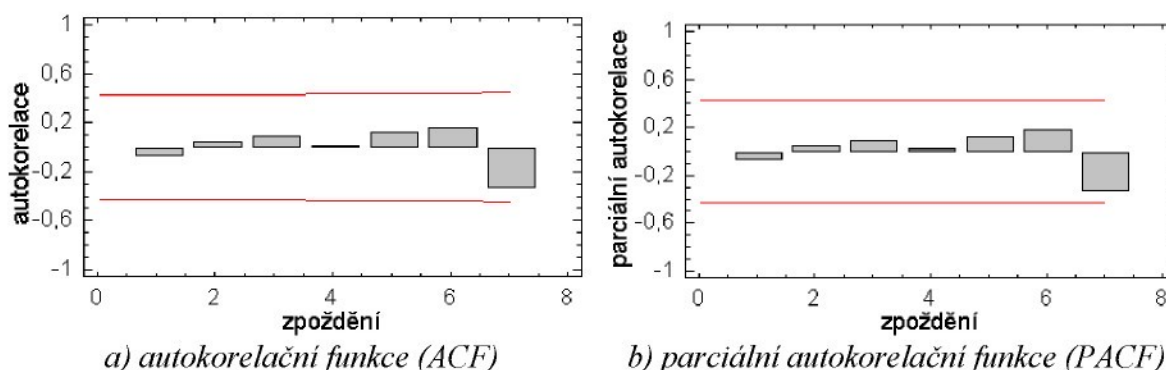
Stejně tak, jako byly pro zjištění náhodnosti řady počítány autokorelační koeficienty a parciální autokorelační koeficienty vstupní časové řady, byly tyto koeficienty počítány i pro reziduální složky modelu časové řady. Z obr. 5.12 a tab. 5.8 je patrné, že žádný

z koeficientů není statisticky významný a že řada reziduí vykazuje vysokou nahodilost. To svědčí o relativní vhodnosti zvoleného modelu.



**Obr. 5.11** Predikční model ARIMA (2,0,2) s konstantními koeficienty

Zdroj: Vlastní.



**Obr. 5.12** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (2,0,2) s konstantními koeficienty

Zdroj: Vlastní.

**Tab. 5.8** Výsledky testů náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty (P-hodnota > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 1,0       |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0       |
| Box-Piercův                 | 0,312549  |

Zdroj: Vlastní.

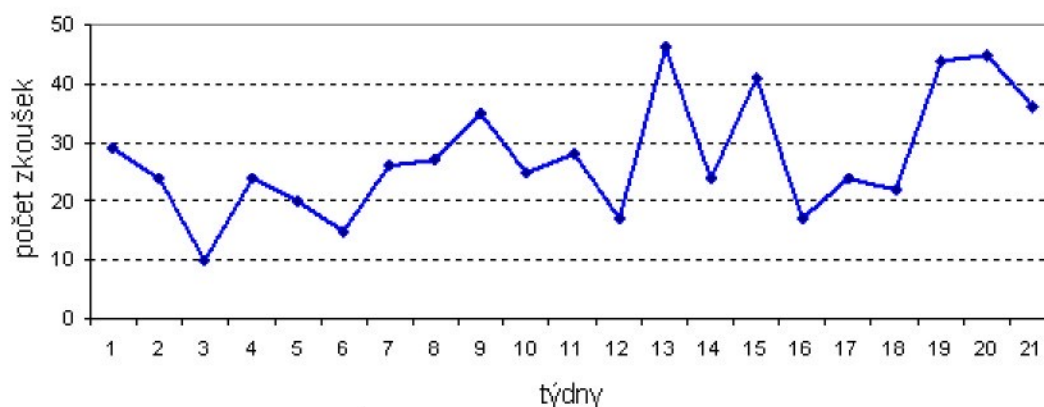
Predikované hodnoty počtů přeseřžení lisů pro následující 4 týdny od konce pořízené časové řady jsou uvedeny v příloze I.

### Analýza časové řady počtů zkoušek

Druhou z řad zátěže je časová řada počtů přeseřžení lisů. Ta je znázorněna pomocí spojnicového grafu na obr. 5.13.

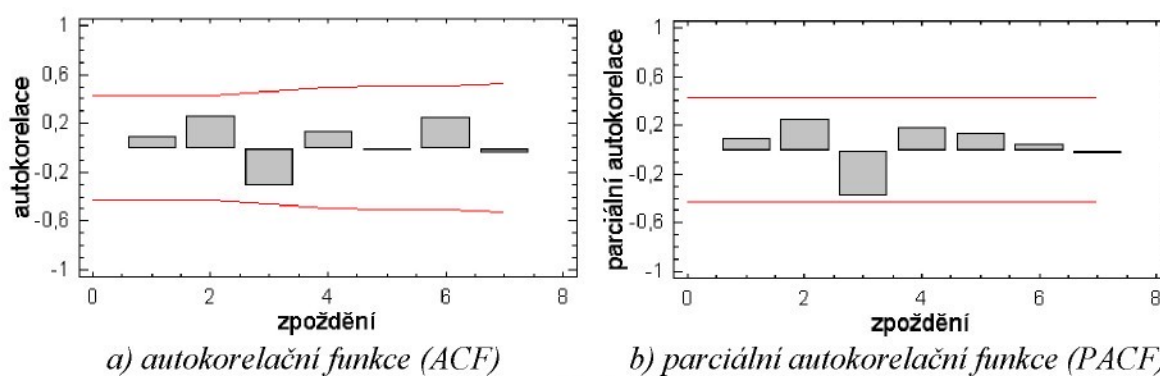
Na obr. 5.14a je zachycen graf autokorelační funkce s vyznačením 95% spolehlivostního intervalu. Z grafu je patrné, že žádný z autokorelačních koeficientů není statisticky významný, což poukazuje na vysokou nahodilost časové řady, jejíž vlastnosti se opět blíží bílému šumu. Tuto skutečnost potvrzuje také graf parciální autokorelační funkce, který je zachycen na obr. 5.14b.





**Obr. 5.13** Časová řada počtů provedených zkoušek

*Zdroj: Vlastní.*



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

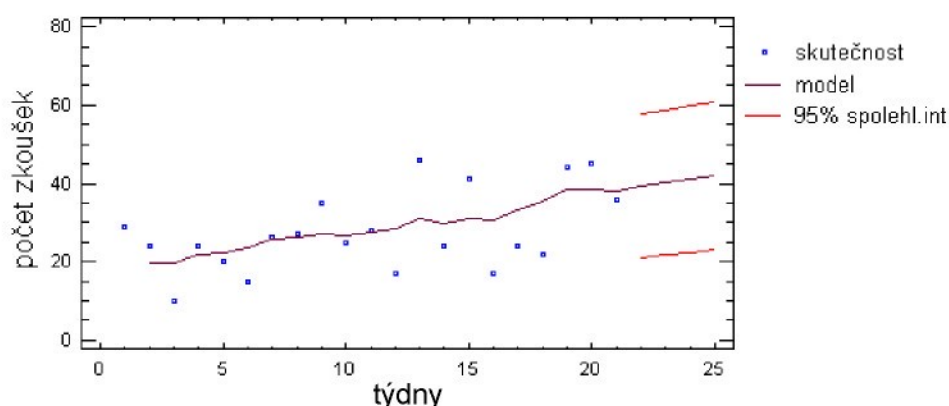
**Obr. 5.14** Autokorelační a parciální autokorelační funkce časové řady

*Zdroj: Vlastní.*

Nahodilost časové řady dokazují také P-hodnoty provedených testů náhodnosti, které nabývají hodnot 0,490693; 0,651841; 0,616189. Rozsáhlejší analýza této časové řady je uvedena v příloze I.

### Predikce časové řady počtů zkoušek

I přes značnou nahodilost časové řady byla také u řady počtů zkoušek snaha o vytvoření vhodného predikčního modelu. Celkem bylo testováno 11 modelů, přičemž všechny provedené testy splnil a nejnižší hodnotu AIC vykazoval model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty. Tento model je společně se skutečnými hodnotami časové řady a 95% spolehlivostním intervalem zachycen na obr. 5.15.



**Obr. 5.15** Predikční model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty

*Zdroj: Vlastní.*

Z grafu je patrné, že se průběh modelu ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty blíží lineárnímu modelu. I přes značnou nahodilost vstupní řady vykazují vstupní data lineárně stoupající trend, který by bylo možné aproximovat také lineární funkcí s předpisem daným vztahem (5.1).

$$y = 0,8x + 18,7714 \quad (5.1)$$

Je zřejmé, že tento stoupající trend lze predikovat jen s omezeným časovým horizontem. Pro predikci počtů provedených zkoušek byl použit model s nejlepšími vlastnostmi, tedy model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty. Průběhy autokorelačních (ACF) a parciálních autokorelačních funkcí (PACF) jsou společně s dalšími částmi kompletní analýzy této časové řady uvedeny v příloze I.

### Stanovení závěrů o chování časových řad zátěže

V provedeném experimentu byly analyzovány dvě časové řady zátěže. Obě časové řady byly tvořeny 21 prvky. První z řad vyjadřuje týdenní počty seřízení lisů. Druhá z řad týdenní počty provedených zkoušek. Obě řady vykazují velmi vysokou stochastičnost blízkou bílému šumu. To dokazují provedené testy nahodilosti, jejichž P-hodnoty výrazně přesahují hodnotu 0,05 od které je řada považována za vysoce stochastickou, viz. tab. 5.9.

**Tab 5.9** *Výsledky testů nahodilosti časových řad*

| Test                        | ČŘ přeseřízení | ČŘ zkoušek |
|-----------------------------|----------------|------------|
|                             | P-hodnota      | P-hodnota  |
| Porovnávání s mediánem      | 0,107          | 0,490693   |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0            | 0,651841   |
| Box-Piercův                 | 0,336          | 0,616189   |

*Zdroj: Vlastní*

Na základě naměřených dat bylo pro provoz ve kterém byl experiment uskutečněn provedeno kapacitní plánování seřizovačů. Výsledky kapacitního výpočtu jsou uvedeny v příloze I.

### 5.1.8 Závěry z experimentu A

V průběhu provádění a vyhodnocování tohoto experimentu byly zjištěny následující hlavní poznatky o struktuře činností seřizovače, pravděpodobnostních rozděleních dob trvání činností a průběhu časových řad zátěže:

- Pro výpočet přírážkového koeficientu je vhodné vycházet ze struktury činností dle jejich opakovanosti.
- Tvar pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností je závislý na výskytu příčin zpoždění, které způsobují dvou či více modalitu rozdělení. Nejčastěji se vyskytujícím rozdělením je lognormální rozdělení.
- Časové řady zátěže vykazují velmi vysokou stochastičnost, jejich modelování a preikce je náročná, nebo nebývá z důvodu vysoké nahodilosti doporučována.

## **5.2 Experiment B – Studie práce seřizovačů nástrojů**

### **5.2.1 Prostředí provádění experimentu**

Druhý z provedených experimentů byl zaměřen na práci seřizovačů nástrojů pro obráběcí CNC centra. Experiment byl uskutečněn v podniku, ve kterém jsou v současné době vyráběny převážně obrobky, které jsou určeny k dalšímu zpracování, případně k montáži v dalších podnicích. V daném provozu seřizování nástrojů zastával jeden seřizovač.

### **5.2.2 Cíle a zaměření experimentu**

Hlavními cíli experimentu bylo získání poznatků o specifikách seřizování nástrojů s ohledem na kapacitní plánování seřizovačů a získání dat pro stanovení závěrů o tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování nástrojů.

Náplň tohoto experimentu vychází ze stejné koncepce, jako výše popsany experiment A. Pro oblasti na které byl experiment zaměřen, metody získávání dat, metody vyhodnocování dat a formy výstupů jednotlivých částí experimentu platí tedy také tab. 5.1.

### **5.2.3 Seznam úkolů**

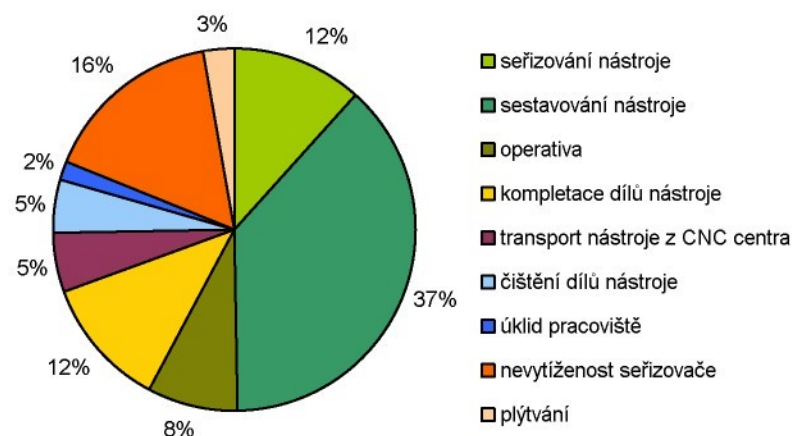
Mezi úkoly seřizovače nástrojů patří příprava nástrojů podle seřizovacích listů, které seřizovač nástrojů obdrží od obsluhy stroje. Příprava nástroje obecně spočívá v následujících činnostech:

- kompletace dílů nástroje,
- čištění dílů nástroje,
- sestavení nástroje,
- seřízení nástroje,
- odměření nulového bodu nástroje,
- vychystání nástroje.

Při seřizování nástrojů se seřizovač setkává s velkým množstvím typů seřízení. Ten je dán velmi širokým spektrem nástrojů, jež jsou pro obráběcí CNC centra využívány. Z hlediska časové náročnosti přípravy nástroje je nutno zohlednit také konstrukci nástroje, která má přímý vliv na dobu sestavení nástroje.

### **5.2.4 Struktura pracovních činností**

Pro stanovení poměrného zastoupení jednotlivých činností seřizovače byly pořízeny snímky pracovního dne seřizovače. Zjištěná struktura činností seřizovače nástrojů pro obráběcí CNC centra je zachycena na obr. 5.16. Tabulka s dílčími časy je uvedena v příloze II.



**Obr. 5.16** *Struktura pracovních činností seřizovače nástrojů pro obráběcí CNC centra*  
Zdroj: Vlastní.

Z provedené studie byly zjištěny následující poznatky o struktuře práce seřizovačů nástrojů:

- Seřizovač nástrojů vykonává díky širokému spektru nástrojů a jejich různé konstrukci velmi vysoký počet činností.
- Při seřizování nástrojů jsou od sebe snadno oddělitelné činnosti typu VA a NVA.
- Samotné seřizování a sestavování nástrojů (VA činnosti) v daném provozu činí 49%, činnosti typu NVA 32%, nevytíženost 16% a ztráty (plýtvání) 3%.

### 5.2.5 Shlukování pracovních činností

Vzhledem k velkému počtu různých nástrojů a z něho vyplývajícího velkému počtu činností bylo provedeno shlukování činností do skupin. Primárně bylo rozhodnuto o shlukování nástrojů podle jejich typu. V tab. 5.10 je uvedeno 7 nejčastěji používaných typových nástrojů. Těchto 7 skupin nástrojů, tvoří 87,5% všech seřizovaných nástrojů. Seřizování těchto nástrojů bude považováno za hlavní činnosti. Seřizování ostatních nástrojů tvořících 22,5% všech seřizovaných nástrojů bude považováno za podružné činnosti. Četnosti jednotlivých typů nástrojů uvedené v tab. 5.10 udávají počty seřízení jednotlivých typů nástrojů za 6 ranních směn, kdy byly záznamy o počtech nástrojů prováděny.

**Tab. 5.10** *Skupiny seřizovacích činností*

| č. | Typový nástroj             | Četnost | % zastoupení |
|----|----------------------------|---------|--------------|
| 1  | vrták                      | 101     | 28,8%        |
| 2  | závitník                   | 41      | 11,7%        |
| 3  | vyvrtávací tyč - hrubovací | 38      | 10,8%        |
| 4  | vyvrtávací tyč - na čisto  | 33      | 9,4%         |
| 5  | čelní fréza s VBD          | 38      | 10,8%        |
| 6  | stopková fréza             | 37      | 10,5%        |
| 7  | vrták - KSEM               | 19      | 5,4%         |
| 8  | ostatní                    | 44      | 12,5%        |

Zdroj: Vlastní.

Bylo předpokládáno a následně také potvrzeno, že rozdělením nástrojů podle jejich typu budou zároveň seřizovací činnosti rozděleny podle tvaru pravděpodobnostního rozdělení. Potvrzení tohoto předpokladu vyplývá z provedených časových studií. Pro kapacitní výpočet bylo toto primární shlukování dále prohloubeno o shlukování nástrojů podle jejich



konstrukce. Každá z uvedených skupin tedy obsahuje, v závislosti na konstrukci nástroje, další podskupiny. Rozdělení nástrojů se zohledněním jejich konstrukce je uvedeno v příloze III, kde jsou již uvedeny časové náročnosti přípravy typových nástrojů.

## 5.2.6 Časové studie

Příprava nástroje se skládá ze dvou fází. První fází je sestavení dílů nástroje. Druhou fází je samotné seřízení nástroje. Pro nezkreslené zjištění pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností byly tyto dvě složky přípravy nástroje analyzovány zvlášť.

Pro stanovení doby trvání sestavení a seřízení typových nástrojů bude vycházeno ze zjištěných dob trvání sestavení párů dílů nástroje a seřízení nástroje. Využití tohoto modulárního systému se ukazuje být při takto velkém množství typů nástrojů vhodným z důvodu nižší časové náročnosti měření a vyšší univerzálnosti použití naměřených časů. Možnost využití přístupu sčítání dílčích časů byla ověřena přímým měřením celkové přípravy nástroje.

### Sestavení nástroje

První fází samotné přípravy nástroje je sestavení jeho dílů v celek. Na obr. 5.17a je zachycen proces montáže VDB na držák VDB frézy, na obr. 5.17b jsou pak díly vyvrtávací tyče připravené k sestavení.



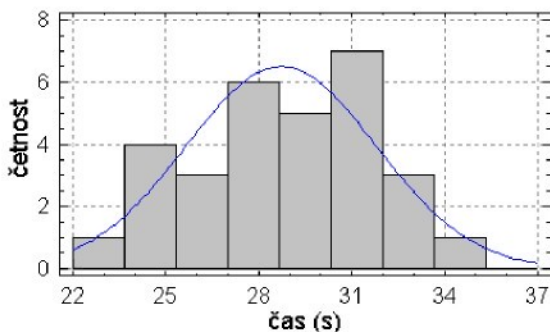
a) montáž VDB frézy



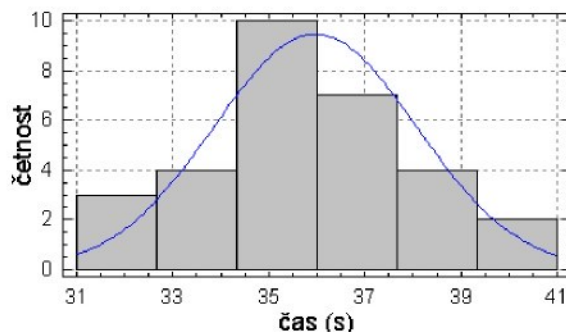
b) díly vyvrtávací tyče připravené k sestavení

**Obr. 5.17** Fáze sestavování nástroje

*Zdroj: Vlastní.*



a) upnutí do kleštiny



b) upnutí do držáku Capto

**Obr. 5.18** Ukázka histogramů časů sestavení dvojic dílů

*Zdroj: Vlastní.*

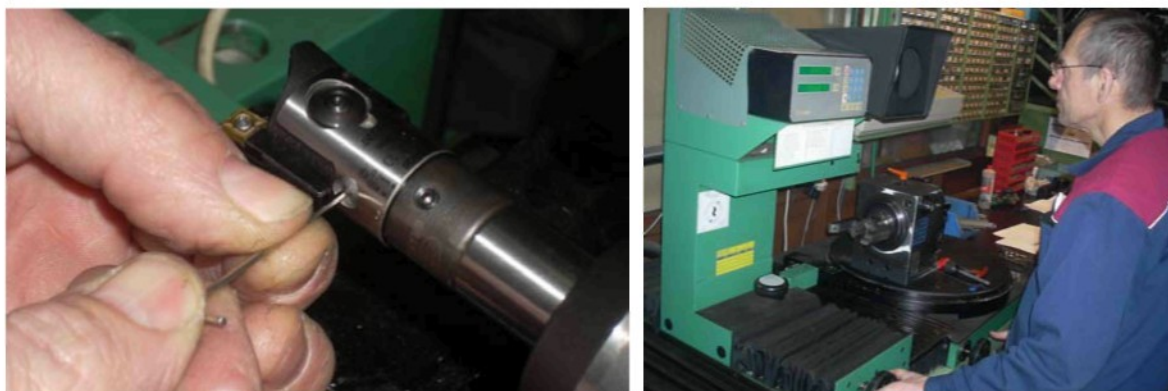


V této fázi byly měřeny časy sestavení typových dvojic dílů nástrojů. Měření bylo prováděno snímkováním pracovní operace. Naměřené časy sestavení vybraných dvojic dílů nástrojů, vytvořené histogramy a testy dobré shody jsou uvedeny v příloze II. Ukázka dvou histogramů časů sestavení dvojic dílů nástroje je pak zachycena na obr. 5.18.

Provedené testy dobré shody ukázaly u všech testovaných empirických rozdělení časů sestavení dílů nástrojů možnost a vhodnost aproximace normálním rozdělením.

### **Seřízení nástroje**

Po sestavení nástroje následuje fáze samotného seřizování nástroje. Jednotlivá seřizování se liší v závislosti na typu nástroje, konstrukci nástroje a nastavovaném rozměru. U nástrojů, jakými je vrták, závitník, stopková fréza, čelní fréza s VBD a dalších, kde je délka i průměr nástroje pevně dán, je ve fázi seřizování nástroje pouze odměřen nulový bod nástroje. U nástrojů, jakými jsou např. složené frézy a vyvrtávací tyče již dochází ke skutečnému seřizování nástroje v podobě nastavování požadovaných rozměrů.



*a) seřizování vyvrt. tyče na požadovaný průměr    b) odměřování nulového bodu nástroje*  
**Obr. 5.19** Fáze seřizování nástroje

*Zdroj: Vlastní.*

Příklad seřizování vyvrtávací tyče na požadovaný průměr je znázorněn na obr. 5.19a. Na obr. 5.19b je pak zachycen proces odměřování nulového bodu speciálního nástroje.

Pro získání poznatků o povaze seřizovacích činností byly pomocí snímkování pracovní operace naměřeny časy seřízení vybraných typů nástrojů.

### **Odměření nulového bodu vrtáku**

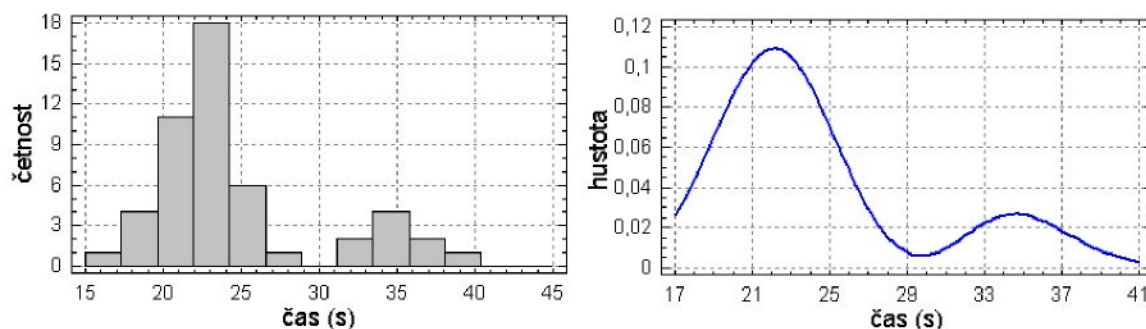
Odměřování nulového bodu vrtáku bylo prováděno pomocí optického přístroje, zachyceném na obr. 5.19b.

Histogram rozložení četností padesáti naměřených časů je zobrazen na obr. 5.20a, na obr. 5.20b je pak zachycen průběh křivky hustoty výskytu časů odměření nulového bodu vrtáku.

Z uvedeného histogramu i křivky hustoty je patrná dvoumodalita rozdělení. Příčina výskytu druhého lokálního maxima spočívá v možném výskytu zpoždění, vzniklém posunutím posuvového šroubu jednoho z vedlejších suportů do krajní polohy.

Při statistické analýze naměřených dat bylo zjištěno, že výběrový soubor pochází ze směsi dvou normálních rozdělení. Parametry dílčích rozdělení jsou společně s p-hodnotou

Kolmogorov-Smirnovova testu dobré shody uvedeny v tab. 5.11. Zjištěný poměr případů kdy nastane a kdy nenastane chyba je 0,22. Aproximace celého souboru dat nějakým elementárním rozdělením, např. lognormálním, které by se jevilo nejpříjemnější, se ukazuje být sice možná, ale značně nevhodná. P-hodnota Kolmogorov-Smirnovova testu dobré shody zde dosahuje pouze hodnoty 0,1004. V tab. 5.11 jsou pro úplnost uvedeny také parametry lognormálního rozdělení pro všechny naměřené časy. Naměřené hodnoty a výsledky provedené analýzy jsou společně s rozbohem naměřených dat pro případ, kdy chyba nastala a případ kdy chyba nenastala uvedeny v příloze II.



a) Histogram časů

b) Křivka hustoty výskytu časů

**Obr. 5.20** Odměření nulového bodu vrtáku

Zdroj: Vlastní.

**Tab. 5.11** Parametry dílčích rozdělení s uvedením p-hodnot

| Skupina náměrů     | $\mu$ | $\sigma$ | p-hodnota |
|--------------------|-------|----------|-----------|
| 1. lokální maximum | 22,1  | 2,34     | 0,8690    |
| 2. lokální maximum | 35,0  | 2,12     | 0,9640    |
| Všechny náměry     | 24,4  | 5,10     | 0,1004    |

Zdroj: Vlastní.

Časy odměření nulového bodu stopkové frézy a čelní frézy s VBD vykazují opět dvoumodální rozdělení, přičemž poloha dat je dána počtem břitů, či počtem VBD. Pro stopkovou frézu se čtyřmi břitů bylo zjištěno rozdělení s parametry  $\mu_1 = 31,3$ ,  $\sigma_1 = 2,77$ ,  $\mu_2 = 45,3$ ,  $\sigma_2 = 3,10$ ,  $p = 0,15$ , pro čelní frézu s 8-mi VBD rozdělení s parametry  $\mu_1 = 46,4$ ,  $\sigma_1 = 3,32$ ,  $\mu_2 = 61,3$ ,  $\sigma_2 = 3,51$ ,  $p = 0,20$ .

#### Nastavení požadovaného průměru vyvrtávací tyče pro hrubování

Proces seřizování vybrané vyvrtávací tyče na požadovaný průměr je zachycen na obr. 5.21.



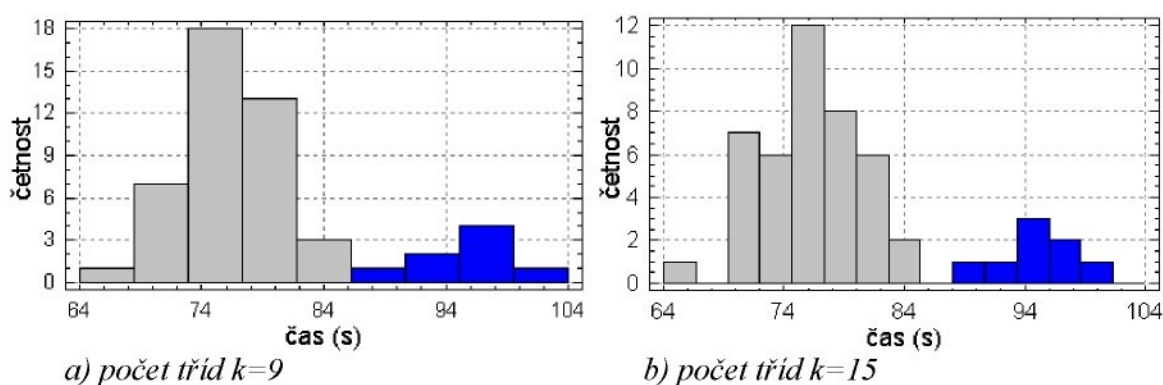
**Obr. 5.21** Proces seřizování vyvrtávací tyče na požadovaný průměr

Zdroj: Vlastní.



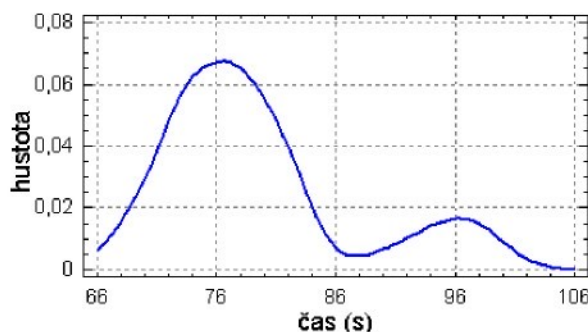
Seřizování je u této vyvrtávací tyče prováděno tím způsobem, že je po upnutí tyče do sklíčidla optického odměřovacího přístroje nejprve na optickém odměřovacím přístroji nastaven požadovaný průměr, poté je povolen první posuvný držák VBD a nastaven požadovaný poloměr. Po otočení vyvrtávací tyče o  $180^\circ$  je stejným způsobem nastaven poloměr umístění druhé VBD.

Při tomto seřizování se opět může vyskytovat zpoždění v podobě vysunutí posuvového šroubu suportu, tak jako při odměřování nulového bodu vrtáku. Histogramy rozložení četností padesáti naměřených časů jsou zobrazeny na obr. 5.22. Pro snazší identifikaci nehomogenity dat a nalezení mezího bodu možného dělení dat byly použity dva histogramy s rozdílným počtem tříd. Křivka hustoty výskytu časů odměření nulového bodu vrtáku je pak zachycena na obr. 5.23.



**Obr. 5.22** Histogramy časů seřízení vyvrtávací tyče na požadovaný průměr

Zdroj: Vlastní.



**Obr. 5.23** Křivka hustoty výskytu časů seřízení vyvrtávací tyče na požadovaný průměr

Zdroj: Vlastní.

Při statistické analýze naměřených časů seřízení bylo zjištěno, že výběrový soubor opět pochází ze směsi dvou normálních rozdělení. Parametry dílčích rozdělení jsou společně s p-hodnotou Kolmogorov-Smirnovova testu dobré shody uvedeny v tab. 5.12.

**Tab. 5.12** Parametry dílčích rozdělení časů seřízení vyvrtávací tyče s uvedením p-hodnot

| Skupina náměrů     | $\mu$ | $\sigma$ | p-hodnota |
|--------------------|-------|----------|-----------|
| 1. lokální maximum | 76,3  | 4,10     | 0,8140    |
| 2. lokální maximum | 95,4  | 3,25     | 0,7230    |
| Všechny náměry     | 79,3  | 7,77     | 0,0905    |

Zdroj: Vlastní.

Zjištěný poměr případů kdy nastane a kdy nenastane chyba je 0,19. Aproximace celého souboru dat nějakým elementárním rozdělením, např. lognormálním, které by se jevílo nejprijatelnější, se ukazuje být sice možná, ale opět značně nevhodná. P-hodnota

Kolmogorov-Smirnovova testu dobré shody zde dosahuje pouze hodnoty 0,0905. V tab. 5.12 jsou pro úplnost uvedeny také parametry lognormálního rozdělení pro všechny naměřené časy.

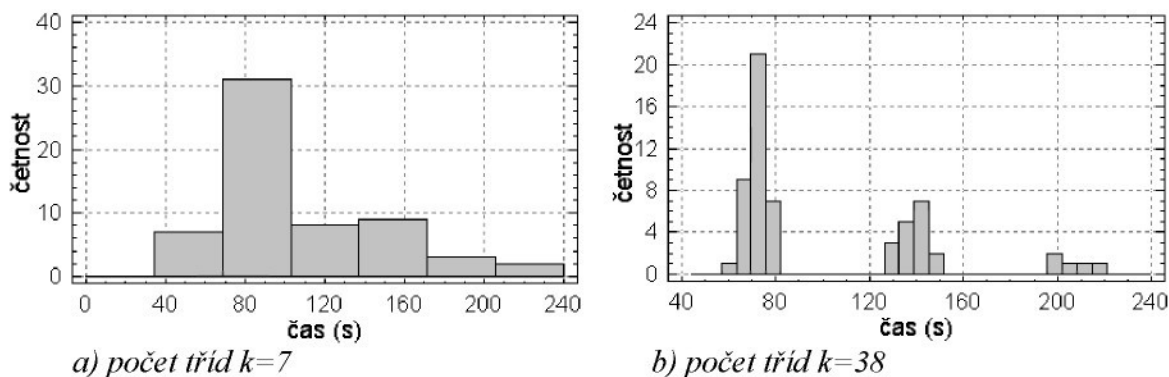
#### ***Nastavení požadovaného průměru vyvrtávací tyče pro obrábění na čisto***

Časy seřízení vyvrtávací tyče pro obrábění na čisto také vykazují dvoumodální rozdělení s parametry  $\mu_1 = 57,6$ ,  $\sigma_1 = 3,37$ ,  $\mu_2 = 73,8$ ,  $\sigma_2 = 3,50$ ,  $p = 0,20$ . I zde je dvoumodalita způsobena vysunutím posuvového šroubu suportu optického odměřovacího přístroje. K výskytu jiné příčiny zpoždění zde nedošlo. Naměřené časy seřízení uvedené vyvrtávací tyče pro obrábění na čisto jsou uvedeny v příloze II.

#### ***Nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče pro tvorbu sražení***

Další série měření byla zaměřena na zjištění pravděpodobnostního rozdělení doby nastavení VBD vyvrtávací tyče na požadovaný úhel.

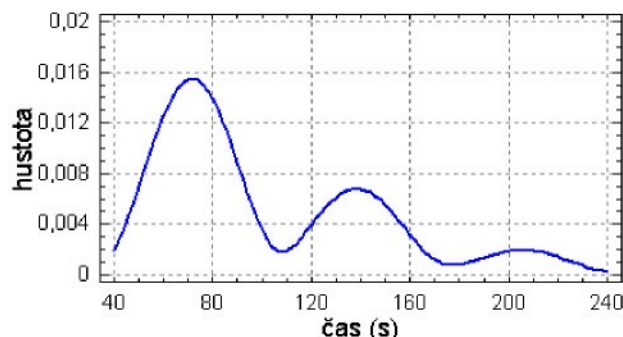
Při měření času seřízení bylo zjištěno, že se u tohoto typu seřízení může vyskytovat jedna příčina zpoždění. Tato příčina zpoždění spočívá v chybném nastavení úhlu a nutnosti jeho opětovného nastavování. Výskyt této chyby se může sériově opakovat. Na obr. 5.24 jsou zobrazeny histogramy časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče.



**Obr. 5.24** Histogramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče

Zdroj: Vlastní.

Z histogramů je patrná trimodalita rozdělení, složeného ze směsi tří normálních rozdělení. Z uvedených histogramů je dále zřejmé, že je pro odhalení nehomogenity dat potřeba volit vyšší počet tříd histogramu, než je stanovován pomocí konvenčních pravidel. Problematika volby vhodného počtu tříd histogramu u vícemodálně rozdělených dat bude popsána v podkapitole 6.1.2. Vícemodalita je dále zřejmá z křivky hustoty výskytu časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací zachycené na obr. 5.25.



**Obr. 5.25** Křivka hustoty výskytu časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče

Zdroj: Vlastní.

Parametry dílčích normálních rozdělení jsou uvedeny společně s p-hodnotami Kolmogorov-Smirnova testu v tab. 5.13. Zjištěná pravděpodobnost výskytu první chyby je 31% a výskytu opětovné chyby je 8%. Aproximace celého souboru dat nějakým elementárním rozdělením, se ukazuje být naprosto nevhodná. Žádné z elementárních rozdělení nesplnilo Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody. P-hodnota u tohoto testu pro lognormálního rozdělení dosahuje hodnoty pouze 0,0008.

**Tab. 5.13** Parametry dílčích rozdělení časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče

| Skupina náměrů     | prvků | $\mu$ | $\sigma$ | p-hodn. |
|--------------------|-------|-------|----------|---------|
| 1. lokální maximum | 38    | 71,6  | 3,89     | 0,3483  |
| 2. lokální maximum | 17    | 138,4 | 5,65     | 0,8547  |
| 3. lokální maximum | 5     | 205,4 | 7,64     | x       |
| Všechny náměry     | 60    | x     | x        | 0,0008  |

*Zdroj: Vlastní.*

Naměřené hodnoty a výsledky provedené analýzy jsou společně s rozbořem naměřených dat pro případ kdy chyba nenastala, případ kdy chyba nastala a případ, kdy chyba nastala opakovaně, uvedeny v příloze II.

Vzhledem k tomu, že byl tento experiment zaměřen převážně na stanovení pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování nástrojů, budou závěry o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování nástrojů uvedeny na konci této podkapitoly.

#### Stanovení doby trvání sestavení a seřízení celého nástroje

Vzhledem ke skutečnosti, že nástroje nabývají velkého množství variant a mají modulární stavbu, bylo přistoupeno k naměření dílčích časů sestavení a seřízení nástrojů, tak jak bylo popsáno výše, a k následnému sečtení pravděpodobnostních rozdělení dílčích časů. K časům sestavení a seřízení je zde přičítán také čas demontáže nástroje, který zde podle měření tvoří 76% času sestavení nástroje. Pro sčítání parametrů normálních rozdělení platí vztahy (5.2) a (5.3), kde jsou použité symboly již známy z předchozího textu.

$$\mu_c = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (5.2)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \quad (5.3)$$

### 5.2.7 Analýza a predikce časových řad zátěže

Počty seřízených nástrojů v daném podniku nebyly zanášeny do informačního systému. Z toho důvodu bylo vycházeno z počtů seřízených nástrojů během provádění studie. K dispozici jsou tedy počty seřízených nástrojů z šesti ranních směn. Při odpoledních směnách bylo prováděno měření časů seřízení nástrojů. Za týdenní objem práce sledovaných činností bude považováno 292 nástrojů, které byly během pěti ranních směn seřízeny. S tímto množstvím požadavků práce bude počítáno v kapacitním výpočtu.



Na základě naměřených dat bylo pro provoz ve kterém byl experiment uskutečněn provedeno kapacitní plánování seřizovačů. Výsledky kapacitního výpočtu jsou uvedeny v příloze II.

### **5.2.8 Závěry z experimentu B**

V průběhu provádění a vyhodnocování tohoto experimentu byly zjištěny následující hlavní poznatky o práci a struktuře činností seřizovače nástrojů a pravděpodobnostních rozděleních dob trvání seřizování nástrojů:

- Seřizovač nástrojů vykonává díky širokému spektru nástrojů a jejich různé konstrukci velmi vysoký počet činností.
- Aplikovatelnost navržené metody využívající dynamický model plánování je díky vysokému počtu činností náročnější, než u seřizovačů lisů. Z provedeného experimentu a jeho vyhodnocení, je však zřejmé, že lze navrženou metodu pro kapacitní plánování seřizovačů nástrojů využít
- Doby trvání sestavování nástrojů vykazují normalitu a lze je aproximovat normálním rozdělením.
- Tvar pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování nástrojů je závislý na výskytu příčin zpoždění, které způsobují dvou či více modalitu rozdělení.
- Vliv na tvar pravděpodobnostního rozdělení dob trvání seřizování nástrojů má také možnost opětovného výskytu zpoždění.
- Pro odhalení přítomnosti příčiny zpoždění a nehomogenity časových náměrů dob trvání je vhodné volit podstatně vyšší počet tříd histogramu, než jaký je volen pomocí konvečních pravidel, jakým je např. Sturgersovo pravidlo.
- Provedená měření potvrdila a rozšířila poznatky o vícemodalitě pravděpodobnostních rozdělení seřizovacích činností. Problematice zobecnění zjištěných poznatků a vyvození závěrů o povaze seřizovacích činností bude věnována pozornost v podkapitole 6.1.

## **5.3 Experiment C – Studie práce technologů**

### **5.3.1 Prostředí provádění experimentu**

Další z provedených experimentů byl zaměřen na práci technologů v oddělení technické přípravy výroby (TPV). Experiment byl uskutečněn v podniku, ve kterém jsou v současné době vyráběny převážně obrobky, které jsou určeny k dalšímu zpracování, případně k montáži v dalších podnicích. V oddělení technické přípravy výroby je v současné době zaměstnáno 7 řadových technologů a jeden vedoucí technolog.

### **5.3.2 Cíle a zaměření experimentu**

Cílem studie bylo získat experimentálně naměřená data a poznatky, jež povedou k vytvoření metody kapacitní plánování technologů. Pro kapacitní plánování technologů byla navržena metoda využívající statický model plánování, která nezohledňuje stochastickou povahu dob trvání činností. Oblasti na které byl experiment zaměřen,

metody získávání dat, metody vyhodnocování dat a formy výstupů jednotlivých částí experimentu jsou shrnuty v tab. 5.14.

**Tab. 5.14** *Popis jednotlivých částí experimentu C*

| č. ex. | Studovaná oblast               | Metoda sběru dat                               | Metoda vyhodnocení                                                   | Výstup                                                                           |
|--------|--------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| C1     | Pracovní činnosti.             | Snímkování pracovního dne.                     |                                                                      | Seznam pracovních činností.                                                      |
| C2     | Struktura pracovních činností. | Snímkování pracovního dne.                     | Rozdělení činností do skupin.<br>Výpočet koeficientu přiřázek A.     | Struktura práce dle přidáné hodnoty a dle činností. Koeficient přiřázek A.       |
| C3     | Typologie pracovních činností. | Využití seznamu činností.<br>Měření práce.     | Slotting, matice časové náročnosti.                                  | Seznam typových pracovních činností.                                             |
| C4     | Povaha činností.               | Časové studie.<br>Strukturované odhady.        | Bodové odhady.                                                       | Matice středních hodnot časové náročnosti.                                       |
| C5     | Analýza zátěže.                | Využití dat z IS.                              | Analýza časových řad.                                                | Model časové řady zátěže.                                                        |
| C6     | Predikce zátěže.               | Využití výstupu předešlé fáze.                 | Predikce časových řad.                                               | Predikční model zátěže.                                                          |
| C7     | Potřebný počet technologů.     | Využití výstupů z předešlých fází experimentu. | Navržená metoda kapacitního plán. využívající stat. model plánování. | Potřebný počet technologů, objem práce, vytíženost stávající skupiny seřizovačů. |

*Zdroj: Vlastní.*

### 5.3.3 Vytvoření seznamu činností technologů

Na základě interview s hlavním technologem a na základě snímkování pracovního byl sestaven následující seznam rámcových činností technologů:

- tvorba nabídek,
- příprava nové výroby,
- převod výroby z kooperace,
- kapacitní převody,
- technické změny,
- obsluha výroby,
- zvyšování kvalifikace a další.

Každá z uvedených rámcových činností v sobě zahrnuje řadu dílčích úkolů, jakými jsou tvorba technologických postupů, tvorba programů pro CNC centra, výpočet norem spotřeby času, ověření dostupnosti nástrojů a materiálu, příprava seřizovacího listu apod. Bližší specifikace a výčet činností spadajících do uvedených rámcových činností je uveden v příloze III.

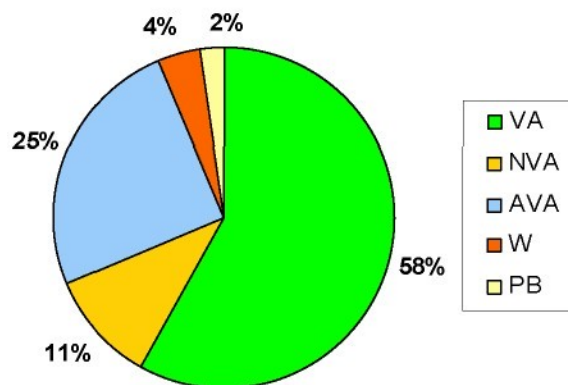
### 5.3.4 Struktura práce technologů

Metodou snímkování pracovního dne byly na sedmi směnách každé 2 minuty prováděny záznamy o právě prováděné činnosti každého z technologů. Záznamy činností zahrnovaly

také čísla výkresů pro které technolog danou činnost vykonával. Tím bylo možno v rámci snímkování pracovního dne pořádit i záznamy o dobách trvání jednotlivých činností.

### Struktura práce podle přidané hodnoty

Z poměrného zastoupení jednotlivých činností během směny byla stanovena struktura práce technologů dle přidané hodnoty. Diagram na obr. 5.26 zachycuje strukturu práce celého oddělení TPV ze všech sedmi pořízených snímků. Zkratka AVA znamená čas strávený ve výrobě, W jsou ztráty, zkratka PB označuje osobní přestávku.



**Obr. 5.26** Struktura časového fondu oddělení TPV

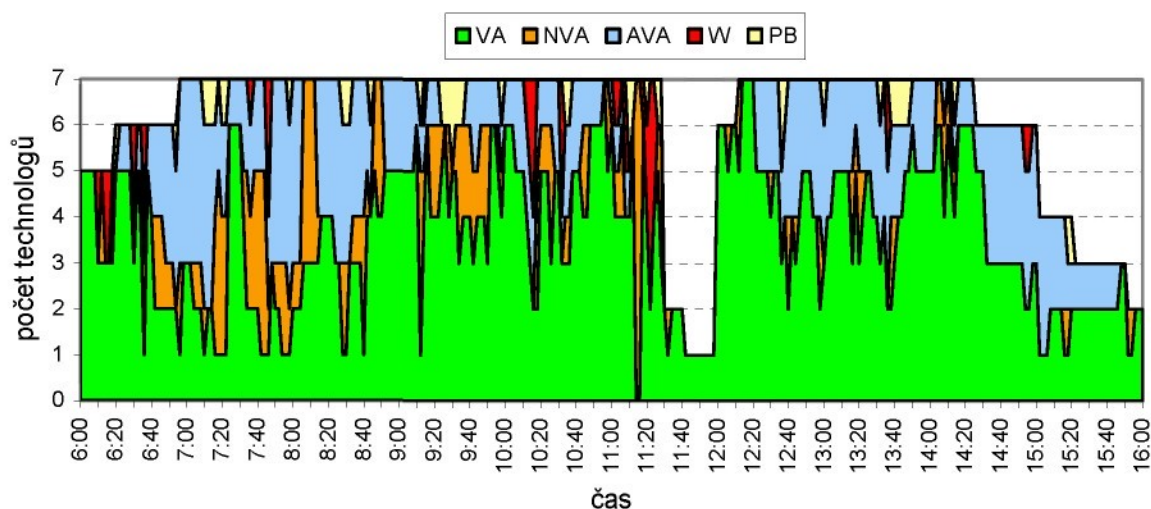
*Zdroj: Vlastní.*

Z výše popsaného lze předpokládat strukturu práce technologů: 58%VA – 11%NVA – 25%AVA – 4%W – 2%PB. Naměřené četnosti výskytů jednotlivých činností jsou uvedeny v příloze III.

Snímkování bylo prováděno pouze v kanceláři TPV, lze tedy předpokládat, že AVA činnosti v sobě obsahují jistý podíl časových ztrát. Ze snímků pracovního dne vyplynulo, že zastoupení AVA činností se u jednotlivých technologů liší. Časy strávené jednotlivými technologi ve výrobě jsou uvedeny v příloze III.

### Dynamická struktura práce technologů

Dynamická struktura práce technologů zachycuje proměnlivost struktury práce v průběhu směny. Příklad dynamické struktury práce v jedné ze směn je uveden na obr 5.27.

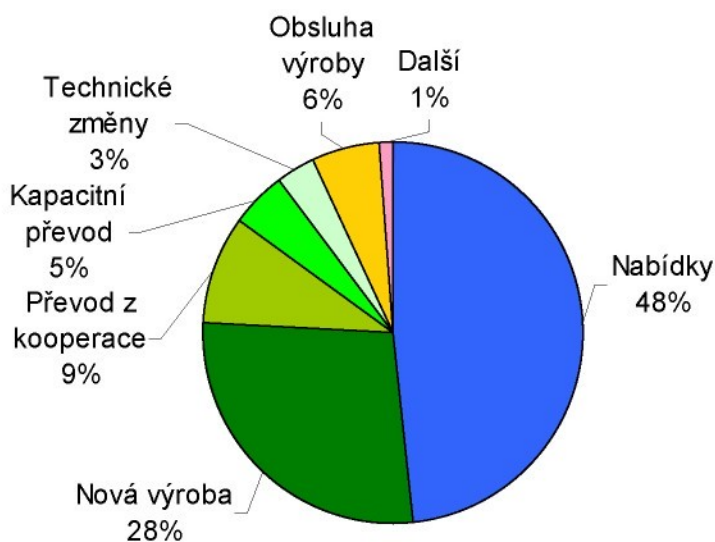


**Obr. 5.27** Dynamická struktura práce oddělení TPV

*Zdroj: Vlastní.*

### Obsahová skladba práce technologů

Každá z prováděných rámcových činností má jiné časové zastoupení v celkové náplni práce technologa. Pro následný kapacitní výpočet je nutno zjistit časové zastoupení hlavních činností vůči podružným činnostem. Za hlavní činnosti jsou v tomto případě považovány tvorba nabídek a příprava nové výroby. Podružné činnosti budou do výpočtu kapacit zahrnuty pomocí přírážkového koeficientu. Zjištěná struktura časového zastoupení jednotlivých činností je znázorněna na obr. 5.28.



Obr. 5.28 Skladba práce technologů

Zdroj: Vlastní.

Nutno dodat, že zjištěnou strukturu nelze považovat za konstantní. Její podoba se dynamicky mění se situací na trhu, kde spolu např. nepřímo úměrně souvisí počet zpracovávaných nabídek či převodů z kooperace ku přípravě nových výrob.

### Stanovení závěrů o struktuře práce technologů

Z provedené studie práce technologů byly zjištěny následující poznatky o struktuře práce technologů:

- Z hlediska přidané hodnoty technolog stráví 58% časového fondu vykonáváním VA činností (příprava technologického postupu, tvorba programu pro CNC centra atp.), 25% časového fondu stráví technolog ve výrobě, kde dokončuje programy, či provádí operativní činnosti, 11% časového fondu technologa tvoří podpůrné administrativní činnosti a zbývajících 6% připadá na časové ztráty.
- Z hlediska skladby činností technolog vykonává především tvorbu nabídek a přípravu nových výrob. Tyto dvě hlavní činnosti jsou v časovém fondu technologa zastoupeny 72 %.

### 5.3.5 Stanovení dob trvání hlavních činností

Vzhledem k tomu, že doba trvání obou hlavních činností je značně závislá na složitosti konkrétního dílu pro který je prováděna, bude každá z hlavních činností rozdělena do tří kategorií (A, B, C), právě podle složitosti dílů. Do kategorie A budou spadat jednoduché díly, do kategorie B díly střední složitosti a do kategorie C složité díly. Složitost dílů je posuzována z hlediska pracnosti vytvoření nabídky, či přípravy nové výroby pro daný díl. Mezní hodnoty maximálních pracností pro jednotlivé kategorie byly stanoveny hlavním technologem. Matice maximální pracnosti hlavních činností je uvedena v tab. 5.15.



**Tab. 5.15** *Matice maximální pracnosti hlavních činností*

| č. | Činnost              | Odhad maximální pracnosti (hod) |     |      |
|----|----------------------|---------------------------------|-----|------|
|    |                      | A                               | B   | C    |
| 1  | Tvorba nabídky       | 0,5                             | 1,5 | 3    |
| 2  | Příprava nové výroby | 2                               | 5,5 | 10,5 |

*Zdroj: Vlastní.*

V průběhu provádění snímkování pracovního dne byly naměřeny časy tvorby nabídek a časy přípravy nových výrob. Poté bylo hlavním technologem provedeno, pomocí kvalifikovaných odhadů, rozdělení těchto dílů do kategorií *A, B, C*. Pro jednotlivé kategorie *A, B, C*, byly spočteny střední hodnoty dob trvání činností zpracování rozřazených dílů. Tím vznikla rozšířená matice pracnosti (tab. 5.16.), která prostřednictvím středních hodnot poskytuje přesnější údaje o dobách trvání činností.

**Tab. 5.16** *Rozšířená matice pracnosti s uvedením středních hodnot časových náměrů*

| č. | Činnost              | Pracnost (hod)   |       |                  |       |                  |       |
|----|----------------------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
|    |                      | A                |       | B                |       | C                |       |
|    |                      | průměr<br>náměrů | odhad | průměr<br>náměrů | odhad | průměr<br>náměrů | odhad |
| 1  | Tvorba nabídky       | 0,50             | 0,5   | 0,89             | 1     | 2,85             | 3     |
| 2  | Příprava nové výroby | 1,75             | 2     | 3,98             | 5,5   | 5,79             | 10,5  |

*Zdroj: Vlastní.*

Ze středních hodnot dob trvání uvedených v této matici bude následně vycházeno při kapacitním výpočtu. Další využití nalezne sestavená matice pracnosti při případné potřebě stanovení doby trvání činnosti metodou slotting.

Mimo dob trvání je pro kapacitní plánování nutné znát také četnostní zastoupení dílců v jednotlivých kategoriích pracnosti. To je v procentuálním vyjádření uvedeno v tab. 5.17.

**Tab. 5.17** *Procentuální zastoupení dílů v kategoriích pracnosti*

| č. | Činnost              | Kategorie pracnosti |     |     |
|----|----------------------|---------------------|-----|-----|
|    |                      | A                   | B   | C   |
| 1  | Tvorba nabídky       | 20%                 | 47% | 33% |
| 2  | Příprava nové výroby | 19%                 | 66% | 15% |

*Zdroj: Vlastní.*

### 5.3.6 Analýza a predikce časových řad zátěže oddělení TPV

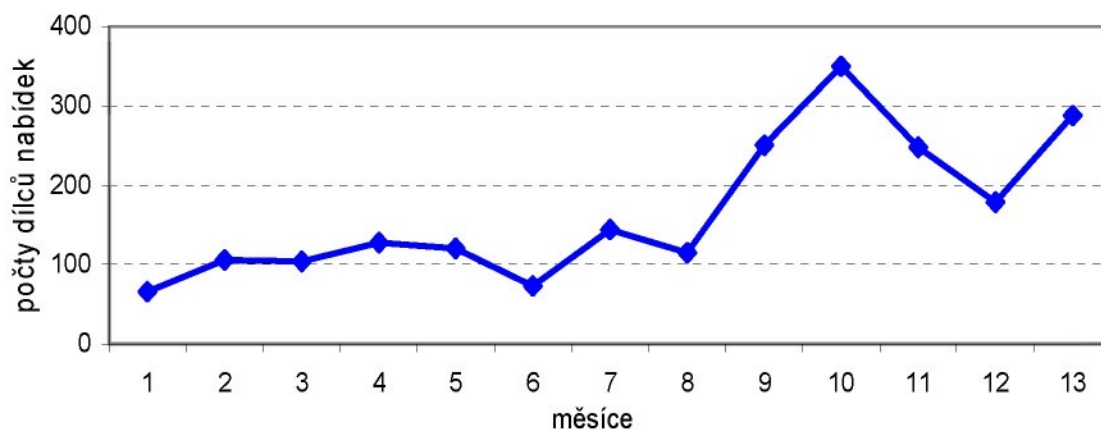
Další částí navržené metody kapacitního plánování technologů je stanovení očekávané zátěže. V této podkapitole bude provedena analýza, modelování a predikce časové řady tvorby nabídek a časové řady přípravy nových výrob. Tyto dvě časové řady byly pořízeny z informačního systému. Hodnoty časových řad zátěže a podrobnější údaje o provedených analýzách jsou uvedeny v příloze III.

#### Analýza a predikce časové řady tvorby nabídek

Časová řada počtu dílců nabídek je zachycena na obr. 5.29. Na obr. 5.30a je zachycen graf autokorelační funkce s vyznačením 95% spolehlivostního intervalu. Z grafu je patrné, že žádný z autokorelačních koeficientů není statisticky významný, což poukazuje na vysokou

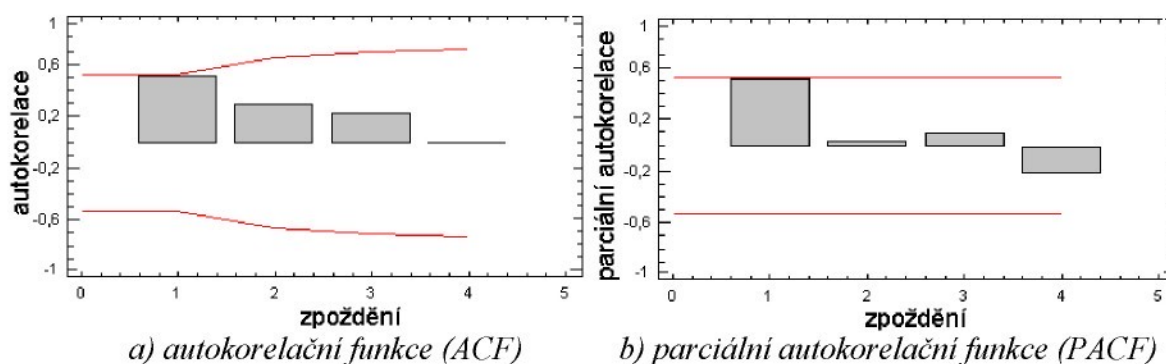


nahodilost časové řady, jejíž vlastnosti se blíží bílému šumu. Tuto skutečnost potvrzuje také graf parciální autokorelační funkce, který je zachycen na obr. 5.30b. Nahodilost časové řady dokazují také P-hodnoty provedených testů náhodnosti, které jsou uvedeny v tab. 5.18.



**Obr. 5.29** Časová řada počtů nabídek

Zdroj: Vlastní.



**Obr. 5.30** Autokorelační a parciální autokorelační funkce čas. řady počtů dílců nabídek

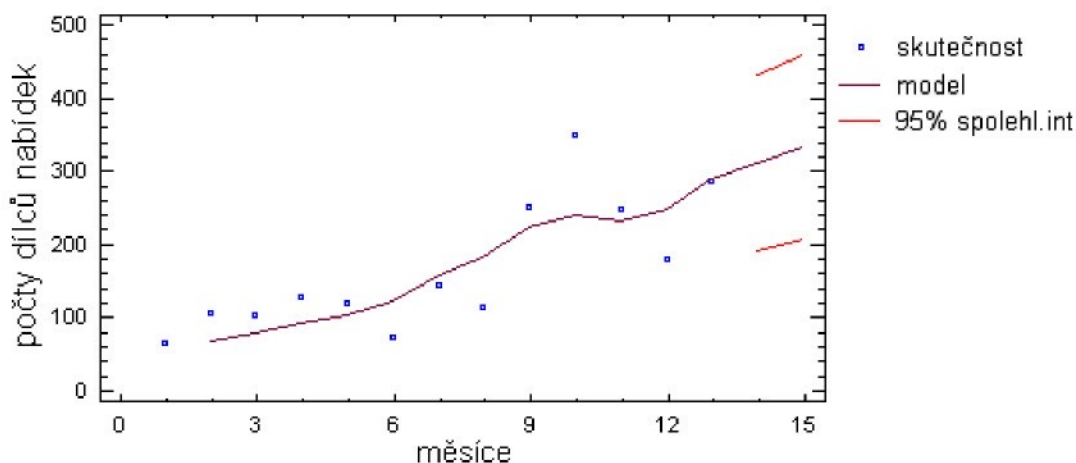
Zdroj: Vlastní.

**Tab. 5.18** Testy náhodnosti časové řady (P-hodnota > 0,05 značí vysokou náhodnost čas. řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,13007   |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,90592   |
| Box-Piercův                 | 0,237856  |

Zdroj: Vlastní.

I přes vysokou nahodilost časové řady se našly modely, kterými je řadu možné aproximovat. Všechny provedené testy splnil a nejnižší hodnotu AIC vykazoval integrovaný proces klouzavých průměrů, tedy model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty, který byl následně použit pro predikci počtu dílců nabídek. Tento model je zachycen na obr. 5.31. Dalším přijatelným modelem je lineární model  $y = 17,81 t + 42,34$ .



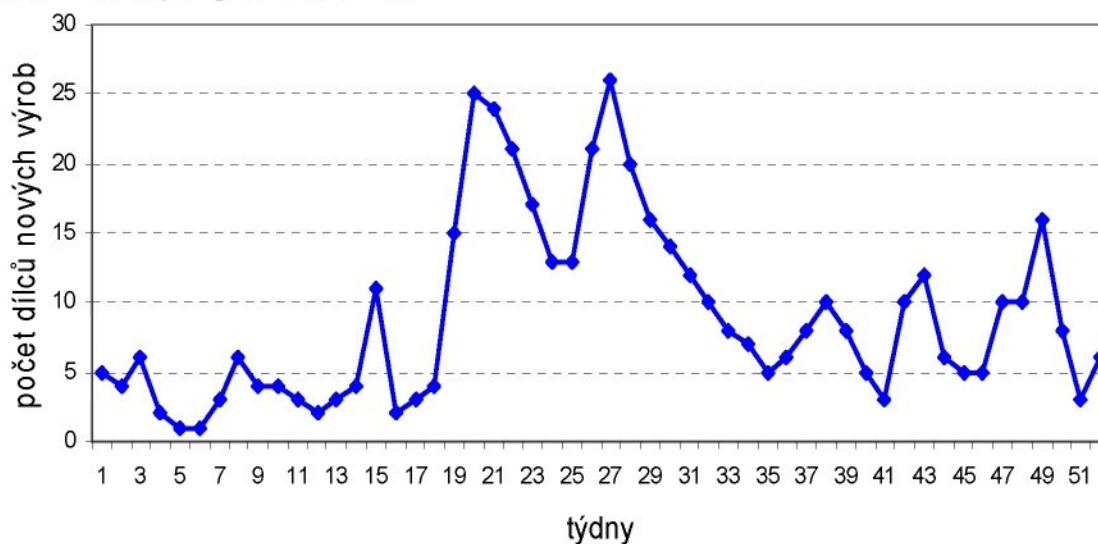
**Obr. 5.31** Predikční model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty

*Zdroj: Vlastní.*

Reziduální složky vybraného modelu ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty vykazují vysokou nahodilost a autokorelační a parciální autokorelační koeficienty reziduálních složek velmi nízkou významnost.

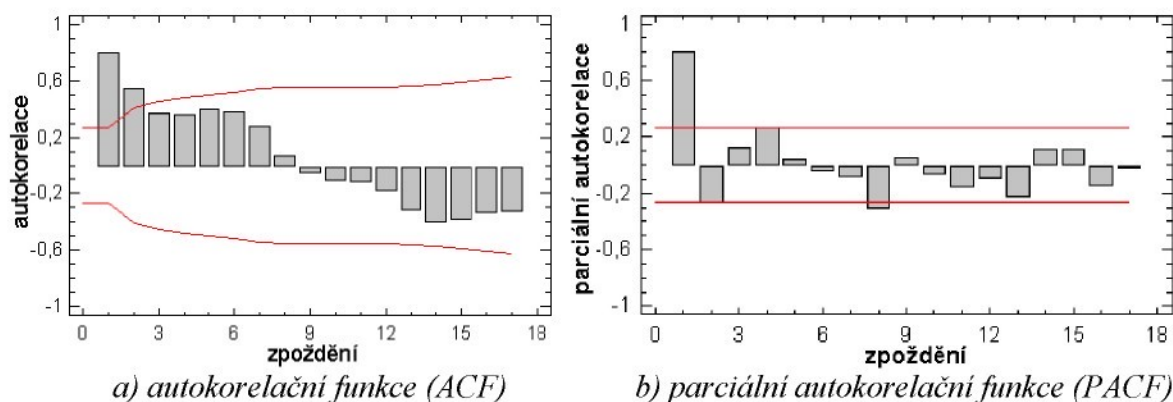
#### **Analýza a predikce časové řady počtů nových výrob**

Časová řada počtů zpracovaných dílců nových výrob je zachycena na obr. 5.32. Pro zjištění náhodnosti časové řady byly provedeny tři testy, jejichž P-hodnoty vyšly velmi blízké nule, viz. tab. 5.19. To svědčí o nízké nahodilosti časové řady. Na obr. 5.33 je zachycena autokorelační a parciální autokorelační funkce, jejichž průběhy jsou typické pro proces klouzavých průměrů (MA).



**Obr. 5.32** Časová řada počtů dílců nových výrob

*Zdroj: Vlastní.*



Obr. 5.33 Autokorelační a parciální autokorelační funkce vstupní časové řady

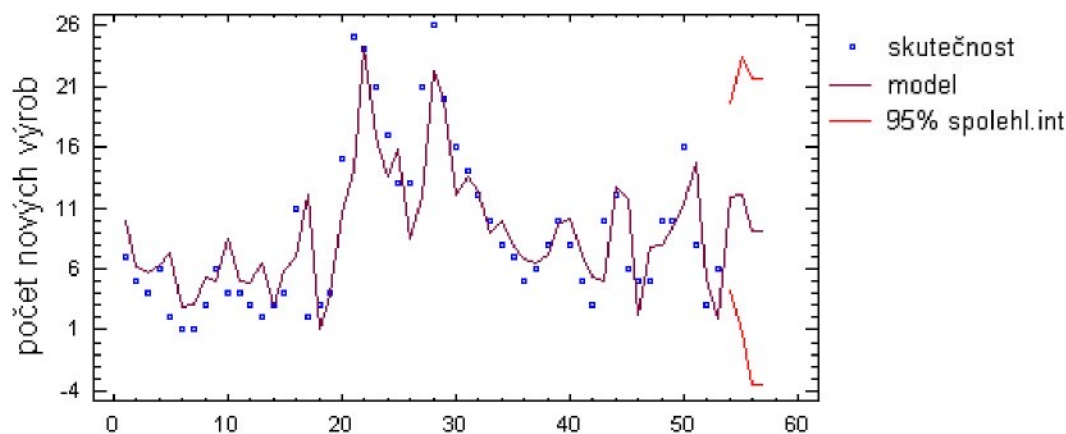
Zdroj: Vlastní.

Tab. 5.19 Testy náhodnosti časové řady ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 2,2131E-5 |
| Rostoucí-klesající sekvence | 4,5189E-8 |
| Box-Piercův                 | 0         |

Zdroj: Vlastní.

Pro stanovení vhodného predikčního modelu bylo testováno 11 modelů, přičemž všechny provedené testy splnil a nejnižší hodnotu AIC vykazoval model ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty. Tento model je společně se skutečnými hodnotami časové řady a 95% spolehlivostním intervalem zachycen na obr. 5.34. Na obr. 5.35 jsou zachyceny průběhy ACF a PACF reziduálních složek, ze kterých je patrná nevýznamnost koeficientů a tím i náhodilost řady reziduí. Tu také potvrdily provedené testy, jejichž  $P$ -hodnoty přesáhly mez 0,05, viz. tab. 5.20. V tabulce 5.21 jsou pak uvedeny očekávané počty dílců nových výrob v nadcházejících týdnech.



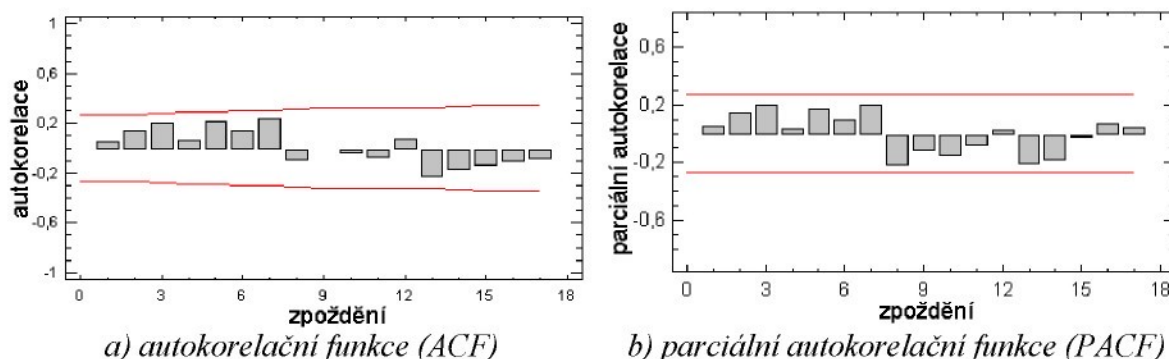
Obr. 5.34 Predikční model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty

Zdroj: Vlastní.

Tab. 5.20 Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost časové řady reziduí)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,20749   |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,245951  |
| Box-Piercův                 | 0,247478  |

Zdroj: Vlastní.



*a) autokorelační funkce (ACF)      b) parciální autokorelační funkce (PACF)*  
**Obr. 5.35** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty

*Zdroj: Vlastní.*

**Tab. 5.21** Predikované hodnoty časové řady

| Týden | Predikované počty nových výrob | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 54    | 11,9111                        | 4,24275                      | 19,5794                      |
| 55    | 12,0234                        | 0,721918                     | 23,3249                      |
| 56    | 9,06872                        | -3,50835                     | 21,6458                      |
| 57    | 9,06872                        | -3,50835                     | 21,6458                      |

*Zdroj: Vlastní.*

Na základě naměřených dat bylo pro provoz ve kterém byl experiment uskutečněn provedeno kapacitní plánování technologů. Výsledky kapacitního výpočtu jsou uvedeny v příloze III.

### 5.3.7 Závěry z experimentu C

V průběhu provádění a vyhodnocování tohoto experimentu byly zjištěny následující hlavní poznatky o práci, struktuře činností a charakteru časových řad zátěže technologů.

- Technologové vykonávají rozsáhlé rámcové činnosti, které v sobě zahrnují určitý počet dílčích činností.
- Z hlediska přidané hodnoty technolog stráví 58% časového fondu vykonáváním VA činností (příprava technologického postupu, tvorba programu pro CNC centra atp.), 25% časového fondu stráví technolog ve výrobě, kde dokončuje programy, či provádí operativní činnosti, 11% časového fondu technologa tvoří podpůrné administrativní činnosti a zbývajících 6% připadá na časové ztráty.
- Z hlediska skladby činností technolog vykonává především tvorbu nabídek a přípravu nových výrob. Tyto dvě hlavní činnosti jsou v časovém fondu technologa zastoupeny 72 %.
- Byly analyzovány dvě časové řady zátěže. Časová řada tvorby nabídek vykazovala vysokou náhodnost blízkou bílému šumu. Časová řada přípravy nových výrob nevykazovala vysokou náhodnost, její průběh bylo možné aproximovat modelem ARIMA (0,0,2).



## 6 Zobecnění zjištěných specifík režijních činností

### 6.1 Pravděpodobnostní rozdělení dob trvání seřizovacích operací

#### 6.1.1 Zobecnění experimentálně získaných poznatků

Z provedených experimentů byly zjištěny jisté zákonitosti, týkající se tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích operací. Tato podkapitola bude věnována představení jednotlivých typů rozdělení s uvedením specifík každého rozdělení a podmínek pro výskyt těchto rozdělení.

Bylo zjištěno, že nejvýraznější vliv na tvar pravděpodobnostního rozdělení má výskyt příčin zpoždění, které mohou být způsobeny buď závadou na strojním zařízení, nebo lidským faktorem.

Z hlediska četnosti výskytu příčin zpoždění se v oblasti seřizování strojů nejčastěji setkáváme s případy:

- bez výskytu příčiny zpoždění,
- výskyt jedné příčiny zpoždění bez možnosti jejího opětovného výskytu,
- výskyt jedné příčiny zpoždění s možností jejího opětovného výskytu,
- výskyt dvou příčin zpoždění bez možnosti jejich opětovného výskytu,
- výskyt dvou příčin zpoždění s možností jejich opětovného výskytu,
- výskyt vyššího příčin zpoždění.

Pokud umíme rozpoznat příčiny zpoždění, je možné rozlišovat případy, kdy zpoždění nastala a kdy nenastala. Měřením časů s rozlišením výskytů jednotlivých zpoždění dostaneme několik dílčích rozdělení určitých tvarů s určitými parametry. Složením těchto dílčích rozdělení dohromady dostáváme zpravidla vícemodální rozdělení.

V případě, že neumíme rozpoznat příčinu zpoždění, jsou měřeny všechny časy přeseřízení dohromady a vícemodalita vyplývá z vhodně zvoleného histogramu naměřených časů. Tento přístup ovšem vyžaduje pořízení vyššího počtu měření.

Jak bylo řečeno, výskyt příčin zpoždění má přímý vliv na stupeň vícemodality rozdělení, proto budou dále rozlišovány následující typy rozdělení:

- jednomodální,
- dvoumodální,
- třimodální,
- směsí vyššího počtu dílčích rozdělení.

#### 1) Jednomodální rozdělení

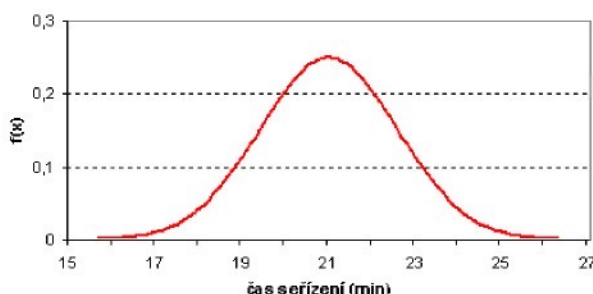
##### Normální rozdělení

První z rozdělení, které vykazují některé seřizovací operace je Gaussovo normální rozdělení. Průběh funkce hustoty pravděpodobnosti je zachycen na obr. 6.1 a je dán vztahem (6.1), kde  $\mu$  a  $\sigma$  jsou parametry rozdělení.

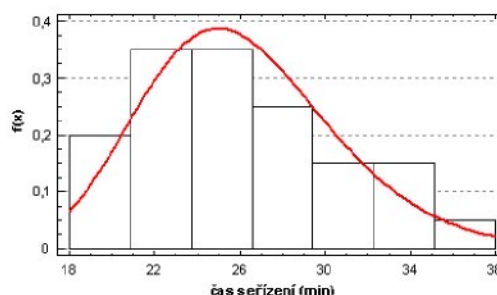
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (6.1)$$



Normální rozdělení doby trvání vykazují jednodušší seřizovací činnosti, které nejsou náchylné na vznik chyb ani nevyžadují přesnější doseřízení. Zástupcem seřizovací operace s tímto typem rozdělení jsme se setkali u experimentu A při výměně materiálu, nebo u experimentu B při výměně vyměnitelných břitových destiček frézy.



Obr. 6.1 Normální rozdělení



Obr. 6.2 Log-normální rozdělení

Zdroj: Vlastní.

### Lognormální rozdělení

Dalším typem rozdělení je lognormální rozdělení. Průběh funkce hustoty pravděpodobnosti je zachycen na obr. 6.2 a je dán vztahem (6.2), kde  $\mu$  a  $\sigma$  jsou parametry rozdělení.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (6.2)$$

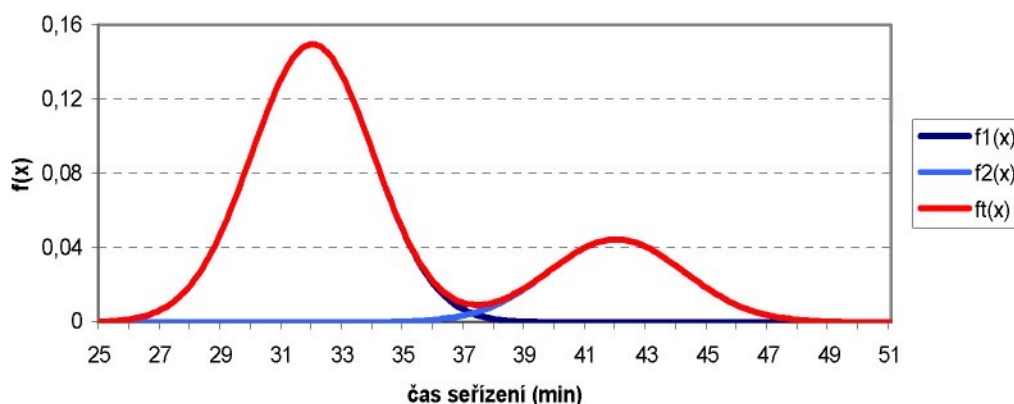
Tento typ rozdělení vykazují seřízení s požadavkem přesnějšího a komplikovanějšího doseřízení, které způsobuje protažení funkce hustoty pravděpodobnosti k delším časům. Zástupcem tohoto typu seřízení je např. výměna materiálu zahrnující seřízení automatu lisu při lisování VBD pozitivní geometrie (experiment A).

### 2) Dvoumodální rozdělení

Dalším typem rozdělení, které je typické pro seřizovací operace je dvoumodální rozdělení tvořené směsí dvou normálních rozdělení. Toto rozdělení v sobě zahrnuje nehonogenitu dob trvání způsobenou výskytem jedné příčiny zpoždění, která se po odstranění již neopakuje. Tento typ rozdělení je zachycen na obr. 6.3 a předpis funkce hustoty pravděpodobnosti je dán vztahem (6.3), kde  $\mu_1$ ,  $\sigma_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\sigma_2$  jsou parametry dílčích rozdělení a  $p$  je poměr ploch pod druhým a prvním dílčím rozdělením. Problematice nalezení všech pěti parametrů funkce  $f_T(x)$  a stanovení tak jejího konkrétního průběhu na základě experimentálně pořízeného histogramu, bude věnována podkapitola 6.1.3.

$$f_T(x) = (1-p) \cdot f_1(x) + p \cdot f_2(x) = \frac{1-p}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2} + \frac{p}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2} \quad (6.3)$$

S příkladem seřízení s takovýmto typem rozdělení jsme se setkali při experimentu A, kde docházelo při výměně nástroje na lisech L2 k tomu, že musel být v případě nedostatečně vyleštěného razníku již namontovaný razník demontován a vyměněn za jiný.

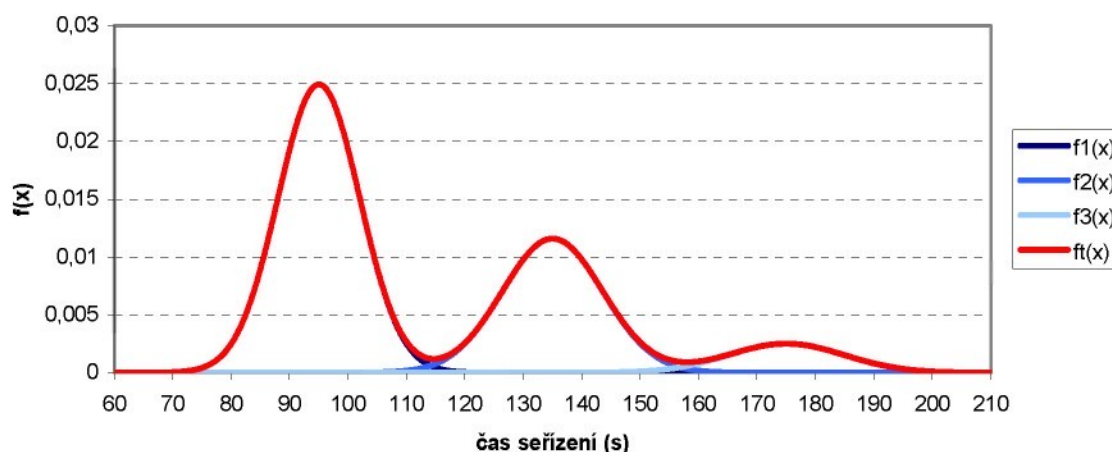


**Obr. 6.3** Dvoumodální rozdělení – směs dvou normálních rozdělení

*Zdroj: Vlastní.*

### C) Třímódální rozdělení

Obdobným případem, jakým bylo dvoumodální rozdělení, je rozdělení třímódální. I zde dochází k výskytu pouze jedné příčiny zpoždění s tím rozdílem, že se zde vyskytuje možnost jejího opětovného výskytu. Vlivem rostoucího rozptylu každého dalšího dílčího rozdělení a vlivem snižování poměru výskytu případů spadajících do každého dalšího dílčího rozdělení prakticky dochází k zániku dalších lokálních maxim, které bychom v čistě teoretické rovině uvažovali. Průběh hustoty pravděpodobnosti třímódálního rozdělení je zachycen na obr. 6.4 a předpis této funkce je dán vztahem (6.4), kde  $\mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2, \mu_3, \sigma_3$  jsou parametry dílčích rozdělení a  $p_2, p_3$  jsou poměry ploch pod dílčími rozděleními 2 a 3 vůči celkové ploše.



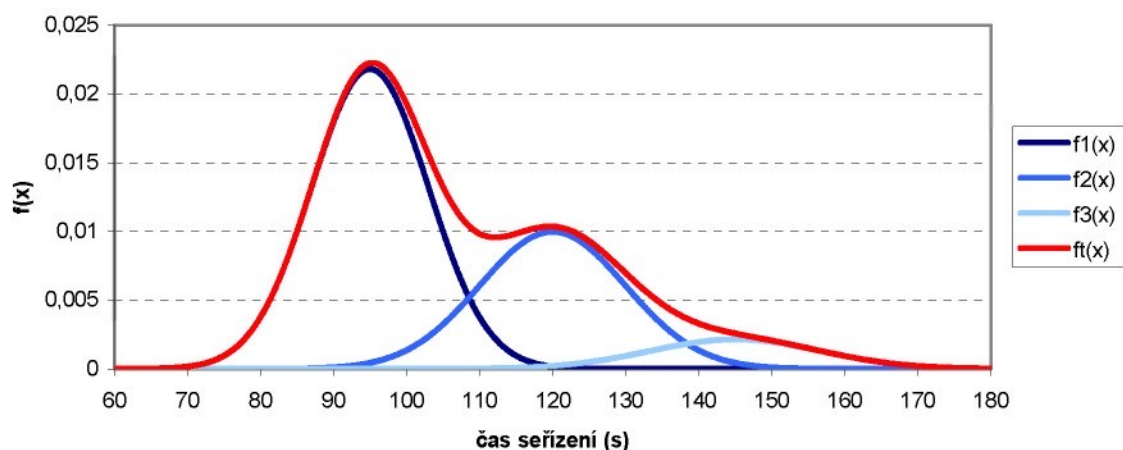
**Obr. 6.4** Třímódální rozdělení – směs tří normálních rozdělení

*Zdroj: Vlastní.*

$$f_T(x) = \frac{(1-p_2-p_3)}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2} + \frac{p_2}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2} + \frac{p_3}{\sigma_3\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_3}{\sigma_3}\right)^2} \quad (6.4)$$

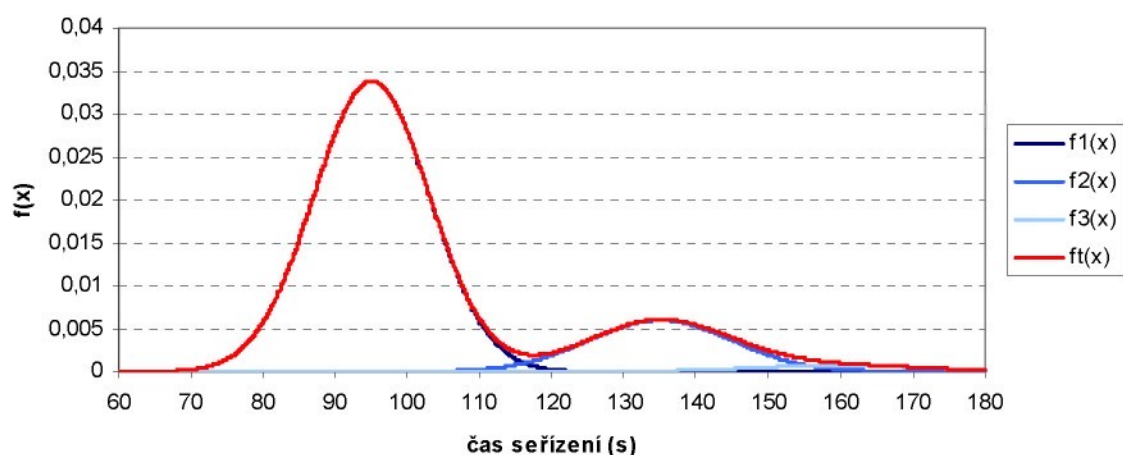
Zástupcem seřizovací operace s tímto typem rozdělení je např. nastavování úhlu VBD vyvrtávací tyče (experiment B). Při tomto seřizování se seřizovač mohl dopouštět opětovné nepřesnosti seřízení, přičemž pravděpodobnost výskytu dalších nepřesností seřízení klesá s poměrem ploch pod křivkou druhého a prvního dílčího rozdělení.

Podoba výsledného rozdělení pro tento případ (kdy dochází k výskytu jedné příčiny zpoždění s možností opakování jejího výskytu) je závislá na parametrech základního a zpožděného rozdělení. V určitých případech, kdy od sebe nejsou dílčí rozdělení příliš vzdáleny (méně než  $3\sigma$ ), je možné tuto směs tří rozdělení aproximovat jedním lognormálním rozdělením. Příklad dílčích rozdělení vzdálených  $3\sigma_1$  s výslednou funkcí hustoty pravděpodobnosti  $f_T(x)$ , kterou lze s výhodou aproximovat lognormálním rozdělením je zachycen na obr. 6.5.



**Obr. 6.5** Směs tří dílčích rozdělení aproximovatelných jedním log-normálním rozdělením  
Zdroj: Vlastní.

V případě, že jsou od sebe dílčí rozdělení dostatečně vzdáleny a poměr  $p$  je tak malý, že lze třetí z maxim zanedbat, je možné toto rozdělení nahradit dvoumodálním rozdělením. Takovýto případ, kde  $p = 0,15$  je zachycen na obr. 6.6.



**Obr. 6.6** Směs tří dílčích rozdělení aproximovatelných dvoumodálním rozdělením  
Zdroj: Vlastní.

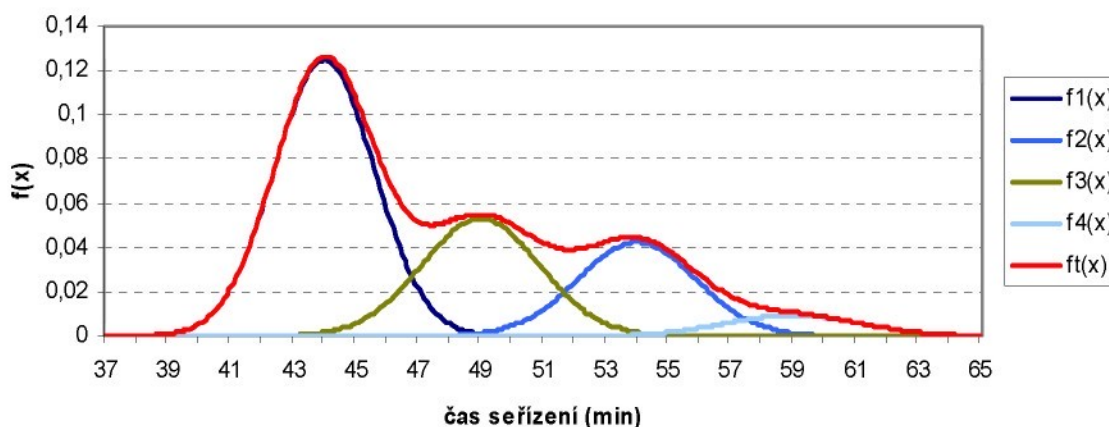
#### 4) Směsi vyššího počtu dílčích rozdělení a jejich chování

Posledním z typů výsledného rozdělení, se kterým jsme se v průběhu provádění experimentů setkali, je rozdělení u kterého se vyskytují dvě příčiny zpoždění, jež se neopakují. Celkové rozdělení je pak složeno ze čtyř dílčích rozdělení a lze ho popsat vztahem (6.5), kde  $\mu_{1..4}$ ,  $\sigma_{1..4}$  jsou parametry dílčích rozdělení a  $p_{2..4}$  jsou poměry ploch pod dílčími rozděleními ku ploše pod celkovým rozdělením. Na obr. 6.6 je zachycena



funkce hustoty pravděpodobnosti celkového rozdělení a čtyř dílčích rozdělení, jež se vyskytují v následujících případech:

- $f_1(x)$  – nedojde k žádnému ze zpoždění,
- $f_2(x)$  – dojde ke zpoždění vlivem jedné příčiny,
- $f_3(x)$  – dojde ke zpoždění vlivem druhé příčiny,
- $f_4(x)$  – dojde ke zpoždění vlivem současného výskytu obou příčin.



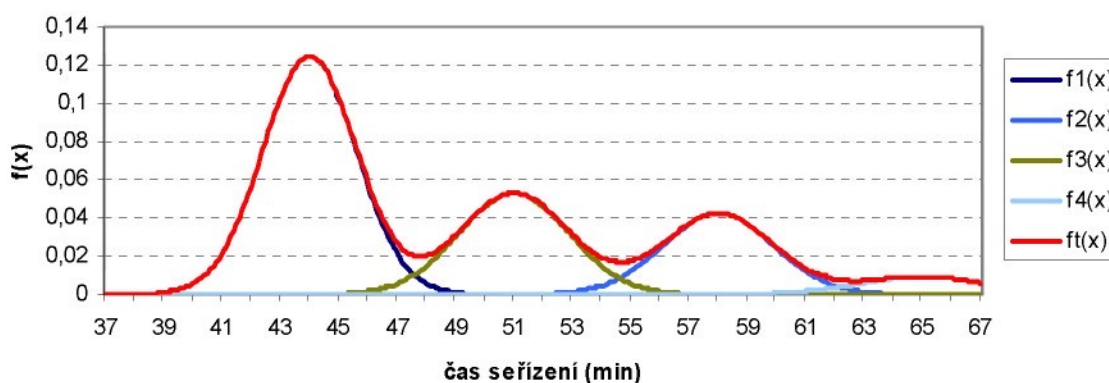
**Obr. 6.6** Směs čtyř dílčích rozdělení při výskytu dvou příčin zpoždění

Zdroj: Vlastní.

$$f_T(x) = \frac{(1-p_2-p_3-p_4)}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2} + \frac{p_2}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2} + \frac{p_3}{\sigma_3\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_3}{\sigma_3}\right)^2} + \frac{p_4}{\sigma_4\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_4}{\sigma_4}\right)^2} \quad (6.5)$$

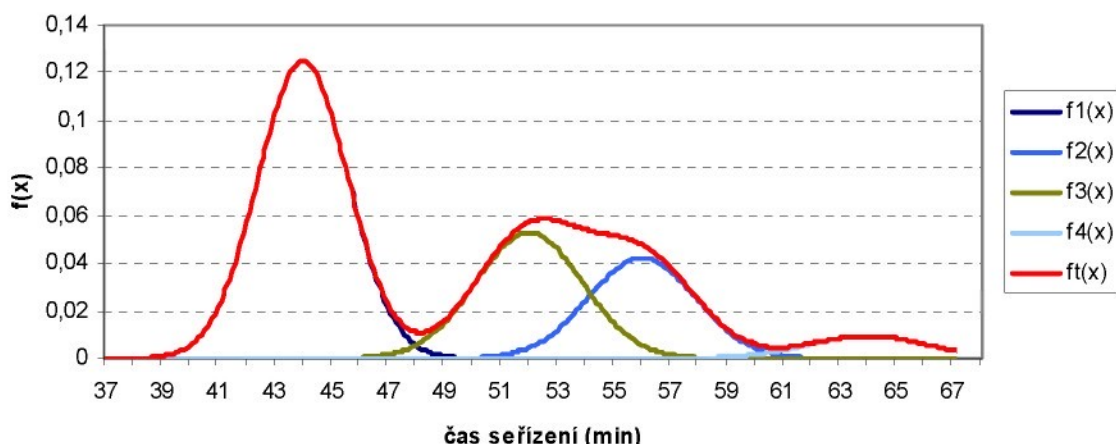
Toto rozdělení se vyskytovalo u experimentu A, při výměně nástroje na lisu opatřeném odebíracím ramenem výlisků. Zpoždění mohlo nastat jak vlivem špatně vyleštěného razníku, tak vlivem komplikace seřizení odebíracího ramene.

S přibývajícím počtem dílčích rozdělení roste i variabilita podoby výsledné funkce hustoty pravděpodobnosti. Již v případě směsi čtyř dílčích rozdělení je výsledná funkce hustoty pravděpodobnosti závislá na 11-ti parametrech ( $\mu_{1..4}$ ,  $\sigma_{1..4}$ ,  $p_{2..4}$ ). V závislosti na těchto parametrech může výsledná funkce hustoty pravděpodobnosti nabývat rozdílných podob, (viz. obr. 6.7 až 6.8).



**Obr. 6.7** Směs čtyř dílčích rozdělení se třemi výraznými lokálními maximy

Zdroj: Vlastní.



**Obr. 6.8** Směs čtyř dílčích rozdělení aproximovatelné dvoumodálním rozdělením  
Zdroj: Vlastní.

S ohledem na podobu výsledného rozdělení se v praktických případech ukazuje být vhodné aproximovat směs většího množství dílčích rozdělení jednoduchým např. lognormálním rozdělením (pro případ z obr.6.7), či dvoumodálním rozdělením (pro případ z obr. 6.8).

Lognormální rozdělení dále vykazují ta seřizení u kterých se vyskytují 2 a více chyb. Je-li směs normálních rozdělení složena z většího počtu rozdělení (větším počtem může být počet 4) dochází k prolínání jednotlivých rozdělení a vlivem rostoucích rozptylů konverguje směs normálních rozdělení k rozdělení lognormálnímu.

V případech opětovného opakování zpoždění způsobeného jednou příčinou dochází k růstu rozptylu každého dalšího rozdělení. Odvození zákonitostí týkajících se rostoucího rozptylu vlivem opakovaného zpoždění je uvedeno v příloze IV.

### 6.1.2 Zastoupení typů pravděpodobnostních rozdělení

Z provedených experimentů bylo zjištěno, že **nejčastěji se vyskytujícím pravděpodobnostním rozdělením dob trvání seřizovacích činností je lognormální rozdělení**. Dalšími častými rozděleními jsou dvoumodální rozdělení tvořené směsí dvou normálních rozdělení, třímodální rozdělení a normální rozdělení. Zjištěný procentuální výskyt jednotlivých typů pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností je uveden v tabulce 6.1.

**Tab. 6.1** Zjištěná zastoupení typů pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování

| Typ rozdělení | četnost | % zastoupení |
|---------------|---------|--------------|
| Lognormální   | 8       | 44%          |
| 2-modální     | 4       | 22%          |
| 3-modální     | 3       | 17%          |
| Normální      | 3       | 17%          |

Zdroj: Vlastní.



### 6.1.3 Numerický algoritmus nalezení vícemodální funkce hustoty pravděpodobnosti

Jak bylo v předchozí podkapitole uvedeno, jedním z typických pravděpodobnostních rozdělení doby trvání přeseřezání stroje je dvoumodální rozdělení složené ze dvou normálních rozdělení. Pro následný kapacitní výpočet pomocí navržené metody je nutno znát nejen tvar, ale také parametry pravděpodobnostního rozdělení dob trvání činností. V této podkapitole bude odvozen algoritmus pro nalezení parametrů funkce hustoty pravděpodobnosti směsi dvou normálních rozdělení. Tento algoritmus lze dále zobecnit pro směs tří a více normálních rozdělení.

#### 1) Směs dvou normálních rozdělení

Dvoumodální pravděpodobnostní rozdělení je v tomto případě dáno dvěma normálními rozděleními  $f_1(x)$  a  $f_2(x)$ , kde  $f_1(x)$  představuje pravděpodobnostní rozdělení dob trvání seřizení bez zpoždění a  $f_2(x)$  představuje pravděpodobnostní rozdělení dob trvání seřizení se zpožděním. Vzhledem k tomu že jsou obě tato rozdělení normální, lze jejich funkce hustoty pravděpodobnosti zapsat pomocí vztahů (6.6) a (6.7).

$$f_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2} \quad (6.6)$$

$$f_2(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_2} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2} \quad (6.7)$$

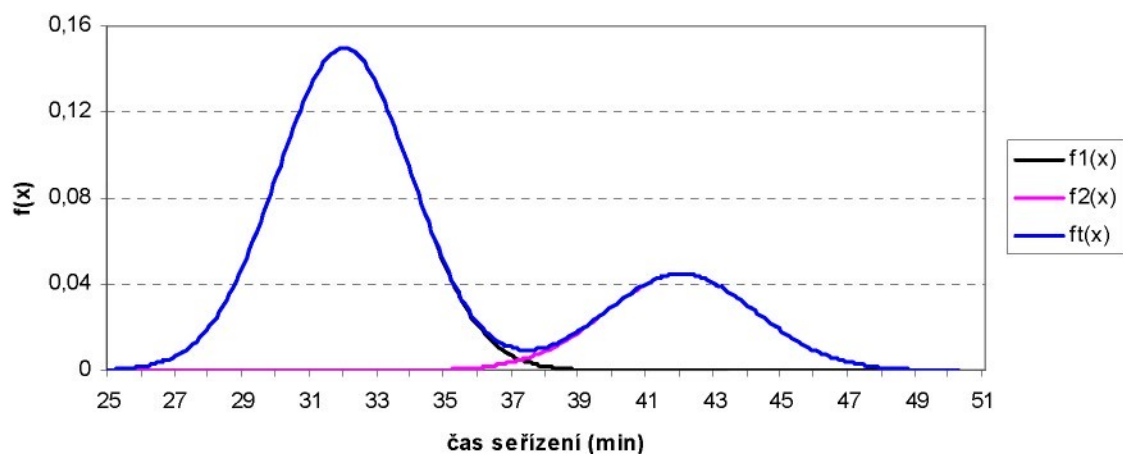
Kde  $\mu_1, \sigma_1$  jsou parametry rozdělení  $f_1(x)$  a  $\mu_2, \sigma_2$  jsou parametry rozdělení  $f_2(x)$ . Funkci hustoty pravděpodobnosti směsi dvou normálních rozdělení  $f_T(x)$  lze potom zapsat pomocí vztahu (6.8).

$$f_T(x) = (1-p) \cdot f_1(x) + p \cdot f_2(x) = \frac{1-p}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2} + \frac{p}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2} \quad (6.8)$$

Kde parametr  $p$  udává poměr ploch pod funkcemi  $f_2(x)$  a  $f_1(x)$ , který lze zapsat vztahem (6.9).

$$p = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f_2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} f_1(x) dx} \quad (6.9)$$

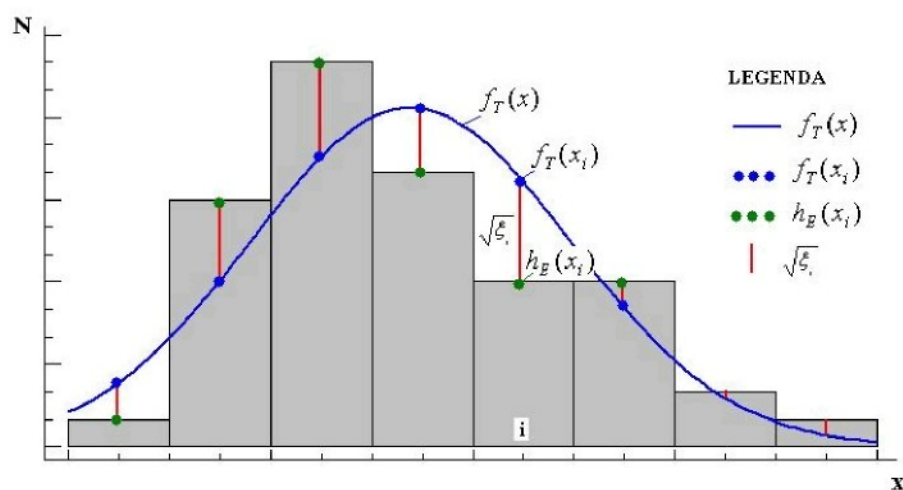
Ilustrativní graf obsahující obě dílčí funkce pravděpodobnosti  $f_1(x)$  a  $f_2(x)$  a celkovou funkci pravděpodobnosti  $f_T(x)$ , která bude dopočtena numericky, je znázorněn na obr. 6.9.



**Obr. 6.9:** Směs dvou normálních rozdělení

Zdroj: Vlastní.

Myšlenka nalezení dvouvrcholové funkce hustoty pravděpodobnosti  $f_T(x)$  spočívá v minimalizaci kvadratické odchylky  $\xi$  mezi diskrétními funkčními hodnotami  $f_T(x_i)$  a skutečnými hodnotami normalizovaného histogramu  $h_E(x_i)$ . Význam uvedených veličin je patrný z obr. 6.10.



**Obr. 6.10:** Znázornění významu argumentů kvadratické odchylky

Zdroj: Vlastní.

Po provedení diskretizace dvouvrcholové spojité funkce hustoty pravděpodobnosti popsané vztahem (6.8) dostaneme rovnost (6.10). Kde  $i=1 \dots k$ , přičemž  $k$  je vhodně zvolený počet tříd histogramu.

$$f_T(x_i) = (1-p) \cdot f_1(x_i) + p \cdot f_2(x_i) \quad (6.10)$$

Před výpočtem je nutno plochu histogramu normalizovat. Normalizaci provedeme tak, že každou dílčí četnost všech tříd histogramu vydělíme součtem četností ve všech  $k$  třídách. Tím bude splněna požadovaná podmínka (6.11).

$$\sum_{i=1}^k h_E(x_i) = 1 \quad (6.11)$$

Nyní lze pomocí vztahu (6.12) zapsat explicitní vyjádření kvadratické odchylky.

$$\xi = \sum_{i=1}^k \xi_i = \sum_{i=1}^k (h_E(x_i) - f_T(x_i))^2 \quad (6.12)$$

Cílem optimalizačního algoritmu je nalézt minimum této odchylky. Pro minimalizaci bude využito numerické iterační gradientní metody, jejíž iterační rovnice je dána vztahem (6.13).

$$\vec{v}_k = \vec{v}_{k-1} - c \cdot \nabla \xi \quad (6.13)$$

Kde vektor  $\vec{v}_k$  je vektor  $k$ -tého kroku pěti hledaných parametrů  $p, \mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2$  a lze ho zapsat vztahem (6.14),  $c$  je vhodně zvolená konstanta reprezentující velikost iteračního kroku a  $\nabla \xi$  je gradient kvadratické odchylky daný vztahem (6.15).

$$\vec{v}_k = (p, \mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2)_k^T \quad (6.14)$$

$$\nabla \xi = \left( \frac{\partial \xi}{\partial p}, \frac{\partial \xi}{\partial \mu_1}, \frac{\partial \xi}{\partial \sigma_1}, \frac{\partial \xi}{\partial \mu_2}, \frac{\partial \xi}{\partial \sigma_2} \right)^T \quad (6.15)$$

Ze vztahu (6.15) je patrné, že gradient kvadratické odchylky  $\nabla \xi$  je vektor jehož prvky jsou tvořeny parciálními derivacemi funkce  $\xi$ , danou vztahem (6.12) podle všech jejích pěti parametrů  $p, \mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2$ . Tyto parciální derivace jsou vypočteny níže a zapsány pomocí vztahů (6.16) až (6.20).

$$\frac{\partial \xi}{\partial p} = 2 \sum_{i=1}^k (h_E(x_i) - f_T(x_i)) \cdot (f_2(x_i) - f_1(x_i)) \quad (6.16)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \mu_1} = \frac{-2 \cdot (1-p)}{\sigma_1^2} \sum_{i=1}^k (h_E(x_i) - f_T(x_i)) \cdot (x_i - \mu_1) \cdot f_1(x_i) \quad (6.17)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \sigma_1} = \frac{2 \cdot (1-p)}{\sigma_1} \sum_{i=1}^k (h_E(x_i) - f_T(x_i)) \cdot \left( 1 - \frac{(x_i - \mu_1)}{\sigma_1^2} \right) \cdot f_1(x_i) \quad (6.18)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \mu_2} = \frac{-2p}{\sigma_2^2} \sum_{i=1}^k (h_E(x_i) - f_T(x_i)) \cdot (x_i - \mu_2) \cdot f_2(x_i) \quad (6.19)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \sigma_2} = \frac{2p}{\sigma_2} \sum_{i=1}^k (h_E(x_i) - f_T(x_i)) \cdot \left( 1 - \frac{(x_i - \mu_2)}{\sigma_2^2} \right) \cdot f_2(x_i) \quad (6.20)$$

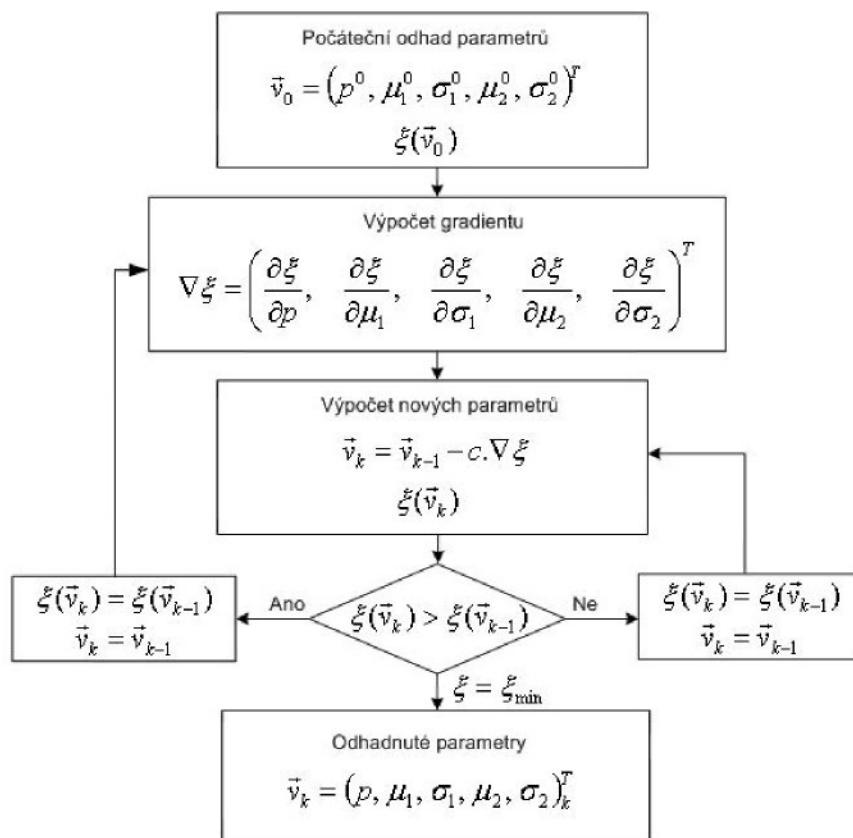
V prvním iteračním kroku jsou prvky  $p^0, \mu_1^0, \sigma_1^0, \mu_2^0, \sigma_2^0$  vektoru  $\vec{v}_0$  dány počátečním odhadem, ten bude rozdílný případ od příkladu. Pro počáteční odhad je vhodné využít histogramu, ze kterého lze poměrně snadno odhadované parametry vyčíst. Z provedených zkoušek bylo zjištěno, že lze v mnohých praktických případech za vhodný počáteční odhad považovat vektor (6.21).

$$\vec{v}_0 = (p^0, \mu_1^0, \sigma_1^0, \mu_2^0, \sigma_2^0)^T = \left( 0,25; x_{\min} + \frac{R}{4}; \frac{R}{12}; x_{\min} + \frac{3}{4}R; \frac{R}{12} \right)^T \quad (6.21)$$

Kde  $R$  je variační rozpětí vstupních dat dané vztahem (6.22).

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (6.22)$$

Na základě vypočteného gradientu jsou poté pomocí rovnice (6.13) vypočteny nové hodnoty parametrů. Hodnotu iteračního kroku je vhodné zvolit např.  $c = 0,1$ . Po vypočtení nových parametrů je porovnávána odchylka současného a předchozího kroku. V případě, že je současná odchylka menší než ta předchozí, provede se záměna hodnot  $\vec{v}_k = \vec{v}_{k-1}$ ,  $\xi(\vec{v}_k) = \xi(\vec{v}_{k-1})$  a opět budou z rovnice (6.13) vypočteny nové hodnoty parametrů. V opačném případě bude provedena záměna hodnot vektorů parametrů a odchylky a bude pomocí vztahů (6.15) až (6.20) vypočten nový gradient. Celý postup výpočtu je patrný z vývojového diagramu zachyceném na obr. 6.11.



**Obr. 6.11:** Algoritmus výpočtu pomocí numerické optimalizační metody

Zdroj: Vlastní.

Cyklus výpočtu je možné zastavit v okamžiku, kdy kvadratická odchylka dosáhne určité zvolené nízké hodnoty. Druhou možností je zastavení cyklu po proběhnutí určitého počtu kroků. Vzhledem k možné rozdílnosti výsledných odchylek v jednotlivých příkladech a vysoké rychlosti výpočtů dostupné výpočetní techniky se ukazuje být vhodnější zvolit druhou z možností a výpočet zastavit po určitém zvoleném počtu iteračních kroků. Vektory parametrů budou v každém kroku ukládány, výsledným vektorem parametrů pak bude vektor s nejmenší kvadratickou odchylkou.

## 2) Zobecnění algoritmu pro směs tří a více normálních rozdělení

Výše popsané algoritmy lze dále zobecnit pro směs tří a více normálních rozdělení. Obecně lze vícemodální funkci hustoty pravděpodobnosti složenou z  $r$  dílčích rozdělení zapsat vztahem (6.23).

$$f_T(x) = p_1 \cdot f_1(x) + p_2 \cdot f_2(x) + \dots + p_r \cdot f_r(x) \quad (6.23)$$

Kde  $p_i$  značí poměrný obsah plochy pod  $i$ -tou funkcí hustoty pravděpodobnosti  $f_i(x)$ .

Pro parametry  $p_i$  musí být dodržena podmínka (6.24), která zaručuje jednotkovou plochu pod celkovou vícemodální funkcí hustoty pravděpodobnosti  $f_T(x)$ .

$$\sum_{i=1}^r p_i = 1 \quad (6.24)$$

Postup výpočtu pro směs tří a více rozdělení je principiálně stejný jako tomu bylo u dvoumodálních rozdělení. Rozdíl je v počtu prvků vektoru hledaných parametrů a gradientu kvadratické odchylky. Tyto vektory jsou zde dány vztahy (6.25) a (6.26).

$$\vec{v}_k = (p_1, p_2, \dots, p_r, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)^T \quad (6.25)$$

$$\nabla \xi = \left( \frac{\partial \xi}{\partial p_1}, \frac{\partial \xi}{\partial p_2}, \dots, \frac{\partial \xi}{\partial p_r}, \frac{\partial \xi}{\partial \mu_1}, \frac{\partial \xi}{\partial \mu_2}, \dots, \frac{\partial \xi}{\partial \mu_r}, \frac{\partial \xi}{\partial \sigma_1}, \frac{\partial \xi}{\partial \sigma_2}, \dots, \frac{\partial \xi}{\partial \sigma_r} \right)^T \quad (6.26)$$

Dalším rozdílem je podoba parciálních derivací, které je potřeba dopočíst individuálně pro konkrétní případ. Po stanovení počátečního odhadu parametrů je možné přistoupit k numerickému výpočtu podle algoritmu znázorněném na obr. 3.

Modelování vícemodálního rozdělení a následné nalezení mezního bodu pro segmentaci dat lze také použít v oblasti počítačového rozpoznávání obrazu, viz. [76], [75].

Na základě představeného algoritmu jsou počítány parametry dvoumodálně rozdělených dob trvání činností pomocí počítačové aplikace, jež byla pro kapacitní plánování režijních pracovníků v rámci této práce vytvořena.

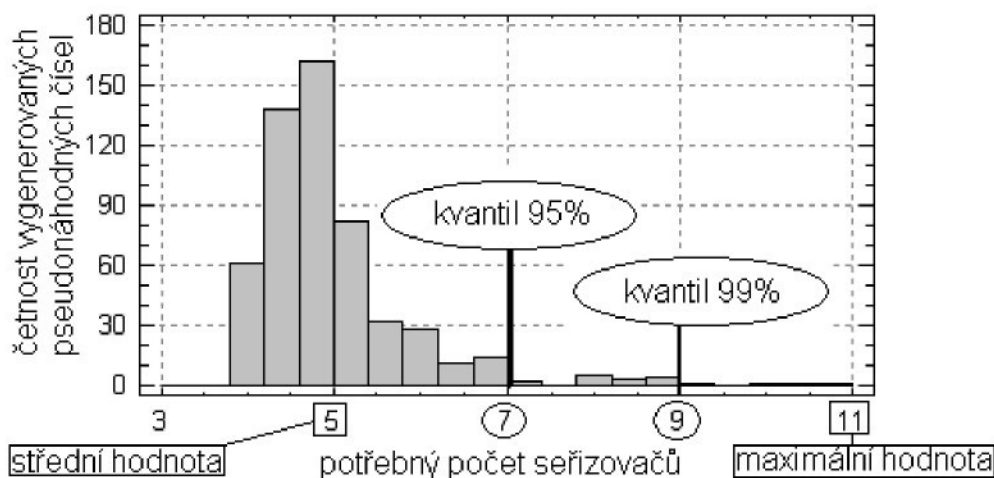


#### 6.1.4 Přínos zohlednění stochastické povahy dob trvání pracovních činností pro kapacitní plánování seřizovačů

Při kapacitním plánování nezohledňujícím stochastickou povahu dob trvání režijních činností je výstupem výpočtu skalár, který udává předpokládaný potřebný počet pracovníků. Tímto způsobem výpočtu dochází ke ztrátě informace o pravděpodobnostním rozdělení potřebného počtu pracovníků.

Při kapacitním plánování zohledňujícím stochastickou povahu dob trvání režijních činností je výstupem výpočtu pravděpodobnostní rozdělení potřebného počtu pracovníků. Vhodným vyjádřením je využití frekvenční tabulky vygenerovaných pseudonáhodných čísel, pomocí které lze na základě zvoleného kvantilu stanovit potřebný počet pracovníků. Tento systém plánování tedy umožňuje flexibilněji reagovat na kapacitní požadavky pracoviště.

Na obr. 6.12 je uveden příklad demonstrující rozdílné možnosti plánování kapacit se zohledněním a bez zohlednění stochastické povahy dob trvání seřizování.



**Obr. 6.12** Možnosti kapacitního plánování bez a se zohledněním stochastické povahy dob trvání seřizování

*Zdroj: Vlastní.*

Při zohlednění pouze střední doby trvání činností bude pro uvedený příklad naplánováno pouze 5 seřizovačů. Díky vysoké variabilitě dob trvání činností a objemu práce bude v některých obdobích docházet k přetížení seřizovačů a nesplnění požadované práce. Při plánování podle maximálních dob trvání činností bude pro uvedený příklad naplánováno 11 seřizovačů, kteří budou z 95% případů vytíženi pouze na 63%. Tento způsob plánování je v současné době ve výrobních podnicích typický. (Tvrzení vychází z provedených experimentů a verifikace provedených ve výrobních podnicích).

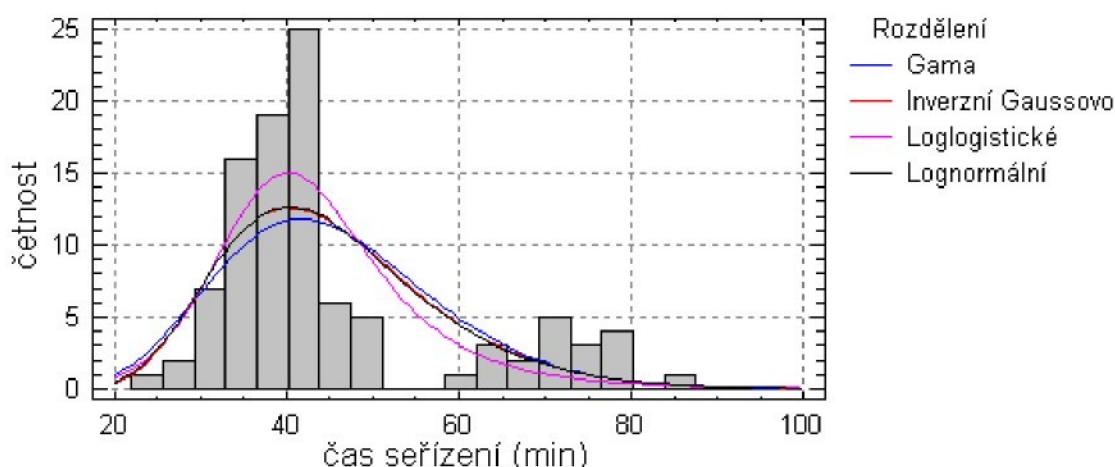
Naopak dynamický model plánování umožňuje zohlednit i průběh pravděpodobnostního rozdělení potřebného počtu seřizovačů. Rozumným řešením se ukazuje být naplánování sedmi stálých seřizovačů a dvou flexibilních seřizovačů, kteří budou určeni pro působení ve více provozech, ve kterých budou flexibilně využíváni podle momentálního zatížení provozů. Zohledněním stochastické doby trvání činností je možno v tomto příkladě ušetřit náklady na dva seřizovače.

### Vliv rozpoznání a zohlednění vícemodality pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování na přesnost kapacitního plánování seřizovačů

Z výše uvedeného je zřejmý vliv zohlednění stochastické povahy dob trvání činností na možnosti kapacitního plánování. Nyní bude představen vliv rozpoznání a zohlednění vícemodality rozdělení dob trvání činností na přesnost kapacitního plánování seřizovačů.

Kvalita aproximace experimentálních dat teoretickým rozdělením je hodnocena pomocí p-hodnot testů dobré shody. P-hodnota dosahuje maximálně velikosti 1. Čím je p-hodnota vyšší, tím kvalitnější je proložení experimentálních dat teoretickým rozdělením. V případě, že je p-hodnota  $< 0,05$  zamítáme hypotézu, že experimentální data pocházejí z testovaného teoretického rozdělení. Z provedených testů bylo zjištěno, že p-hodnoty při zohlednění dvoumodálního rozdělení dat zpravidla nabývají hodnot větších než 0,6. Při aproximaci dvoumodálně rozdělených dat nějakým jednomodálním teoretickým rozdělením jsou p-hodnoty zpravidla velmi blízké nule a nepřesáhnou minimální akceptovatelnou mez 0,05.

Na obr. 6.13 je uveden příklad dvoumodálního rozdělení experimentálních dat. Do histogramu jsou také zaneseny funkce hustoty pravděpodobnosti nejvhodnějších jednomodálních rozdělení pro aproximaci experimentálních dat. Již z obrázku je zřejmá velmi nízká kvalita aproximace. Tu pro všechny uvedené rozdělení potvrzují téměř nulové p-hodnoty testů dobré shody, které zamítají hypotézu, že by experimentální data pocházela z nějakého z uvedených rozdělení.



**Obr. 6.13** Nevhodnost aproximace dvoumodálně rozdělených dat jednomodálním rozdělením

*Zdroj: Vlastní.*

Tato zjištění svědčí o významnosti rozpoznání a zohlednění dvou a vícemodality rozdělení experimentálních dat. Praktický dopad zohlednění vícemodality se objevuje při generování pseudonáhodných čísel, kde by při použití jednomodálního rozdělení byla generována pseudonáhodná čísla, jež by značně zkreslovala skutečný charakter doby trvání příslušné činnosti. Důsledkem tohoto zkreslení je chybné stanovení očekávané pracovní doby zvoleným kvantilem.

V tab. 6.2 jsou pro případ rozdělení dat dle histogramu z obr. 6.13 uvedeny různé přístupy stanovení očekávané doby trvání činnosti a hodnoty stanovených očekávaných dob trvání činností. Z tabulky je patrné, že pokud bude odhad očekávaného času stanoven bez zohlednění variability dat, tedy jen na základě střední, nebo maximální hodnoty, bude docházet ke značné nepřesnosti. Nevhodnost aproximace dvoumodálně rozdělených dat

jednomodálním rozdělením je patrná z odchylky 95% kvantilu skutečných dat a 95% kvantilu lognormálního rozdělení. Výrazně lepší shodu se skutečnými daty vykazuje na hodnotě 95% kvantilu dvoumodálního rozdělení.

**Tab. 6.2** Porovnání výsledku plánování v závislosti na zvoleném přístupu

| Způsob plánování                                     | uvažovaný čas | odchylka (min) | odchylka (%) |
|------------------------------------------------------|---------------|----------------|--------------|
| Plánování podle střední hodnoty                      | 45 min        | - 30 min       | - 40%        |
| Plánování podle 95% kvantilu lognormálního rozdělení | 68 min        | - 7 min        | - 10%        |
| Plánování podle 95% kvantilu skutečných dat          | 75 min        | 0 min          | 0 %          |
| Plánování podle 95% kvantilu dvoumodálního rozdělení | 77 min        | + 2 min        | + 3%         |
| Plánování podle maximální hodnoty                    | 85 min        | + 10 min       | + 13%        |

*Zdroj: Vlastní.*

Pokud chceme nahradit dvoumodálně rozdělená data dvoumodálním teoretickým rozdělením, musíme o dvoumodalitě rozdělení experimentálních dat vědět. Pokud není příčina zpoždění zjištěna při interview, nebo snímkování pracovního dne, je možno zpoždění zjistit z naměřených dat dob trvání činností. To ovšem pouze za předpokladu vhodně zvoleného počtu tříd histogramu. Konvenční pravidla, jako např. Sturgersovo [69], Scottovo [64] či Freedmanovo [66] pro stanovení počtu tříd histogramu dvoumodálně rozdělených dat doporučují příliš nízký počet tříd, než jaký by byl potřeba pro rozpoznání vícemodality. V průběhu zpracování této práce byla snaha o nalezení vhodného pravidla určení dostatečného počtu tříd histogramu, které by vedlo k odhalení vícemodality. Experimentálním způsobem bylo zjištěno, že dostatečným počtem tříd histogramu pro odhalení vícemodality dostatečně četného výběrového souboru je přibližně dvojnásobek počtu tříd histogramu stanoveného podle Sturgersova pravidla. Vytvořené pravidlo je zapsáno rovností (6.27), kde  $k$  je počet tříd histogramu a  $n$  je počet prvků výběrového souboru. Více je k problematice stanovení dostatečného počtu tříd histogramu uvedeno v příloze IV.

$$k = 2 + 7 \cdot \log_{10} n \quad (6.27)$$

V podkapitole 2.8.6 bylo uvedeno, že některé softwarové produkty počítačové simulace umožňují zohlednit stochastickou dobu trvání činností prostřednictvím generování pseudonáhodných čísel z histogramu, který je do systému zadáván uživatelem. Při zadávání histogramu dob trvání režijních činností by měla být zohledněna možnost jejich dvoumodálního rozdělení. Z toho důvodu autor doporučuje při zadávání histogramu dob trvání režijních činností do simulačního software využít vytvořeného pravidla (6.27).

Závěrem podkapitoly pojednávající o dvoumodálně rozdělených dobách trvání seřizovacích činností je vhodné dodat, že experimentálně zjištěný poměr ploch pod funkcí hustoty pravděpodobnosti zpožděných dob trvání ku ploše pod funkcí hustoty pravděpodobnosti dvoumodálního rozdělení se pohybuje kolem hodnoty 0,2. Tento poměr je ovšem dán pravděpodobností výskytu příčiny zpoždění, která se může případ od případu lišit.

## 6.2 Struktura práce seřizovačů a technologů

### Struktura práce seřizovačů

Z provedených experimentů byly zjištěny určité zákonitosti o struktuře činností seřizovačů, tyto zákonitosti byly dále doplněny při provádění verifikace navržené metody. Zobecněné závěry o struktuře činností seřizovačů lze popsat následujícími body:

- VA a NVA činnosti se v pracovní náplni seřizovače značně prolínají. Tyto činnosti není vhodné oddělovat. Výpočet přírážkového koeficientu není vhodný provádět na základě struktury práce podle přidané hodnoty.
- Vyšší vypovídací hodnotu pro kapacitní plánování má struktura práce podle opakovanosti činností. Činnosti je vhodné rozdělit na hlavní (vysoce opakované) a podružné (středně a níže opakované). Přírážkový koeficient je vhodné počítat ze struktury práce podle opakovanosti.
- Vytíženost seřizovačů na nočních směnách dosahuje přibližně 80% vytíženosti seřizovačů na denních směnách.
- Ve struktuře časového fondu seřizovačů je při současném způsobu kapacitního plánování seřizovačů zastoupena nevytíženost a ztráty přibližně 30%.
- VA činnosti mají ve struktuře časového fondu seřizovačů přibližně 50% zastoupení.
- Výskyt ztrátových časů v průběhu směny roste, nejvyšší hodnoty dosahuje v poslední hodině denní i noční směny, kde jejich hodnota činí až 70%.

### Struktura práce technologů

Práce technologů byla studována při provádění experimentu C. Pokud bude dané pracoviště TPV považováno za reprezentativní vzorek oddělení TPV, lze konstatovat následující závěry:

- Práce technologa se skládá z práce v kanceláři oddělení TPV a z práce ve výrobě. 75% času z pracovního fondu technolog stráví v kanceláři oddělení TPV a 25% ve výrobě.
- Podíl VA činností prováděných v kanceláři činí přibližně 60%, podpůrné administrativní činnosti mají v časovém fondu seřizovače zastoupení přibližně 10%, čas strávený ve výrobě 25% a ztráty a nevytíženost se pohybují okolo 5%.
- Dynamická struktura práce technologů ukazuje na rovnoměrné vytížení technologů v průběhu směny.

## 6.3 Charakter časových řad zátěže

### 1) Chování časových řad zátěže seřizovačů

V provedených experimentech byly analyzovány 2 časové řady zátěže seřizovačů. V tab. 6.3 jsou tyto řady označeny čísly 1 a 2. Dále byla analyzována časová řada zátěže seřizovačů při provádění verifikace navržené metody kapacitního plánování seřizovačů. Tato řada je v tab. 6.3 označena číslem 3.

Cílem analýz časových řad zátěže seřizovačů bylo zjistit zákonitosti o dynamickém chování těchto řad tak, aby mohl být v zobecněné rovině stanoven aproximační model časových řad, pomocí kterého by bylo možné predikovat vývoj časových řad pro několik nadcházejících týdnů.

Časové řady byly testovány třemi testy náhodnosti. Všechny tři testy náhodnosti potvrdily u každé z řad velmi vysokou náhodnost průběhu časové řady. Výsledky testů náhodnosti

časových řad jsou prostřednictvím *p-hodnot* příslušných testů uvedeny v tab. 6.3. Pokud je *p-hodnota*  $> 0,05$ , průběh časové řady vykazuje vysokou náhodnost.

**Tab. 6.3** *Výsledky testů náhodnosti časových řad zátěže seřizovačů*

| Test náhodnosti             | p-hodnoty     |               |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                             | Časová řada 1 | Časová řada 2 | Časová řada 3 |
| Porovnávání s mediánem      | 0,107         | 0,491         | 0,307         |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0           | 0,652         | 0,527         |
| Box-Piercův                 | 0,336         | 0,616         | 0,105         |

*Zdroj: Vlastní.*

#### O časových řadách zátěže seřizovačů lze tedy konstatovat následující:

- Časové řady zátěže seřizovačů mají vysoce stochastický průběh.
- Modelování vysoce stochastických časových řad zátěže seřizovačů je značně problematické.
- Predikce časových řad zátěže seřizovačů není vhodná z důvodu získání nedůvěryhodných výsledků predikce.
- Časové řady vykazují roční sezónnost v době letní celozávodní dovolené.
- Časové řady vykazují velmi mírný stoupající trend.

Zjištěné poznatky mají bezprostřední vliv na způsob kapacitního plánování seřizovačů. V konceptu navržené metody bylo předpokládáno, že zátěž seřizovačů bude vycházet výhradně z predikčního modelu časových řad zátěže. Po zjištění vysoké stochastičnosti časových řad byly navrženy 3 možné přístupy stanovení zátěže seřizovačů. Jsou jimi:

- Využití týdenních zátěží posledního měsíce – tento přístup vychází z myšlenky, že není metodicky chybné vypočítat skutečné objemy práce v týdnech minulého měsíce a na jejich základě stanovit potřebný počet seřizovačů.
- Využití střední hodnoty týdenních zátěží minulého měsíce – období předchozího přístupu.
- Pro časové řady s nižší náhodností využití predikovaných hodnot nejlepšího možného predikčního modelu.

## 2) Časové řady zátěže technologů

V provedeném experimentu C byly analyzovány 2 časové řady zátěže technologů. I zde bylo cílem provedených analýz zjistit zákonitosti o dynamickém chování časových řad zátěže technologů tak, aby mohl být v zobecněné rovině stanoven aproximační model časových řad, pomocí kterého by bylo možné predikovat vývoj časových řad pro několik nadcházejících týdnů.

Časové řady byly testovány třemi testy náhodnosti. Výsledky testů náhodnosti časových řad jsou prostřednictvím *P-hodnot* příslušných testů uvedeny v tab. 6.4. Pokud je *p-hodnota*  $> 0,05$ , průběh časové řady vykazuje vysokou náhodnost.

**Tab. 6.4** *Výsledky testů náhodnosti časových řad zátěže technologů*

| Test náhodnosti             | p-hodnota     |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|
|                             | Časová řada 1 | Časová řada 2 |
| Porovnávání s mediánem      | 0,130         | 2,2E-5        |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,910         | 4,5E-8        |
| Box-Piercův                 | 0,238         | 0             |

*Zdroj: Vlastní.*



Z výsledků provedených testů vyplývá vysoká náhodnost průběhu první z časových řad (časová řada tvorby nabídek). U druhé časové řady (časová řada přípravy nových výrob) jsou *p-hodnoty* provedených testů náhodnosti prakticky nulové, což poukazuje na jistou pravidelnost časové řady. Provedené testy ukázaly, že nejvhodnějším aproximačním modelem této řady je model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty. Mimo tohoto modelu provedené testy splnily další 4 modely ARIMA. Predikce pomocí vybraného nejvhodnějšího modelu se již u třetí predikované hodnotě ustálila na konstantní hodnotě. Interval spolehlivosti predikce nabýval značného rozpětí. Tyto skutečnosti ukazují na fakt, že i přes příznivé výsledky ukazující nízkou náhodnost řady je predikování takovéto řady možné pouze s vysokou mírou nejistoty.

Poznatky o chování časových řad zátěže režijních pracovníků uzavřeme níže uvedeným zjištěním.

**Z 5-ti analyzovaných časových řad zátěže režijních pracovníků, vykazovaly 4 řady vysoce stochastický průběh typický pro tzv. náhodnou procházku (*Random Walk*), jejíž další průběh nelze s požadovanou jistotou predikovat.**

## 6.4 Doplnění konceptu metod kapacitního plánování režijních pracovníků

V kapitole 4 byl představen koncept metod kapacitního plánování režijních pracovníků. V představeném konceptu byla při výpočtech uvažována dostupnost jedné časové řady zátěže, ve které byly zastoupeny počty výskytů všech hlavních činností.

Z provedených experimentů bylo zjištěno, že mohou nastat další dva případy dostupnosti časových řad zátěže. Jsou jím:

- k dispozici jsou časové řady zátěže pro každou z hlavních činností,
- k dispozici je několik časových řad zátěže pro skupiny hlavních činností.

Pro tyto případy dostupnosti časových řad zátěže budou v této podkapitole doplněny zobecněné explicitní vztahy pro výpočet objemu práce, vytíženosti a potřebného počtu pracovníků.

Obecně lze vztah pro výpočet objemu práce zapsat pomocí vektoru (6.28), kde prvky tohoto vektoru určují objem práce v hodinách v nějakém  $h$ -tém týdnu. Objemy práce  $T_{H^-}$  až  $T_{-1}$  vycházejí z daných hodnot časové řady zátěže a lze je tedy nazývat *skutečnými objemy práce*. Objemy práce  $T_0$  až  $T_{H^+}$  vycházejí z predikovaných hodnot časové řady zátěže a lze je nazývat *očekávanými objemy práce*.

$$\vec{T}_h = (T_{H^-} \quad T_{H^-+1} \quad \dots \quad T_{-1} \quad T_0 \quad T_1 \quad \dots \quad T_{H^++1} \quad T_{H^+})^T \quad (6.28)$$

Analogickým způsobem, jakým lze zapsat obecný vztah pro objem práce, lze pomocí vektorů (6.29) a (6.30) zapsat obecný vztah pro vytíženost a potřebný počet pracovníků. I zde lze v závislosti na časovém horizontu  $h$  hovořit o *skutečných a očekávaných* hodnotách.

$$\vec{P}_h = (P_{H^-} \quad P_{H^-+1} \quad \dots \quad P_{-1} \quad P_0 \quad P_1 \quad \dots \quad P_{H^++1} \quad P_{H^+})^T \quad (6.29)$$

$$\bar{K}_h = (K_{H^-} \quad K_{H^-+1} \quad \dots \quad K_{-1} \quad K_0 \quad K_1 \quad \dots \quad K_{H^++1} \quad K_{H^+})^T \quad (6.30)$$

Výše uvedené vektory mají platnost pro všechny tři typy případů dostupnosti časových řad a platí jak pro statický, tak pro dynamický model plánování. Rozdílnosti se projeví až při výpočtu složek jednotlivých vektorů, tedy při výpočtu  $T_h$ ,  $P_h$  a  $K_h$ , jejichž explicitní vzorce budou představeny níže.

#### 6.4.1 Metoda kapacitního plánování využívající dynamický model plánování

##### 1) K dispozici jsou časové řady zátěže pro každou hlavní činnost

Pro případ, kdy je pro každou hlavní činnost dostupná časová řada jejího výskytu, lze pracnost spočítat ze vztahu (6.31), kde  $N_{h,j}$  je skutečný/predikovaný počet výskytu  $j$ -té činnosti v  $h$ -tém týdnu. Procentuální vytiženost stávající skupiny pracovníků v  $h$ -tém týdnu lze spočítat ze vztahu (6.32) a potřebný počet pracovníků v  $h$ -tém týdnu je dán vztahem (6.33).

$$T_h = \frac{A}{60} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{N_{h,j}} t_{i,j} \quad (6.31)$$

$$P_h = \frac{100 \cdot T_h}{TF \cdot NW} = 1,6 \cdot \frac{A}{TF \cdot NW} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{N_{h,j}} t_{i,j} \quad (6.32)$$

$$K_h = \frac{T_h}{TF} = \frac{A}{60 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{N_{h,j}} t_{i,j} \quad (6.33)$$

##### 2) K dispozici je několik časových řad zátěže pro skupiny hlavních činností

Pro případ, kdy je k dispozici několik časových řad zátěže, kde každá řada v sobě zahrnuje počty výskytů několika hlavních činností, lze objem práce vypočítat ze vztahu (6.34). Procentuální vytiženost stávající skupiny pracovníků v  $h$ -tém týdnu je pak dána vztahem (6.35) a potřebný počet pracovníků v  $h$ -tém týdnu vztahem (6.36).

$$T_h = \frac{A}{60} \cdot \sum_{k=1}^{TS} \sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^{(N_{h,k} \cdot p_{j,k})} t_{i,j,k} \quad (6.34)$$

Kde  $TS$  je počet dostupných časových řad zátěže,  $m_k$  je počet činností zahrnutých do  $k$ -té časové řady zátěže,  $N_{h,k}$  je skutečný/predikovaný počet požadavků práce  $k$ -té časové řady v  $h$ -tém týdnu,  $p_{j,k}$  je poměrné zastoupení  $j$ -té činnosti v  $k$ -té časové řadě zátěže a  $t_{i,j,k}$  je  $i$ -tý vygenerovaný čas v minutách  $j$ -té činnosti  $k$ -té časové řady.

$$P_h = \frac{100 \cdot T_h}{TF \cdot NW} = 1,6 \cdot \frac{A}{TF \cdot NW} \cdot \sum_{k=1}^{TS} \sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^{(N_{h,k} \cdot p_{j,k})} t_{i,j,k} \quad (6.35)$$

$$K_h = \frac{T_h}{TF} = \frac{A}{60 \cdot TF} \cdot \sum_{k=1}^{TS} \sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^{(N_{h,k} \cdot P_{j,k})} t_{i,j,k} \quad (6.36)$$

### 6.4.2 Metoda kapacitního plánování využívající statický model plánování

#### 1) K dispozici jsou časové řady zátěže pro každou hlavní činnost

Pro případ, kdy je pro každou hlavní činnost dostupná časová řada jejího výskytu, lze objem práce vypočítat ze vztahu (6.37), kde  $N_{hi}$  značí skutečný, či predikovaný počet výskytu  $i$ -té činnosti v  $h$ -tém týdnu. Procentuální vytíženost stávající skupiny pracovníků v  $h$ -tém týdnu lze vypočítat ze vztahu (6.38) a potřebný počet pracovníků v  $h$ -tém týdnu ze vztahu (6.39).

$$T_h = \frac{A}{60} \cdot \sum_{i=1}^n N_{hi} \cdot \bar{t}_i \quad (6.37)$$

$$P_h = \frac{100 \cdot T_h}{TF \cdot NW} = 1,6 \cdot \frac{A}{TF \cdot NW} \cdot \sum_{i=1}^n N_{hi} \cdot \bar{t}_i \quad (6.38)$$

$$K_h = \frac{T_h}{TF} = \frac{A}{60 \cdot TF} \cdot \sum_{i=1}^n N_{hi} \cdot \bar{t}_i \quad (6.39)$$

#### 2) K dispozici je několik časových řad zátěže pro skupiny hlavních činností

Pro případ, kdy je k dispozici několik časových řad zátěže, kde každá řada v sobě zahrnuje počty výskytů několika činností, lze objem práce vypočítat ze vztahu (6.40). Procentuální vytíženost stávající skupiny pracovníků je dáno vztahem (6.41) a potřebný počet pracovníků vztahem (6.42).

$$T_h = \frac{A}{60} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} N_{hj} \cdot p_{ij} \cdot \bar{t}_{ij} \quad (6.40)$$

Kde  $m$  je počet časových řad, které jsou k dispozici,  $n_j$  je počet činností zahrnutých v  $j$ -té časové řadě,  $N_{hj}$  je skutečný/predikovaný počet výskytu  $j$ -té časové řady v  $h$ -tém týdnu,  $p_{ij}$  je poměrné zastoupení výskytu  $i$ -té činnosti v  $j$ -té časové řadě a  $\bar{t}_{ij}$  je střední doba trvání  $i$ -té činnosti zahrnuté do  $j$ -té časové řady v minutách.

$$P_h = \frac{100 \cdot T_h}{TF \cdot NW} = 1,6 \cdot \frac{A}{TF \cdot NW} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} N_{hj} \cdot p_{ij} \cdot \bar{t}_{ij} \quad (6.41)$$

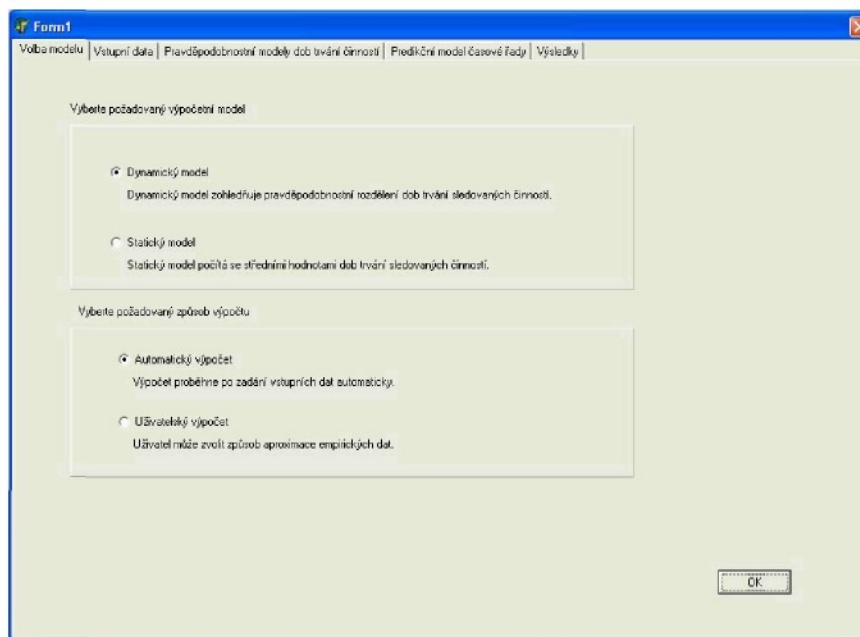
$$K_h = \frac{T_h}{TF} = \frac{A}{60 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} N_{hj} \cdot p_{ij} \cdot \bar{t}_{ij} \quad (6.42)$$

## 7 Počítačová aplikace pro kapacitní plánování režijních pracovníků

Pro možnost snadného praktického využití navržených kapacitních výpočtů byla vytvořena počítačová aplikace, která uživateli umožňuje snadno provádět kapacitní výpočty bez požadavků na uživatelskou znalost teoretického matematicko statistického pozadí kapacitních modelů.

Tato aplikace byla vytvořena v jazyce Object Pascal v integrovaném grafickém vývojovém prostředí Delphi. Aplikace je spustitelná v OS Windows jako exe soubor a není tak závislá na dalších komerčních softwarech. V této podkapitole budou představeny možnosti aplikace.

Po spuštění aplikace uživatel nejprve volí mezi statickým a dynamickým typem výpočetního modelu (viz. obr. 7.1). Po vybrání požadovaného modelu se v horní části okna objeví další záložka pro zadávání vstupních dat.



**Obr. 7.1** Volba modelu (dynamický, nebo statický)

*Zdroj: Vlastní.*

V dalším kroku je uživatel vyzván k nahrání časových náměrů dob trvání hlavních činností ze souboru ve formátu txt. Po nahrání dat proběhne automaticky výpočet středních hodnot dob trvání hlavních činností. Obdobným způsobem jsou ve formátu txt importovány hodnoty časové řady týdenních výskytů všech hlavních činností. Poměrné zastoupení jednotlivých činností je explicitně zadáváno uživatelem do polí vedle časové řady. Toto poměrné zastoupení je zobrazeno pomocí koláčového diagramu po stisknutí tlačítka *Použít*. Okno zadávání těchto vstupních dat je zachyceno na obr. 7.2.

Na obr. 7.3 je zachycena záložka pro výpočet přírážkového koeficientu ze struktury časového fondu. V této záložce uživatel zadává mimo zastoupení hlavních činností, podružných činností a ztrát také týdenní časový fond jednoho pracovníka a stávající počet pracovníků sledovaného pracoviště.

**Form1**

Volba modelu Vstupní data

Naměřené doby trvání činností Struktura časového fondu

Naměřené doby trvání hlavních činností

Importujte naměřené doby trvání hlavních činností Otevřít

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 22,48     | 32,69     | 15,81     | 47,69     | 53,86     |
| 23,09     | 35,23     | 16,82     | 50,23     | 55,24     |
| 23,49     | 36,91     | 16,96     | 51,91     | 55,31     |
| 24,35     | 37,07     | 17,71     | 52,07     | 55,39     |
| 25,7      | 37,25     | 17,72     | 52,25     | 56,14     |
| 26,31     | 38,05     | 17,92     | 53,05     | 56,82     |
| 26,47     | 39,1      | 18,47     | 54,1      | 56,83     |
| 27,41     | 39,77     | 18,53     | 54,77     | 57        |
| 27,43     | 40,04     | 18,85     | 55,04     | 57,02     |
| 28,22     | 40,05     | 18,9      | 55,05     | 57,54     |
| 28,34     | 40,13     | 18,92     | 55,13     | 58        |
| 28,38     | 40,2      | 19,01     | 55,2      | 59,32     |
| 28,65     | 41,07     | 19,04     | 56,07     | 59,34     |
| 28,66     | 41,17     | 19,14     | 56,17     | 59,55     |
| 28,74     | 41,24     | 19,29     | 56,24     | 60        |

Sřední hodnoty dob trvání hlavních činností:

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 30,76     | 49,76     | 20,62     | 64,76     | 63,96     |

Zjištěná časová řada výskytů činností

Importujte časovou řadu Otevřít

Uveďte poměrné zastoupení činností

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,1       | 0,2       | 0,25      | 0,2       | 0,25      |

Použít

Procentuální zastoupení jednotlivých hlavních činností

**Obr. 7.2** Zadávání vstupních dat

Zdroj: Vlastní.

**Form1**

Volba modelu Vstupní data Pravděpodobnostní modely dob trvání činností Predikční model časové řady

Naměřené doby trvání činností Struktura časového fondu

Struktura časového fondu

Uveďte zjištěné časové, četnostní, nebo procentuální zastoupení následujících činností:

Hlavní činnosti: 55

Podružné činnosti: 30

Ztráty: 15

Vykreslit diagram

Časový fond a současná kapacita

Vyplňte následující položky:

Týdenní časový fond jednoho pracovníka: 37,5 hodin

Současný počet pracovníků sledovaného pracoviště: 9

Použít

Výpočet přírážkového koeficientu A (allowance)

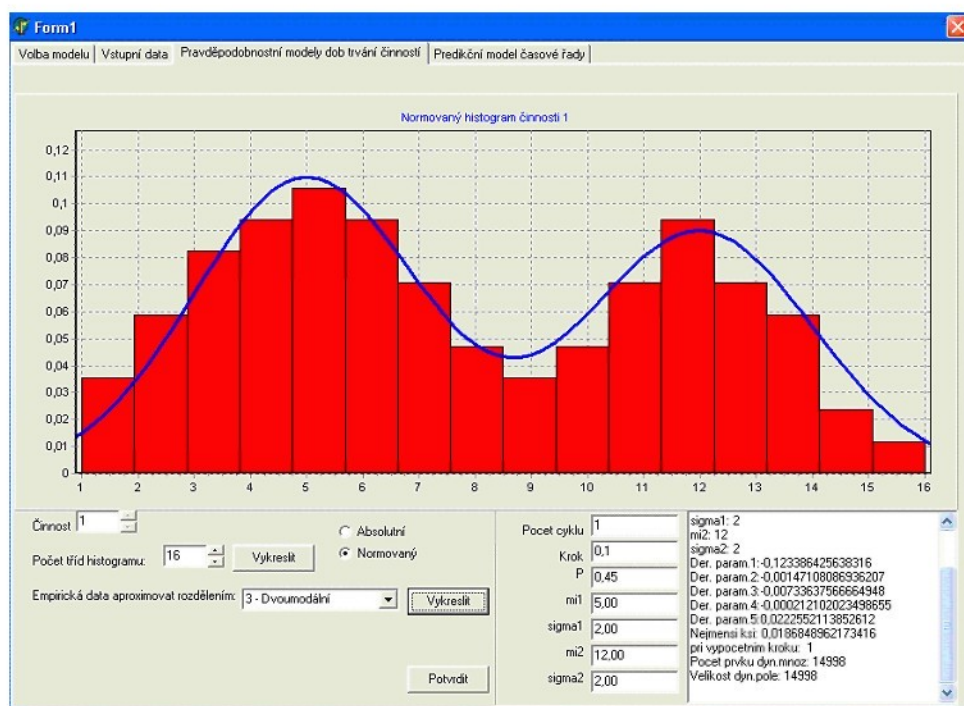
$A = (\text{hlavní} + \text{podružné}) / (\text{hlavní}) = 1,55$

**Obr. 7.3** Zadávání struktury činností a výpočet přírážkového koeficientu

Zdroj: Vlastní.



Po popsaném zadání vstupních dat se při použití dynamického modelu zobrazí záložka *Pravděpodobnostní modely dob trvání činností*. V této záložce uživatel nechá vygenerovat histogramy dob trvání všech hlavních činností s možností volby požadovaného počtu tříd histogramu. Histogramy experimentálně naměřených dat je zde možno aproximovat normálním, lognormálním, nebo dvoumodálním normálním rozdělením. Při volbě dvoumodálního rozdělení výpočet parametrů rozdělení probíhá numericky podle odvozeného algoritmu (viz. obr. 6.11). Se zvolenými teoretickými pravděpodobnostními rozděleními budou následně generována pseudonáhodná čísla očekávaných dob trvání hlavních činností. Záložka pro tvorbu histogramů a modelování teoretických rozdělení je zachycena na obr. 7.4. V případě volby statického modelu, kde není zohledněn tvar pravděpodobnostního rozdělení dob trvání hlavních činností, není aplikací tato záložka nabídnuta.

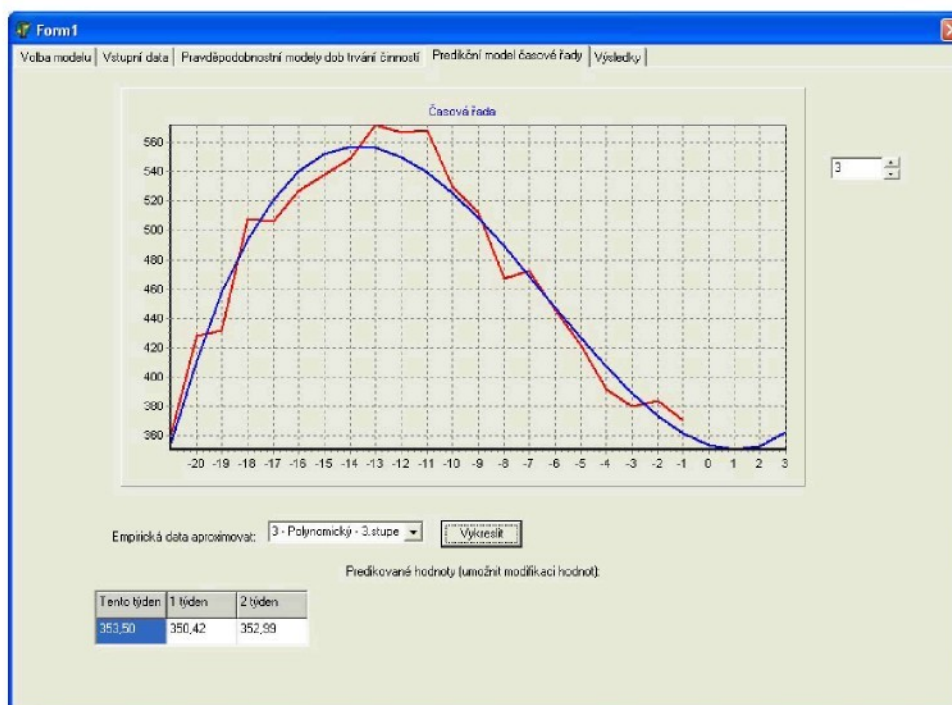


**Obr. 7.4** Testování a výběr vhodného teoretického rozdělení dob trvání činností  
Zdroj: Vlastní.

Po volbě teoretických rozdělení a potvrzení výběru se zobrazí záložka *Predikční model časové řady* (viz. obr. 7.5). V této záložce je v grafu vykreslena časová řada požadavků práce všech typových činností. Uživatel musí zvolit vhodný aproximační model časové řady a požadovaný horizont predikce. Aplikace nabízí pro modelování časové řady celkem pět možností aproximace. Jsou jimi: využití lineární regrese, kvadratická regrese, aproximace polynomem 3. stupně, využití průměrné hodnoty za poslední čtyři období, nebo přímé využití posledních čtyř hodnot časové řady. Poslední dvě z nabízených možností jsou do nabídky zahrnuty pro případ vysoce nahodilé časové řady, kde je predikce velmi obtížná a dostačující informací je výpočet kapacit v posledním měsíci.

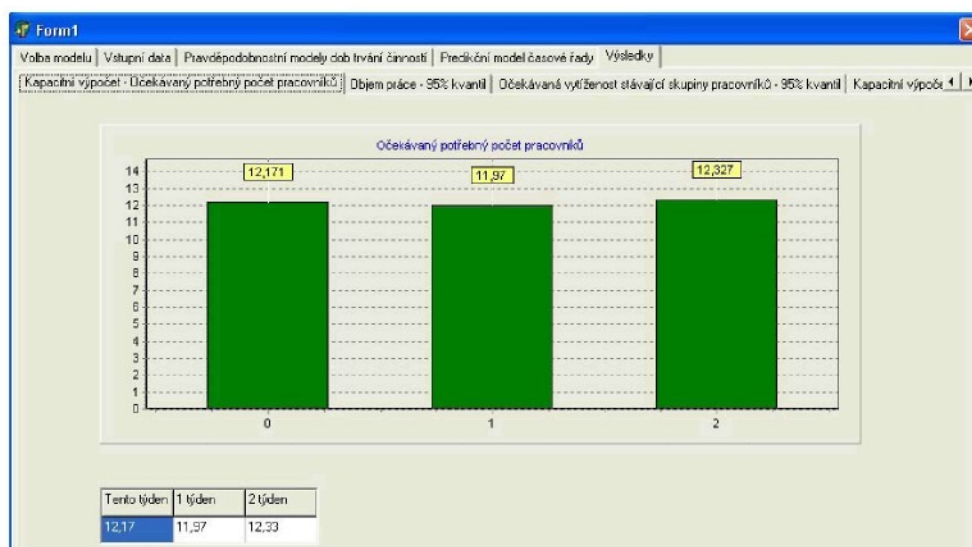
Výběrem predikčního modelu časové řady dojde k zobrazení záložky *Výsledky*. Tato záložka obsahuje čtyři další záložky. Na první z nich je vypočítán očekávaný počet pracovníků, který vyjadřuje jeden náhodně vygenerovaný vzorek očekávaného počtu pracovníků, viz. vztah (4.4). Opětovné generování výsledků ve formě těchto vzorků

umožňuje získat data pro vytvoření histogramu potřebného počtu pracovníků. Zbývající tři záložky uvádějí výsledky očekávaného objemu práce, očekávaného vytížení stávající skupiny pracovníků a očekávaného potřebného počtu pracovníků s 95% kvantilem, viz. vztahy (4.5), (4.6). Vypočítané výsledky jsou zapsány do tabulky a graficky znázorněny pomocí sloupcových grafů. Očekávané počty pracovníků pro nadcházející 3 týdny jsou pomocí sloupcového grafu znázorněny na obr. 7.7.



**Obr. 7.6** Testování a výběr vhodného predikčního modelu časové řady zátěže

Zdroj: Vlastní.



**Obr. 7.7** Vypočítaný očekávaný potřebný počet pracovníků

Zdroj: Vlastní.

Využití aplikace pro výpočet konkrétního příkladu je uvedeno v příloze V, kde je popsán kompletní proces výpočtu potřebného počtu seřizovačů pomocí dynamického modelu. Vytvořená aplikace je k disertační práci přiložena na CD, na kterém jsou uloženy také vstupní data k příkladům, řešeným v příloze V.

## 8 Aplikace vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů v reálných podmínkách

Pro ucelení disertační práce a určité ověření aplikovatelnosti navržené metody, funkčnosti algoritmů navržené počítačové aplikace a správnosti stanovených zobecněných závěrů, bylo v reálných podmínkách výrobního podniku provedeno ozkoušení vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů.

Při aplikaci metody bylo postupováno podle konceptu metody, představené v kapitole 4 a schematicky znázorněné na obr. 4.1, s respektováním zjištěných zákonitostí, uvedených v kapitole 6. Samotný kapacitní výpočet byl proveden pomocí vytvořené počítačové aplikace.

### 8.1 Prostředí aplikace metody

Toto ověření proběhlo ve strojírenském podniku, který se zabývá výrobou plastových dílů pro automobilový průmysl. Prostředím aplikace metody byla vstříkolisovna s 28 vstříkolisy. Seřizovači vstříkolisů v tomto podniku pracují ve dvou 12-ti hodinových směnách, přičemž na denní i noční směně pracuje zpravidla 9 seřizovačů.

### 8.2 Sběr vstupních dat

Potřebná vstupní data s uvedením metody jejich sběru a časové náročnosti jejich sběru jsou shrnuta v tab. 8.1.

**Tab. 8.1** Fáze sběru potřebných vstupních dat

| Metoda sběru dat                              | Vstupní proměnné                                                                                                                                                                                                                                  | Čas     |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Interview s technologem a hlavním seřizovačem | <ul style="list-style-type: none"><li>• počet seřizovačů</li><li>• časový fond seřizovače</li><li>• seznam hlavních a podružných činností</li><li>• možné příčiny zpoždění</li><li>• časového zastoupení hlavních a podružných činností</li></ul> | 1 hod   |
| Snímkování pracovního dne skupiny seřizovačů  | <ul style="list-style-type: none"><li>• doby trvání hlavních činností</li><li>• možné příčiny zpoždění</li><li>• četnostní zastoupení jednotlivých hlavních činností</li><li>• časová řada zátěže</li></ul>                                       | 3 dny   |
| Data z IS                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• reakční doba</li><li>• (doby trvání některých hlavních činností)</li><li>• (doba seřizování na denních a nočních směnách)</li></ul>                                                                       | 0,5 hod |

*Zdroj: Vlastní.*

### 8.3 Vyhodnocení vstupních dat

#### 8.3.1 Náplň a struktura práce

Z interview bylo zjištěno, že seřizovač vykonává níže uvedené hlavní a podružné činnosti.

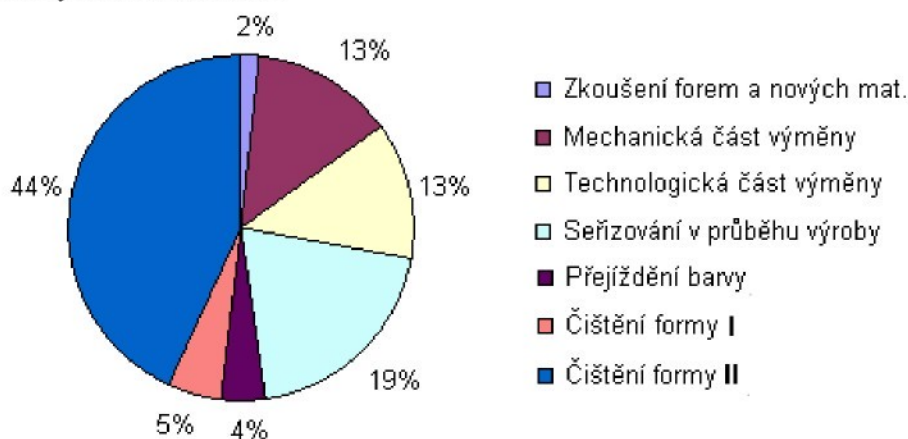
**Hlavní činnosti:** zkoušení forem a nových mat., mechanická část výměny, technologická část výměny, seřizování v průběhu výroby, změna barvy, čištění formy I, čištění formy II.



**Podružné činnosti:** kontrola bezpečnostních prvků, změna výroby, značení datumovky ve formě, seřizování chapadla, změna varianty tvaru, zastavení-manipulace jeřábem, nedostatek materiálu, špatná kvalita materiálu

Z pořízených snímků pracovního dne byl zjištěn časový poměr hlavních činností a podružných činností. Spočtený **přirážkový koeficient** zahrnující jak podružné činnosti, tak i reakční dobu má hodnotu **1,96**.

**Četnostní zastoupení jednotlivých druhů hlavních činností** je v procentuálním vyjádření zachyceno na obr. 8.1.



**Obr. 8.1** Četnostní zastoupení hlavních činností

Z informačního systému bylo zjištěno, že **objem práce na nočních směnách činí 82% objemu práce na denních směnách**.

### 8.3.2 Doby trvání hlavních činností

V průběhu snímkování pracovního dne byly naměřeny doby trvání hlavních činností, ta jsou uvedeny v tab. 8.2.

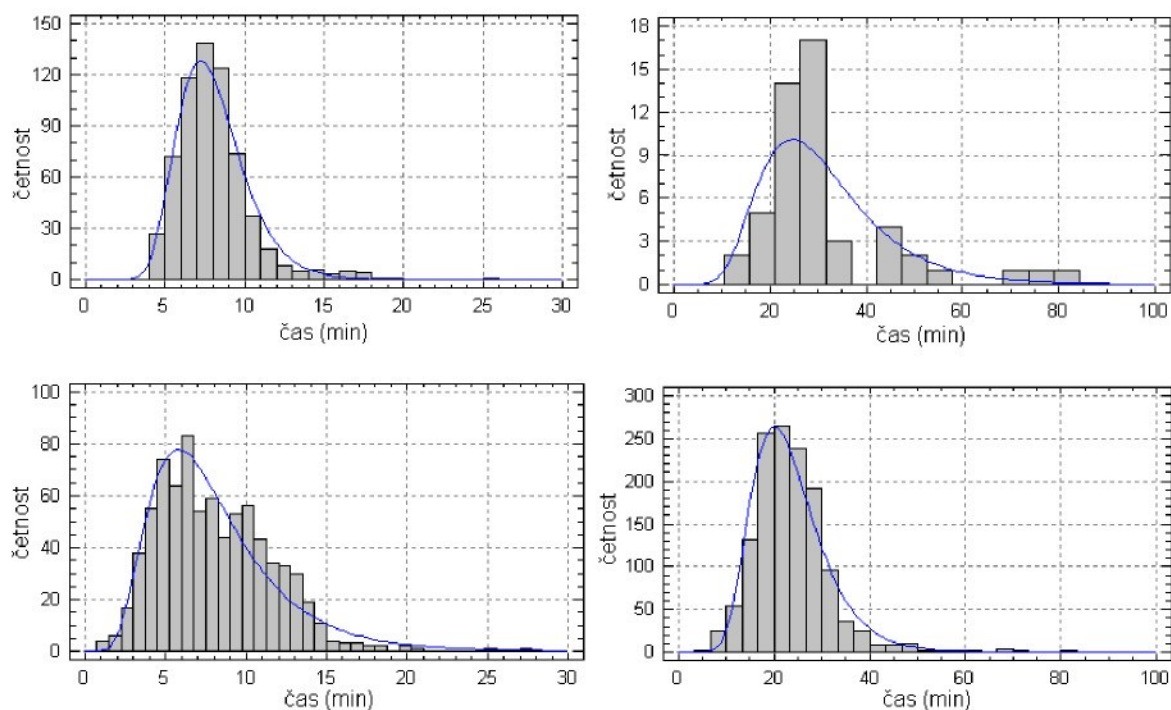
**Tab. 8.2** Doby trvání hlavních činností

| Zkoušení forem a nových mat. | Mechanická část výměny formy | Technol. část výměny formy | Seřizování v průběhu výroby | Změna barvy | Čištění formy I | Čištění formy II |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|------------------|
| 6,3                          | 19,3                         | 12,1                       | 1,0                         | 14,8        | 2,4             | 4,7              |
| 10,3                         | 17,8                         | 16,9                       | 3,0                         | 26,6        | 2,2             | 3,5              |
| 5,5                          | 22,3                         | 6,7                        | 1,6                         | 46,6        | 5,5             | 1,5              |
| 33,3                         | 29,7                         | 8,4                        | 1,5                         | 11,2        | 1,5             | 8,4              |
| 31,5                         | 18,0                         | 14,4                       | 1,4                         | 42,5        | 5,0             | 30,9             |
| 21,6                         | 17,8                         | 18,2                       | 1,5                         | 36          | 4,5             | 30,7             |
| 6,7                          | 19,6                         | 11,8                       | 1,1                         | 26,2        | 5,7             | 2,6              |

*Zdroj: Vlastní*

Z úvodního interview s technologem a hlavním seřizovačem bylo zjištěno, že zpoždění může na poměrně složitých strojích jakými vstříkolisy jsou nastat z více příčin. Tím bylo, v souladu s vytvořenou teorií vlivu počtu příčin zpoždění na tvar pravděpodobnostního rozdělení, předpokládáno lognormální rozdělení. Vzhledem k tomu, že v informačním systému daného podniku jsou explicitně evidovány také doby trvání některých hlavních

činností, byl tento předpoklad potvrzen. Histogramy dob trvání některých hlavních činností jsou zachyceny na obr. 8.2.

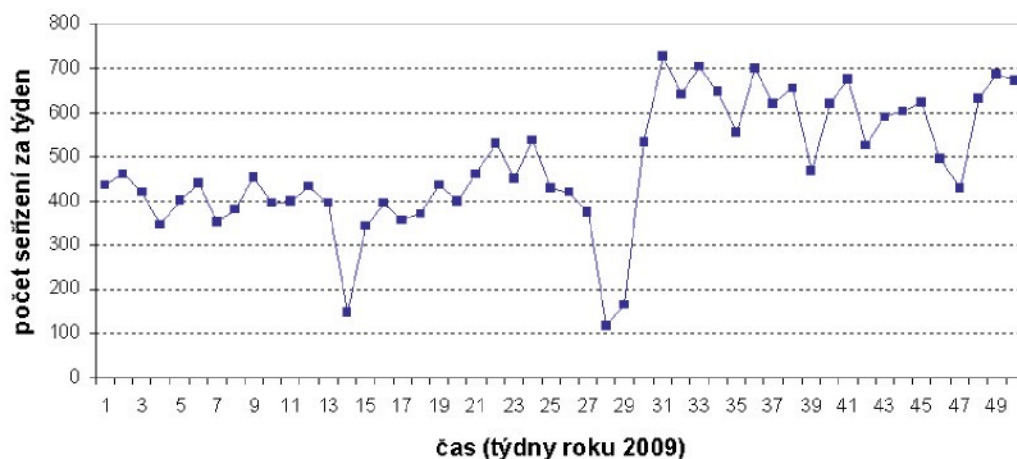


**Obr. 8.2** Histogramy dob trvání některých hlavních seřizovacích činností s aproximací lognormálním rozdělením

*Zdroj: Vlastní.*

### 8.3.3 Časová řada zátěže

Z informačního systému byla pořízena časová řada zátěže seřizovačů hlavními činnostmi. Z provedených experimentů a z nich vyvozených zobecněných závěrů byla předpokládána vysoká stochastičnost časové řady zátěže. Provedené testy náhodnosti časové řady tento předpoklad potvrdily. Časová řada zátěže zachycená na obr. 8.3 byla při kapacitním výpočtu modelována střední hodnotou týdenních zátěží za 4 předešlá období.



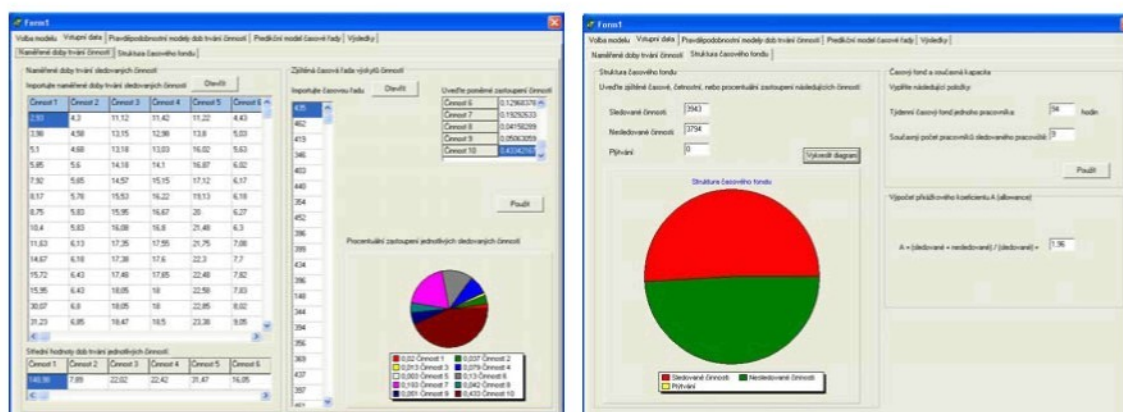
**Obr. 8.3** Časová řada zátěže seřizovačů (výskyt hlavních činností)

*Zdroj: Vlastní.*



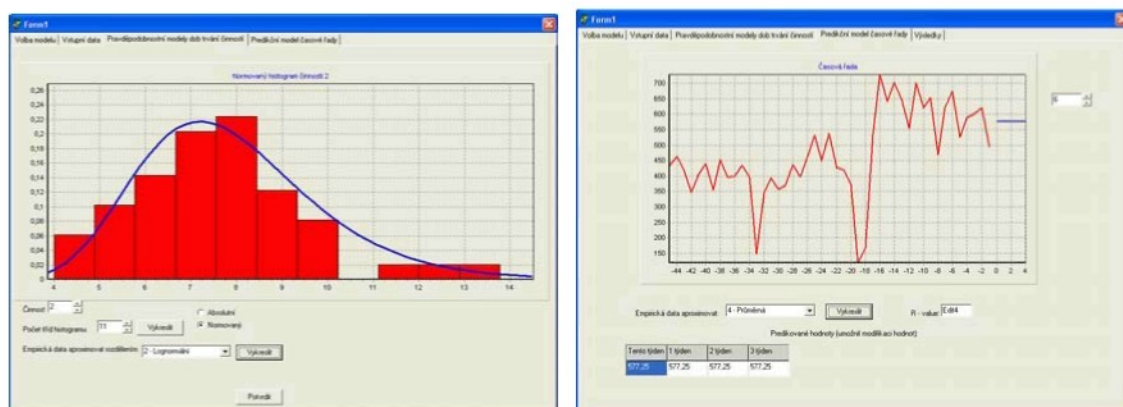
## 8.4 Kapacitní výpočet pomocí vytvořené počítačové aplikace

Výše popsaná vstupní data byla importována do vytvořené počítačové aplikace. Provedení celého výpočtu, počínaje nahráním vstupních dat, po získání výsledků trvala cca 2 minuty. Na obr. 8.4 až 8.6. je uveden proces výpočtu kapacit pomocí vytvořené počítačové aplikace.



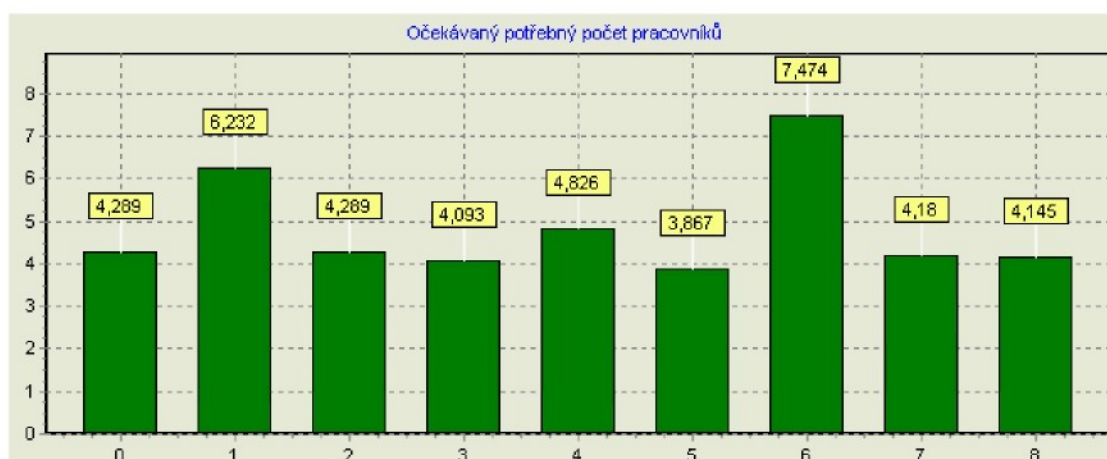
Obr. 8.4 Zadávání vstupních dat

Zdroj: Vlastní.



Obr. 8.5 Modelování stochastických jevů

Zdroj: Vlastní.



Obr. 8.6 Výstup kapacitního výpočtu – očekávaný potřebný počet pracovníků (vzorek)

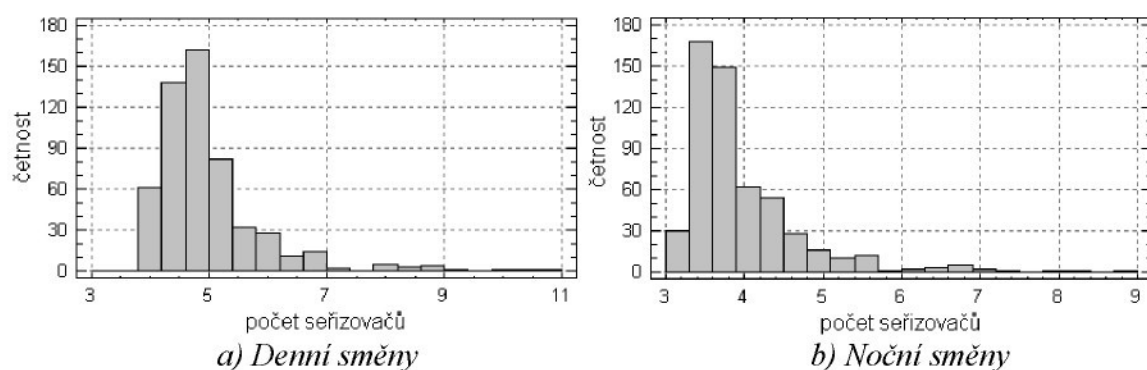
Zdroj: Vlastní.

V době provádění, zde popisovaného ověření navržené metody, byla navržená počítačová aplikace schopna generovat pouze jeden vzorek kapacitního výpočtu, dle vztahu (4.4). Pro získání histogramu potřebného počtu seřizovačů bylo provedeno vygenerování cca 500 výsledků, z nichž bylo možné sestavit histogram s vyšší vypovídací hodnotou o počtu potřebných seřizovačů. Tento histogram je zachycen na obr. 8.7. V současné době je již vývoj počítačové aplikace dál a tato aplikace umožňuje generovat výsledky v podobě 95% kvantilu potřebného počtu seřizovačů. Na vývoji aplikace je nadále pracováno. V brzké době lze očekávat, že vyvíjená aplikace bude poskytovat výsledky ve formě histogramů, či dále ve formě funkcí hustoty pravděpodobnosti potřebného počtu pracovníků.

## 8.5 Výsledky kapacitního výpočtu

Ze zobecněných závěrů o struktuře práce seřizovačů vyplývá, že vytíženost seřizovačů na nočních směnách dosahuje přibližně 80% vytíženosti seřizovačů na denních směnách. Tento předpoklad potvrdila vstupní data, která uvádí 82% vytížení seřizovačů na nočních směnách vůči seřizovačům na denních směnách. Tuto rozdílnost je při kapacitním plánování třeba zohlednit. Proto zde budou uvedeny výsledky kapacitního výpočtu zvlášť pro denní a zvlášť pro noční směnu.

Histogram na obr. 8.7a zachycuje potřebné počty seřizovačů na denních směnách. Z tab.8.3 je patrné, že při počtu 7-mi seřizovačů bude s 96,7% pravděpodobností splněna zadaná práce, při počtu 8-mi seřizovačů to bude splněna s pravděpodobností 97,5% a při počtu 9-ti seřizovačů s pravděpodobností 99,3%.



**Obr. 7** Histogram potřebného počtu seřizovačů na denních směnách

*Zdroj: Vlastní.*

**Tab. 8.3** Stanovení počtu seřizovačů na základě zvoleného kvantilu

| Počet seřizovačů | Kvantil - Denní směna | Kvantil - Noční směna |
|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4                | 5%                    | 66%                   |
| 5                | 66%                   | 92%                   |
| 6                | 90%                   | 97%                   |
| 7                | 96,7%                 | 99%                   |
| 8                | 97,5%                 | 99,6%                 |
| 9                | 99,3%                 | 100%                  |
| 10               | 99,6%                 | 100%                  |
| 11               | 100%                  | 100%                  |

*Zdroj: Vlastní.*

Podobně jako pro denní směny, histogram na obr. 8.7b zachycuje potřebné počty seřizovačů na nočních směnách. Z tab. 8.3 je patrné, že při počtu 6-ti seřizovačů bude s 97% pravděpodobností splněna zadaná práce, při počtu 7-mi seřizovačů to bude splněno s pravděpodobností 99% a při počtu 8-ti seřizovačů s pravděpodobností 99,6%.

### Vytiženost skupiny seřizovačů

Výsledky vytiženosti různě četné skupiny seřizovačů uvedené v tab. 8.4 ukazují, že např. při počtu 8 seřizovačů je vytiženost seřizovačů na denní směně 85% a na noční směně 72%. V oblasti seřizování strojů se často objevuje toto předimenzování počtu seřizovačů, které ovšem není nezbytné.

**Tab. 8** Tabulka vytiženosti různě četné skupiny seřizovačů

|             | Počet seřizovačů na směně |     |     |     |     |
|-------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
|             | 6                         | 7   | 8   | 9   | 10  |
| Denní směna | 113%                      | 97% | 85% | 76% | 68% |
| Noční směna | 97%                       | 83% | 72% | 64% | 58% |

*Zdroj: Vlastní.*

### Interpretace výsledků a doporučení

Provedená studie ukazuje následující zjištění:

- Potřebný počet seřizovačů pro denní směny je 7 s 97% pravděpodob. splnění úkolů.
- Potřebný počet seřizovačů pro noční směny je 6 s 97% pravděpodob. splnění úkolů.
- Pro zajištění splnění úkolů s vyšší než 97% pravděpodobností (až 99,6%) je vhodné použít kapacitního modelu 7 stálých seřizovačů + 2 flexibilní seřizovači. Pro noční směny 6 stálých + 2 flexibilní seřizovači.

## 8.6 Zhodnocení aplikovatelnosti vytvořené metody

Aplikace vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů v reálných podmínkách výrobního podniku přináší zjištění, že je navržená metoda snadno aplikovatelná, lze s její pomocí a pomocí navržené počítačové aplikace poměrně snadno a rychle stanovit potřebný počet seřizovačů.

Uvedené konstatování se vztahuje k tomuto konkrétnímu provedení ozkoušení navržené metody. Pro zobecnění závěrů aplikovatelnosti navržené metody pro libovolný výrobní provoz by bylo potřeba provést větší množství ozkoušení v různých podnicích, které je poměrně těžko proveditelné. Nicméně, vezmeme-li daný provoz za výběrový vzorek, ukazuje se být navržená metoda snadno aplikovatelná.

## 9 Přínosy disertační práce

V průběhu řešení disertační práce byly zjištěny poznatky a vytvořeny vlastní závěry, které jsou přínosem jak pro vědní obor, tak pro praxi. V této podkapitole budou uvedeny hlavní přínosy předkládané disertační práce.

### 9.1 Přínosy pro vědní obor

Přínosy disertační práce pro vědní obor lze shrnout do následujících bodů:

- Byla vytvořena metoda kapacitního plánování seřizovačů, která zohledňuje jak dynamický průběh časových řad zátěže seřizovačů, tak i stochastickou povahu dob trvání seřizování.
- Byly stanoveny zobecněné závěry o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování.
- Byla vytvořena typologie seřizovacích činností, která je založena na možnosti výskytu příčin zpoždění dokončení seřízení.
- Byly stanoveny zobecněné závěry o chování časových řad zátěže seřizovačů.
- Byly stanoveny zobecněné závěry o struktuře pracovních činností seřizovačů.
- Byla vytvořena metoda kapacitního plánování technologů.
- Byl popsán numerický algoritmus výpočtu parametrů funkce hustoty pravděpodobnosti dvoumodálního rozdělení dob trvání režijních činností. Tento algoritmus byl zobecněn i pro vyšší počet dílčích rozdělení.
- Práce poskytuje ucelený přehled o současných metodách kapacitního plánování režijních pracovníků, včetně uvedení kritického zhodnocení současných metod a současného stavu vědeckého poznání v oblasti kapacitního plánování režijních pracovníků.

### 9.2 Přínosy pro praxi

Přínosy disertační práce pro praxi lze shrnout do následujících bodů:

- Byly vytvořeny metody pro stanovení potřebného počtu seřizovačů a technologů.
- Byla vytvořena počítačová aplikace pro uživatelsky snadný výpočet potřebného počtu seřizovačů a technologů.
- Byly stanoveny a kvantifikovány závěry o rozdílném vytižení seřizovačů na denních a nočních směnách.
- Bylo zformulováno doporučení pro zadávání nezkreslených vstupních dat do systémů počítačové simulace.
- Dosažení vyšší produktivity.
- Ekonomický přínos v podobě optimalizace nákladů na režijní pracovníky.

## 10 Závěr a návrh dalšího postupu

Disertační práce, zaměřená na problematiku plánování režijních činností ve výrobních systémech s užším zaměřením na kapacitní plánování seřizovačů, jakožto zástupce profese vykonávající činnosti s vysoce stochastickou povahou, přinesla jak soubor poznatků o stávající úrovni kapacitního plánování režijních pracovníků, tak především příspěvek k metodice kapacitního plánování, zohledňujícího stochastickou povahu režijních činností a příspěvek k stanovení zobecněných závěrů o chování vybraných režijních činností.

### Hlavní závěry předložené práce lze shrnout následovně:

1. Současné metody kapacitního plánování režijních pracovníků neposkytují požadované výsledky. Jejich nedostatky spočívají především v nízké přesnosti kapacitního výpočtu a omezené využitelnosti. U metod, kde lze dosahovat vyšší přesnosti je tato výhoda kompenzována vysokými náklady, složitostí a vysokou časovou náročností aplikace metody.
2. Současné metody kapacitního plánování nezohledňují stochastickou povahu režijních činností, která má výrazný vliv na správné stanovení potřebného počtu režijních pracovníků.
3. Autorovi nejsou známy prameny, ve kterých by byly uvedeny poznatky o povaze režijních činností, tedy o zákonitostech dynamického chování časových řad zátěže a o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností.
4. Byly navrženy 2 metody kapacitního plánování. První z metod je určena pro kapacitní plánování seřizovačů. Tato metoda zohledňuje stochastickou povahu doby trvání seřizovacích činností i dynamický průběh časové řady zátěže seřizovačů. Druhá z metod je určena pro kapacitní plánování technologů, vychází ze středních hodnot dob trvání činností a zohledňuje dynamický průběh časové řady zátěže technologů. Vzhledem k dosud zřejmě nepopsaným zákonitostem o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností a o dynamickém průběhu zátěže režijních pracovníků, bylo nutno zjistit tyto neznámé parametry experimentální cestou.
5. V reálných provozních podmínkách výrobních podniků byly provedeny dva experimenty zaměřené na studium práce seřizovačů a jeden experiment zaměřený na studium práce technologů.
6. Snímky pracovního dne seřizovačů ukazují na vysokou míru prolínání činností VA a NVA. Výpočet přírážkového koeficientu pro zahrnutí podružných činností do objemu práce je proto vhodné stanovit na základě struktury činností podle frekvence jejich výskytu.
7. Provedené experimenty ukazují, že vytíženost seřizovačů na nočních směnách tvoří přibližně 80% vytíženosti seřizovačů na denních směnách.
8. Z provedených experimentů bylo zjištěno, že nevytíženost a ztráty jsou ve struktuře časového fondu seřizovačů zastoupeny přibližně 30%.
9. Z provedených experimentů bylo zjištěno, že tvar pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností je závislý na výskytu příčin zpoždění, které způsobují dvou či více modalitu rozdělení. Výskyt jedné příčiny zpoždění má za následek dvou modální rozdělení dat. Výskyt dvou příčin zpoždění vede k vytvoření směsi více rozdělení, které je vhodné aproximovat lognormálním rozdělením.
10. Z provedených experimentů bylo zjištěno, že nejčastěji se vyskytujícím



pravděpodobnostním rozdělením dob trvání seřizovacích činností je lognormální rozdělení, dále je to dvoumodální rozdělení tvořené směsí dvou normálních rozdělení, třímódní rozdělení a normální rozdělení.

11. Parametry vícemódní funkce hustoty pravděpodobnosti bylo nutno vypočítat numericky. Pro nalezení parametrů dvoumodální funkce hustoty pravděpodobnosti, tvořené směsí dvou normálních rozdělení, byl odvozen výpočetní algoritmus. Ten byl zobrazen také pro tří a vícemódní funkce.
12. Pro odhalení přítomnosti příčiny zpoždění a nehomogenity časových naměrů dob trvání je vhodné volit podstatně vyšší počet tříd histogramu, než jaký je volen pomocí konvenčních pravidel, jakým je např. Sturgesovo pravidlo. Experimentálním způsobem bylo zjištěno, že dostatečným počtem tříd histogramu pro odhalení vícemodality dostatečně četného výběrového souboru je přibližně dvojnásobek počtu tříd histogramu stanoveného podle Sturgesova pravidla, tedy přibližně  $k = 2 + 7 \cdot \log_{10} n$ . Z toho důvodu doporučuji při zadávání histogramu dob trvání režijních činností do simulačního software využít vytvořeného pravidla.
13. Časové řady zátěže seřizovačů vykazují velmi vysokou stochastičnost, jejich modelování a predikce je náročná, nebo nebývá z důvodu vysoké nahodilosti doporučována.
14. Z pěti analyzovaných časových řad zátěže režijních pracovníků, vykazovaly 4 řady vysoce stochastický průběh typický pro tzv. náhodnou procházku (*Random Walk*), jejíž další průběh nelze s požadovanou jistotou predikovat.
15. Při kapacitním plánování zohledňujícím stochastickou povahu dob trvání režijních činností je výstupem výpočtu pravděpodobnostní rozdělení potřebného počtu pracovníků. Vhodným vyjádřením je využití frekvenční tabulky vygenerovaných pseudonáhodných čísel, pomocí které lze na základě zvoleného kvantilu stanovit potřebný počet pracovníků. Tento systém plánování tedy umožňuje flexibilněji reagovat na kapacitní požadavky pracoviště.
16. Pro možnost snadného praktického využití navržených kapacitních výpočtů a algoritmů byla vytvořena počítačová aplikace, která uživateli umožňuje snadno provádět kapacitní výpočty bez požadavků na uživatelskou znalost teoretického matematicko statistického pozadí kapacitních modelů.
17. Navržená metoda kapacitního plánování seřizovačů byla ozkoušena v reálných podmínkách výrobního podniku. Ozkoušení potvrdilo aplikovatelnost navržené metody v daném provozu, jak ve fázi sběru vstupních dat, tak ve využití zobrazených předpokladů o povaze práce seřizovačů.

**Uvedený přehled zjištěných poznatků dokládá, že všechny stanovené cíle disertační práce byly postupně naplněny.**

Další výzkumná práce nyní směřuje k hledání zákonitostí v chování činností u dalších režijních profesí. Velmi aktuální oblastí se ukazuje být oblast údržby strojních zařízení, pro kterou lze rovněž předpokládat značně stochastický charakter práce, který je dán mimo jiné tím, že do doby trvání zde vstupuje obtížně predikovatelná doba diagnostiky požadované činnosti, či poruchy. Předmětem zájmu bude také vylepšení navržené počítačové aplikace.

## Literatura

- [1] AFT, L. S.: *Work Measurement & Methods Improvement*. John Wiley & Sons, Inc., 2000. ISBN 0471370894
- [2] ARLT, J.; ARLTOVÁ M.: *Ekonomické časové řady - Vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace*. Praha: Grada Publishing, 2007. s.288. ISBN 80-247-1319-9
- [3] ARLT, J.; ARLTOVÁ M.: *Finanční časové řady - Vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace*. Praha: Grada Publishing, 2003. s.220. ISBN 80-247-0330-0
- [4] AUSTIN, E. A.: *Managing the Backlog*. IIE Solutions, Feb99, Vol. 31 Issue 2, p36, 4p, 8 diagrams, (AN 1561241)
- [5] BAUER, J. a kol.: *Metodika normování práce*. Praha: TÚSTE Praha, 1972.
- [6] BEER, C. F.; SWANEPOEL, J. W. H.: *Simple and effective number-of-bins circumference selectors for a histogram*. In: *Statistics and Computing*, (1999) 9, p.27-35. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/h1qjh6515n51630v/fulltext.pdf>>
- [7] *Benchmarking*. Businessinfo.cz. Oficiální portál pro podnikání a export. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <<http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/male-a-stredni-podnikani/benchmarking/1000503/38490/>>
- [8] *Benchmarkingový cyklus*. Vzdělávací centrum pro veřejnou zprávu ČR, o.p.s., Benchmarkingová Iniciativa. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.benchmarking.vcvscr.cz/index.php?p\\_menu=obench&hl\\_sloupec=benchmarking&detail=cyklus](http://www.benchmarking.vcvscr.cz/index.php?p_menu=obench&hl_sloupec=benchmarking&detail=cyklus)>
- [9] *Benchmarking – Časté otázky*. Česká společnost pro jakost. [online] [cit. 05/2008] Dostupné z: <<http://www.benchmarking.cz/faq.asp>>
- [10] BLAGOVESHCHENSKII, Y. N.: *Multivariate T-Normal Distribution in Applied Statistics*. In: *Journal of Mathematical Sciences*, vol. 103, nr. 5. New York: Springer, 02/2001. p.556-567. ISSN 1072-3374
- [11] BRACKEN, D. W.: *Benchmarking Employee Attitudes*. Training & Development, Jun92, Vol. 46 Issue 6, p49
- [12] BROWN, M. V.: *Managing Maintenance Planing & Scheduling*. USA: Wiley Publishing, Inc., 2004. p. 275. ISBN 0-7645-5765-3
- [13] CARSON, Y.; MARIA, A.: *Simulation Optimalization: Mathods and Applications*. In: *Winter Simulation Conference*. New York: State University of New York, 1997. p.118-126. ISBN 0-7803-4278-X
- [14] CIPRA, T.: *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. Praha: SNTL 1986.
- [15] CYHELSKÝ, L.; KAHOUNOVÁ, J.; HINDLS, R.: *Elementární statistická analýza*.

Praha: Management press, 2001. 2.vydání, s.318. ISBN 80-7261-003-1

- [16] CHALOUPKA, J.: *Rozpoznávání akustického signálu řeči s podporou vizuální informace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, FM, 2005. [disertační práce]
- [17] CHARBONNEAU, M.: *Production Benchmarks for Catalogers in Academic Libraries*. Library Resources & Technical Services, Jan2005, Vol. 49 Issue 1, p40-48
- [18] CHROMJAKOVÁ, F.: *Momentkové pozorovanie*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=127](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=127)>
- [19] *Digitální podnik*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.catia.cz/DELMIA.8.0.html>>
- [20] *Dynamical histogram*. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.stat.sc.edu/~west/javahtml/Histogram.html>>
- [21] DRUCKER, P. F.: *Výzvy managementu pro 21.století*. 1.vyd. Praha: Management press, 2000. ISBN 80-7261-021-X
- [22] *Easy Random Number Generator 8.5*. [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.brothersoft.com/easy-random-number-generator-247515.html>>
- [23] FABIAN, F.; KLUIBER, Z.: *Metoda Monte Carlo a možnosti jejího uplatnění*. 1.vyd. Praha: Prospektum, 1998. s.152 ISBN 80-7175-058-1
- [24] FINCH, D.: *Backlog Management - a Start in Managing Maintenance! Lifetime Reliability*, Perth, Western Australia 2003, [online] [cit.12/2008] Dostupné z: <[http://www.lifetime-reliability.com/maintenance\\_backlog\\_management.html](http://www.lifetime-reliability.com/maintenance_backlog_management.html)>
- [25] FORD, D. J.: *Benchmarking HRD*. Training & Develop., Jun93, Vol. 47 Issue 6, p36
- [26] FREEDMAN, D.; DIACONIS, P.: *On the Histogram as a Density Estimator: L2 Theory*. In.: Zeitschrift Wahrscheinlichkeitstheorie verw. Gebiete 57, (453-476) 1981. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/mp364022824748n3/fulltext.pdf>>
- [27] FRIEDEL, L.: *O Benchmarkingu*. Česká společnost pro jakost. [online]. [cit. 05/2008] Dostupné z: <[http://www.benchmarking.cz/o\\_benchmarkingu.asp](http://www.benchmarking.cz/o_benchmarkingu.asp)>
- [28] GURINOVÁ, K.; VALENTOVÁ, V.: *Základy práce s programem STATGRAPHICS Centurion XV*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, s.118. ISBN 978-80-7372-275-3
- [29] GEORGIEVSKIY, I.; GEORGIEVSKAYA, Z.; PINNEY, W.: *Using Queuing Analysis and Computer Simulation Modeling to Reduce Waiting Time in the Hospital Admitting Department*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.flexsim.com/products/healthcare/docs/Reduce\\_Admissions\\_wait\\_times.pdf](http://www.flexsim.com/products/healthcare/docs/Reduce_Admissions_wait_times.pdf)>

- [30] HE, K.; MEEDEN, G.: *Selecting the Number of Bins in a Histogram: A Decision Theoretic Approach*. Journal of Statistical Planning and Inference, Vol 61 (1997), p.59-76. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.stat.umn.edu/~glen/papers/hist.pdf>>
- [31] HENDL, J.: *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál, 2004. 1.vyd. s.584. ISBN 80-7178-820-1
- [32] *Histogram*. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://math.fce.vutbr.cz/vyuka/matematika/statistika/histogram.html>>
- [33] HRŮZOVÁ, H.: *Benchmarkingové jiskření*. In: Moderní řízení, 1997, č. 8, s. 34–37. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://scv.upol.cz/cms\\_dokumenty/strana69.doc](http://scv.upol.cz/cms_dokumenty/strana69.doc)>
- [34] HU, J., RAY, B. K., SINGH, M.: *Statistical methods for automated generation of service engagement staffing plans*. IBM J. RES. & DEV. Vol. 51 no. 3/4 May/July 2007. s. 281-293.
- [35] JENKINSON, M.: *Histogram Bin Size*, 2000. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.fmrib.ox.ac.uk/analysis/techrep/tr00mj2/tr00mj2/node24.html>>
- [36] KAN. S. H.: *Metrics and Models in Software Quality Engineering*. New York: Addison-Wesley, 2003. 2cd edition , 528p., ISBN 0201729156, 9780201729153
- [37] KANAWATY, G.: *Introduction to Work Study*, 4<sup>th</sup> edition. Geneva: International Labour Office, 1992. ISBN 92-2-107108-1
- [38] KARMA, K. V. S.: *Statistics Made Simple*. India: Practice-Hall, 2004. s.272. ISBN 81-203-1741-6
- [39] *Kartotéka typových pozic – strojírenství. Ministerstvo práce a sociálních věcí*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://ktp.istp.cz/charlie/expert2/act/step2.act?lh=0&sm1=37>>
- [40] KASS, G. V.: *Waiting times, negative exponential distribution and generalized Fibonacci numbers*. In: International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, Volume 11, Issue 2 April 1980 , p. 197 – 200. ISSN 1464-5211
- [41] KISTER, T.: *PM Work Orders in the Backlog*. Life Cycle Engineering, Charleston. [online] [cit.12/08] Dostupné z: <<http://www.lce.com/pdf/PMsandtheBacklogKister.pdf>>
- [42] *Kodex vedení Benchmarkingu*. Česká společnost pro jakost. [online] [cit.05/2008] Dostupné z: <<http://www.benchmarking.cz/faq.asp>>
- [43] *Kolmogorov-Smirnov test* [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Mathematics/18-443Fall-2006/BD432998-421E-4FE3-8B59-FA3859D4F445/0/lecture14.pdf>>
- [44] *Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody* [online] [cit. 03/2010] Dostupné z:

<[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-569-2/pdf/133.pdf](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-569-2/pdf/133.pdf)>

- [45] KREJČOVÁ, Š.: *Analýza administrativní práce pomocí Integrovaných administrativních aktivit*. Žilina: Žilinská univerzita, Fakulta strojní, 2006. [autoreferát disertační práce]
- [46] KRIŠŤÁK, J.: *Časové štúdie*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=125](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=125)>
- [47] KRIŠŤÁK, J.: *Formulár pro snímkování pracovního dne*. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/UserFiles/File/Kristak/F\\_SPD.pdf](http://www.ipaslovakia.sk/UserFiles/File/Kristak/F_SPD.pdf)>
- [48] KRIŠŤÁK, J.: *Měření práce*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=101](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=101)>
- [49] KRIŠŤÁK, J.: *Momentkové pozorovanie*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=126](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=126)>
- [50] KRIŠŤÁK, J.: *Normatív času*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=128](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=128)>
- [51] KRIŠŤÁK, J.: *Štruktúrované odhady*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=124](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=124)>
- [52] LIKER, J. K.: *The Toyota Way. 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004. ISBN 0-07-139231-9
- [53] LEPSŠÍK, P.: *Increasing of Productivity in the Field of Overheads Activities*. In: *Liberecké ekonomické fórum*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, s. 355 – 360. ISBN 978-80-7372-244-9
- [54] LEPSŠÍK, P.: *Determination of Work Structure of Adjusters*. In: *Mezinárodní vědecká doktorská konference INPROFORUM Junior 2008*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. s. 98 - 102. ISBN 978-80-7394-130-7
- [55] LEPSŠÍK, P.: *Time Series as a Tool of Capacity Planning*. In: *Mezinárodní Baťova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-812-2
- [56] LEPSŠÍK, P.: *Innovation in Capacity Planning of Human Resources*. In: *The International Scientific Conference: Innovation – Factor of Competitiveness of Small and Medium Sized Enterprises in Global Economics Environment*. Banská Bystrica: Matej Bel University in Banská Bystrica, 2009. s. 204-213. ISBN 978-80-8083-792-1



- [57] LEPŠÍK, P.: *Dynamical Model of Capacitive Planning*. In: 9th International Scientific Conference New Trends in Technical Systems Operation 2009, Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. s.136-139. ISBN 978-80-553-0312-3
- [58] LEPŠÍK, P.: *Simulace výrobních systémů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 42 s. [písemná práce ke zkoušce]
- [59] LEPŠÍK, P.: *Studie práce technologů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 103 s. [zpráva z projektu]
- [60] LEPŠÍK, P.: *Kapacitní výpočet seřizovačů vstříkolisovny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. 10 s. [zpráva z projektu]
- [61] LEPŠÍK, P.: *Studie práce seřizovačů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. 96 s. [zpráva z projektu]
- [62] LEPŠÍK, P.: *Studie práce manipulantů*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2009. 42 s. [zpráva z projektu]
- [63] LEPŠÍK, P.: *Vliv produktivity servisních a administrativních činností na výkonnost podniku*. In: *Hradecké ekonomické dny*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2008, s. 420 - 425. ISBN 978-80-7041-202-2
- [64] LESTER, E. D.; FREEDMAN, D. A.: *Random Distribution Function*. In: Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley: University of California Press, 1967. p.183-214 ISSN 0097-0433
- [65] MANLIG, F.: *Počítačová simulace diskrétních událostí*. MM Průmyslové spektrum 10/99, str.34..35.
- [66] MANLIG, F.: *Počítačová simulace výrobních procesů*. MM Průmyslové spektrum 10/2000, str.30..32.
- [67] MANLIG, F; URBAN, P; HAVLÍK, R.: *Optimalizace výrobních procesů pomocí počítačové simulace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. [zpráva k vědeckovýzkumnému záměru]
- [68] MAŠÍN, I.; VYTLAČIL, M.: *Nové cesty k vyšší produktivitě. Metody průmyslového inženýrství*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2001. ISBN 80-902235-6-7
- [69] MAŠÍN, I.: *Výroba velkého sortimentu v malých sériích. Principy výrobních systémů pro 21. století*. Liberec: Institut technologií a managementu, 2004. ISBN 80-903533-0-4
- [70] MAŠÍN, I.; KOŠTURIÁK, J; DEBNÁR, P.: *Zlepšování nevýrobních procesů. Úvodní program pro servisní a procesní týmy*. 1.vyd. Liberec: Institut technologií a managementu, 2007. s.134. ISBN 80-903533-3-9
- [71] MAŠÍN, J.: *Techniky analýzy a měření práce I. Analytické metody PI*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, s.r.o., 2009. [Studijní materiály školy]

průmyslového inženýrství]

- [72] MAŠÍN, J.: *Techniky analýzy a měření práce II. Analytické metody PI*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, s.r.o., 2009. [Studijní materiály školy průmyslového inženýrství]
- [73] MATSUMOTO, M.; NISHIMURA, T.: *Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-Random Number Generator*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://saluc.engr.uconn.edu/refs/crypto/rng/matsumoto98mersenne.pdf>>
- [74] MATHER, D.: *Backlog Management. Fundamentals of Maintenance Planning Series*. [online] [cit. 12/2008] Dostupné z: <[http://www.reliabilityweb.com/articles/backlog\\_mgmt.htm](http://www.reliabilityweb.com/articles/backlog_mgmt.htm)>
- [75] MATHER, D.: *Backlog Management*. Plant Maintenance Resource Center, 2007. [online] [cit. 12/08] Dostupné z: <[http://www.plant-maintenance.com/articles/Backlog\\_Management.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/Backlog_Management.shtml)>
- [76] MELOUN, M.; MILITKÝ, J.: *Kompendum statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2002. 1.vydání, s. 764. ISBN 80-200-1008-4
- [77] MOST (Maynard Operation Sequence Technique). *Standars Time Setting Model*. JMAC Consultants, Inc. [online] [cit. 01/2010] Dostupné z: <<http://www.jmacglobal.com/monodzukuri/service/images/pdf/pd07.pdf>>
- [78] MRÁZEK, O.; SYNEK, M.: *Kapacitní propočty v průmyslu*. Praha: SNTL, 1981
- [79] MURCH, J.W.K.: *Work Measurement in Maintenance Engineering*. Industrial Engineering, [online] [cit. 01/09] Dostupné z: <<http://sunzi1.lib.hku.hk/hkjo/view/40/4000026.pdf>>
- [80] NĚMEC, V.: *Řízení a ekonomika firmy*. Praha: Grada Publishing, 1998. ISBN 80-7169-613-7
- [81] NIEBEL, B. W.; FREIDVALDS, A.: *Methods, Standards and Work Design*, 11th edition. McGraw-Hill Companies, Inc., 2003. ISBN 0-07-119863-6
- [82] NYMAN, D.; LEVITT, J.: *Maintenance Planing, Scheduling, and Coordination*. New York: Industrial Press, Inc., 2001. p. 228. ISBN 0-8311-3143-8
- [83] *Přehled optimalizačních metod*. [online] [cit. 04/2007] Dostupné z: <[http://majer.czweb.org/scheduling/30Metody\\_reseni.doc](http://majer.czweb.org/scheduling/30Metody_reseni.doc)>
- [84] RUEY, S. T.: *Analysis of Financial Time Series*. New York: John Wiley & Sons 1.vyd., 2002. p.448. ISBN 0-471-41544-8
- [85] SAPP, D.: *Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)*. Washington: National Institute of Building Sciences, 2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.wbdg.org/om/cmms.php>>

- [86] SAUER, W.; OPPERMANN, M.; WEIGERT, G.: *Electronics Process Technology*. London: Springer, 2006. ISBN 978-1-84628-353-6
- [87] SEGER, J.; HINDLS, R.: *Statistické metody v tržním hospodářství*. Praha: Victoria Publishing Praha, 1995. s.435. ISBN 80-7187-058-7
- [88] *Simulační software Delmia*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.3ds.com/products/delmia/welcome/>>
- [89] *Simulační software eM-Plant*. [online] [cit. 05/2007] Dostupné z: <[www.emplant.de](http://www.emplant.de)>
- [90] *Simulační software QUEST*. [online] [cit. 05/2007] Dostupné z: <[www.delmia.de](http://www.delmia.de)>
- [91] *Simulační software ShowFlow*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.showflow.com/>>
- [92] *Simulační software Simcron*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.simcron.de/produkte/MODELLER/modeller\\_e.html](http://www.simcron.de/produkte/MODELLER/modeller_e.html)>
- [93] *Simulační software Simul8 – stránky výrobce*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.simul8.com/home>>
- [94] *Simulační software Simul8*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.simul8.cz/produkty>>
- [95] *Simulation Software Surway – Overview*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation1.html>>
- [96] *Simulation Software Surway – Input Distribution Fitting*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation3.html>>
- [97] *Simulační software SimCad Processs Simulator*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.createasoft.com/simulation-software/products/simcadPro.html>>
- [98] *Simulační software Simio*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.simio.biz/products/>>
- [99] *Simulační software Micro Saint Sharp*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.maad.com/index.pl/micro\\_saint](http://www.maad.com/index.pl/micro_saint)>
- [100] *Simulační software WITNESS – Modul simulace*. [online] [cit. 05/2007] Dostupné z: <<http://www.humusoft.cz/witness/witnescz.htm#odkaz1>>
- [101] *Simulation Software Surway – Model Building*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation2.html>>
- [102] *Simulation Software Surway – Optimization*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online]

- [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation4.html>>
- [103] *Simulation Software Surway – Animation*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation5.html>>
- [104] *Simulation Software Surway – Pricing*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation6.html>>
- [105] SHIMAZAKI, H.; SHINOMOTO, S.: *A Method for Selecting the Bin Size of a Time Histogram*. Neural Computation (2007) Vol. 19(6), p. 1503-1527. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <[http://www.ton.scphys.kyoto-u.ac.jp/~hideaki/ton/pdf/shimazaki\\_neco07.pdf](http://www.ton.scphys.kyoto-u.ac.jp/~hideaki/ton/pdf/shimazaki_neco07.pdf)>
- [106] SPENDOLINI, M. J.: *The Benchmarking Book*. New York: AMACOM, 1992. ISBN 978-08-1445-077-2 [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.finance.alberta.ca/publications/measuring/results\\_oriented/module2\\_overview.pdf](http://www.finance.alberta.ca/publications/measuring/results_oriented/module2_overview.pdf)>
- [107] *Statistický software Statgraphics Centurion*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.statgraphics.com/>>
- [108] *Statistický software STATISTICA*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.statsoft.com>>
- [109] *Statistický software SPSS*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.spss.com/>>
- [110] *Statistický software SAS*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.sas.com/>>
- [111] *Sturges' rule*. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <[http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Presenting\\_results/Histogram\\_plots/Sturges\\_rule.htm](http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Presenting_results/Histogram_plots/Sturges_rule.htm)>
- [112] SWANSON, R. A.: *Analysis for Improving Performance*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 1994, ISBN 18-7961-817-6
- [113] ŠONKA, M; HLAVÁČ, V; BOYLE, R: *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. CL Engineering, 3th ed., 2007. 829p. ISBN-13: 9780495082521
- [114] *The mathematics of maintenance*, [online] [cit. 01/09] Dostupné z: <<http://www.achart.ca/publications/mathematics.html>>
- [115] VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D.: *Modern Applied Statistics with S*. New York: Springer-Verlag, 4<sup>th</sup> edition, 2002. ISBN 0-387-95457-0
- [116] VOLDÁNOVÁ, J.: *Benchmarking-moderní nástroj řízení*. In: Veřejná zpráva č.13,

týdeník vlády ČR. [online] [cit. 01/2007] Dostupné z:  
<<http://www.mvcr.cz/casopisy/s/2004/0013/kvalita.html>>

- [117] WESTERKAMP, T. A.: *How to Use Work Measurement for High-productivity Maintenance Operations*. Lombard: Productivity Network, Inc., 2002. [online] [cit. 05/2008] Dostupné z:<<http://www.pninc.com/maint/articles/MaintWkMeas0102.pdf>>
- [118] WESTERKAMP, T. A.: *How to Automate Your Maintenance Work Order System*, Productivity Network, Inc., Lombard, December 27, 1994, [online] [cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/maint/articles/article.pdf>>
- [119] WESTERKAMP, T. A.: *Keep IT Projects on Track With Work Management Contract Professional* [on-line][cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/it/articles/ITYourTurn.pdf>>
- [120] WESTERKAMP, T. A.: *Work Management Yields Faster, Better, Cheaper IT Operations*. Productivity Network, Inc., Lombard, 2000, [online] [cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/it/articles/ITWkMeas0200.pdf>>
- [121] WESTERKAMP, T. A.: *Case Study: Maintenance Work Management program*. Productivity Network, Inc., 2002, [online] [cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/corporate/cases/maintcase.pdf>>
- [122] WESTERKAMP, T. A.: *Measuring Maintenance. Essential principles for a high-productivity maintenance program*. IIE SOLUTIONS, october 1999, p.32-35.
- [123] WIREMAN, T.: *Benchmarking Best Practices in Maintenance Management*. New York: Industrial Press, Inc., 2004. p. 212. ISBN 0-8311-3168-3
- [124] WOMACK, J. P.; JONES, D. T.: *Lean Thinking*, 2cd edition. 397p. ISBN 0-7432-4927-5
- [125] YANG, CH: *Bayesian Time Series: Financial Models and Spectral Analysis*. North Carolina, Durham: Duke University, 1997. p.141. [dissertation]
- [126] ZANDIN, B. K.: *MOST Work Measurement System*. 3rd edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. ISBN 0-8247-0953-5
- [127] *ZRandom – Generátor náhodných čísel*. [online] [cit. 05/2008] Dostupné z: [http://www.stahuj.centrum.cz/podnikani\\_a\\_domacnost/kancelarske\\_aplikace/ostatni/zrandom/](http://www.stahuj.centrum.cz/podnikani_a_domacnost/kancelarske_aplikace/ostatni/zrandom/)>



## Vlastní publikace autora

### Články publikované v odborných časopisech

- [1] LEPŠÍK, P.: *Developement of Algorithm for Assembling of 3D Scans*. In: *Vědecká pojednání XIV / 2008 - ACC JOURNAL*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. s. 188 - 195. ISBN 978-80-7372-379-8, ISSN 1801-1128

### Články publikované ve sbornících z mezinárodních vědeckých konferencí

- [2] LEPŠÍK, P.: *Increasing of Productivity in the Field of Overheads Activities*. In: *Liberecké ekonomické fórum*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, s. 355 – 360. ISBN 978-80-7372-244-9
- [3] LEPŠÍK, P.: *Vliv produktivity servisních a administrativních činností na výkonnost podniku*. In: *Hradecké ekonomické dny*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2008, s. 420 - 425. ISBN 978-80-7041-202-2
- [4] LEPŠÍK, P.: *Planning of Indirect Labour through Multidimensional Statistical Methods*. In: *Mezinárodní Baťova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, ISBN 978-80-7318-664-7
- [5] LEPŠÍK, P.: *"How to do a business in Sweden?"*. In: *VIII. Mezinárodní konference studentů doktorských studijních programů IMEA 2008*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008, ISBN 978-807372-335-4
- [6] LEPŠÍK, P.: *Determination of Work Structure of Adjusters*. In: *Mezinárodní vědecká doktorská konference INPROFORUM Junior 2008*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. s. 98 - 102. ISBN 978-80-7394-130-7
- [7] LEPŠÍK, P.: *Time Series as a Tool of Capacity Planning*. In: *Mezinárodní Baťova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-812-2
- [8] LEPŠÍK, P.: *Innovation in Capacity Planning of Human Resources*. In: *The International Scientific Conference: Innovation – Factor of Competitiveness of Small and Medium Sized Enterprises in Global Economics Environment*. Banská Bystrica: Matej Bel University in Banská Bystrica, 2009. s. 204-213. ISBN 978-80-8083-792-1
- [9] LEPŠÍK, P.: *Dynamical Model of Capacity Planning*. In: *9th International Scientific Conference New Trends in Technical Systems Operation 2009*, Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. s.136-139. ISBN 978-80-553-0312-3

## Další publikace

- [10] LEPŠÍK, P.: *Informační systémy řízení výroby*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 59 s. [písemná práce ke zkoušce]
- [11] LEPŠÍK, P.: *Simulace výrobních systémů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 42 s. [písemná práce ke zkoušce]
- [12] LEPŠÍK, P.: *Analýza a plánování režijních činností ve výrobních systémech. Kapacitní plánování lidských zdrojů pro oblast režijních činností*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2008. 26 s. [teze disertační práce]
- [13] LEPŠÍK, P.: *Studie práce seřizovačů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. 96 s. [zpráva z projektu]
- [14] MAŠÍN, I.; MAŠÍN, J.; LEPŠÍK, P.: *Audit systému CO3 – Hodnocení zátěží*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2008. [zpráva auditora]
- [15] LEPŠÍK, P.: *Studie práce technologů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 103 s. [zpráva z projektu]
- [16] MAŠÍN, I.; MAŠÍN, J.; LEPŠÍK, P.: *Návrh montážní buňky tramvajové převodovky*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2009. [zpráva z projektu]
- [17] LEPŠÍK, P.: *Studie práce manipulantů*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2009. 42 s. [zpráva z projektu]
- [18] LEPŠÍK, P.: *Projekt montážní buňky tramvajové převodovky*. Slaný: Akademie produktivity a inovací, 2010. [absolventská práce]
- [19] LEPŠÍK, P.: *Kapacitní výpočet seřizovačů vstříkolisovny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. 10 s. [zpráva z projektu]

# Obsah

|          |                                                                                                |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>                                                                              | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Stav současného vědeckého poznání .....</b>                                                 | <b>6</b>  |
| 2.1      | Vymezení pojmů .....                                                                           | 6         |
| 2.2      | Kapacitní plánování výrobních pracovníků .....                                                 | 7         |
| 2.3      | Poměrové plánování .....                                                                       | 9         |
| 2.3.1    | Kapacitní výpočet režijních pracovníků ve výrobě .....                                         | 9         |
| 2.3.2    | Kapacitní výpočet režijních pracovníků mimo výrobu .....                                       | 10        |
| 2.3.3    | Výhody a nevýhody .....                                                                        | 10        |
| 2.4      | Využití metod měření spotřeby práce .....                                                      | 11        |
| 2.4.1    | Přehled metod měření práce .....                                                               | 11        |
| 2.4.2    | Strukturované odhady .....                                                                     | 12        |
| 2.4.3    | Snímkování operace .....                                                                       | 13        |
| 2.4.4    | Snímkování pracovního dne .....                                                                | 13        |
| 2.4.5    | Momentkové pozorování .....                                                                    | 14        |
| 2.4.6    | Maxi MOST .....                                                                                | 14        |
| 2.4.7    | Univerzální údržbové standardy .....                                                           | 15        |
| 2.4.8    | Výhody a nevýhody .....                                                                        | 17        |
| 2.5      | Kapacitní plánování podle zásobníku práce .....                                                | 17        |
| 2.5.1    | Proces plánování práce pomocí zásobníku práce .....                                            | 18        |
| 2.5.2    | Ukazatele zásobníku práce .....                                                                | 21        |
| 2.5.3    | Stanovení počtu pracovníků pomocí zásobníku práce .....                                        | 22        |
| 2.5.4    | Výhody a nevýhody .....                                                                        | 23        |
| 2.6      | Kapacitní plánování podle rozpočtu .....                                                       | 23        |
| 2.6.1    | Podstata metody .....                                                                          | 23        |
| 2.6.2    | Výhody a nevýhody .....                                                                        | 24        |
| 2.7      | Benchmarking .....                                                                             | 25        |
| 2.7.1    | Definice benchmarkingu .....                                                                   | 25        |
| 2.7.2    | Druhy benchmarkingu .....                                                                      | 25        |
| 2.7.3    | Proces aplikace benchmarkingu .....                                                            | 26        |
| 2.7.4    | Výhody a nevýhody .....                                                                        | 27        |
| 2.8      | Počítačová simulace .....                                                                      | 27        |
| 2.8.1    | Princip počítačové simulace výrobních systémů .....                                            | 27        |
| 2.8.2    | Postup při použití počítačové simulace .....                                                   | 28        |
| 2.8.3    | Optimalizační metody .....                                                                     | 28        |
| 2.8.4    | Softwarové produkty .....                                                                      | 29        |
| 2.8.5    | Typické úlohy pro řešení pomocí počítačové simulace .....                                      | 31        |
| 2.8.6    | Možnosti zohlednění stochastické povahy režijních činností .....                               | 31        |
| 2.8.7    | Výhody a nevýhody .....                                                                        | 32        |
| 2.9      | Kritické zhodnocení současného stavu .....                                                     | 32        |
| 2.9.1    | Zhodnocení používaných metod .....                                                             | 33        |
| 2.9.2    | Současné poznání o povaze režijní práce .....                                                  | 35        |
| <b>3</b> | <b>Zaměření a cíle disertační práce .....</b>                                                  | <b>37</b> |
| <b>4</b> | <b>Koncept metod kapacitního plánování režijních pracovníků .....</b>                          | <b>39</b> |
| 4.1      | Koncept metody kap. plánování využívající dynamický model plánování .....                      | 39        |
| 4.2      | Koncept metody kapacitního plánování využívající statický model plánování .....                | 44        |
| 4.3      | Matematicko statistické nástroje vystupující v navržených metodách kapacitního plánování ..... | 47        |
| 4.3.1    | Metody analýzy a predikce časových řad zátěže .....                                            | 47        |

|          |                                                                                                              |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.2    | Testy dobré shody.....                                                                                       | 52         |
| 4.3.3    | Generování pseudonáhodných čísel .....                                                                       | 53         |
| <b>5</b> | <b>Experimentální část.....</b>                                                                              | <b>54</b>  |
| 5.1      | Experiment A – Studie práce seřizovačů lisů .....                                                            | 54         |
| 5.1.1    | Prostředí provádění experimentu.....                                                                         | 54         |
| 5.1.2    | Cíle a zaměření experimentu .....                                                                            | 55         |
| 5.1.3    | Vytvoření seznamu činností seřizovačů .....                                                                  | 55         |
| 5.1.4    | Struktura práce seřizovačů .....                                                                             | 57         |
| 5.1.5    | Shlukování činností .....                                                                                    | 59         |
| 5.1.6    | Stanovení experimentálních a teoretických rozdělení dob trvání vybraných seřizovacích operací .....          | 60         |
| 5.1.7    | Analýza a predikce časových řad zátěže .....                                                                 | 64         |
| 5.1.8    | Závěry z experimentu A .....                                                                                 | 68         |
| 5.2      | Experiment B – Studie práce seřizovačů nástrojů .....                                                        | 69         |
| 5.2.1    | Prostředí provádění experimentu.....                                                                         | 69         |
| 5.2.2    | Cíle a zaměření experimentu .....                                                                            | 69         |
| 5.2.3    | Seznam úkolů .....                                                                                           | 69         |
| 5.2.4    | Struktura pracovních činností.....                                                                           | 69         |
| 5.2.5    | Shlukování pracovních činností.....                                                                          | 70         |
| 5.2.6    | Časové studie.....                                                                                           | 71         |
| 5.2.7    | Analýza a predikce časových řad zátěže .....                                                                 | 76         |
| 5.2.8    | Závěry z experimentu B .....                                                                                 | 77         |
| 5.3      | Experiment C – Studie práce technologů .....                                                                 | 77         |
| 5.3.1    | Prostředí provádění experimentu.....                                                                         | 77         |
| 5.3.2    | Cíle a zaměření experimentu .....                                                                            | 77         |
| 5.3.3    | Vytvoření seznamu činností technologů .....                                                                  | 78         |
| 5.3.4    | Struktura práce technologů .....                                                                             | 78         |
| 5.3.5    | Stanovení dob trvání hlavních činností .....                                                                 | 80         |
| 5.3.6    | Analýza a predikce časových řad zátěže oddělení TPV .....                                                    | 81         |
| 5.3.7    | Závěry z experimentu C .....                                                                                 | 85         |
| <b>6</b> | <b>Zobecnění zjištěných specifík režijních činností.....</b>                                                 | <b>86</b>  |
| 6.1      | Pravděpodobnostní rozdělení dob trvání seřizovacích operací .....                                            | 86         |
| 6.1.1    | Zobecnění experimentálně získaných poznatků.....                                                             | 86         |
| 6.1.2    | Zastoupení typů pravděpodobnostních rozdělení .....                                                          | 91         |
| 6.1.3    | Numerický algoritmus nalezení vícemodální funkce hustoty pravděpodobnosti .....                              | 92         |
| 6.1.4    | Přínos zohlednění stochastické povahy dob trvání pracovních činností pro kapacitní plánování seřizovačů..... | 97         |
| 6.2      | Struktura práce seřizovačů a technologů .....                                                                | 100        |
| 6.3      | Charakter časových řad zátěže .....                                                                          | 100        |
| 6.4      | Doplnění konceptu metod kapacitního plánování režijních pracovníků .....                                     | 102        |
| 6.4.1    | Metoda kapacitního plánování využívající dynamický model plánování .....                                     | 103        |
| 6.4.2    | Metoda kapacitního plánování využívající statický model plánování.....                                       | 104        |
| <b>7</b> | <b>Počítačová aplikace pro kapacitní plánování režijních pracovníků .....</b>                                | <b>105</b> |
| <b>8</b> | <b>Aplikace vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů v reálných podmínkách.....</b>                 | <b>109</b> |
| 8.1      | Prostředí aplikace metody .....                                                                              | 109        |
| 8.2      | Sběr vstupních dat .....                                                                                     | 109        |
| 8.3      | Vyhodnocení vstupních dat .....                                                                              | 109        |
| 8.3.1    | Náplň a struktura práce .....                                                                                | 109        |

|           |                                                              |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3.2     | Doby trvání hlavních činností .....                          | 110        |
| 8.3.3     | Časová řada zátěže.....                                      | 111        |
| 8.4       | Kapacitní výpočet pomocí vytvořené počítačové aplikace ..... | 112        |
| 8.5       | Výsledky kapacitního výpočtu .....                           | 113        |
| 8.6       | Zhodnocení aplikovatelnosti vytvořené metody .....           | 114        |
| <b>9</b>  | <b>Přínosy disertační práce.....</b>                         | <b>115</b> |
| 9.1       | Přínosy pro vědní obor .....                                 | 115        |
| 9.2       | Přínosy pro praxi .....                                      | 115        |
| <b>10</b> | <b>Závěr a návrh dalšího postupu.....</b>                    | <b>116</b> |
|           | <b>Literatura .....</b>                                      | <b>118</b> |
|           | <b>Vlastní publikace autora .....</b>                        | <b>127</b> |



## Seznam zkratek a symbolů

|             |                                                            |
|-------------|------------------------------------------------------------|
| A           | přirážkový koeficient                                      |
| A,B,C       | typ experimentu                                            |
| AVA         | pracovní činnosti, které vykonává technolog ve výrobě      |
| VA          | činnosti přidávající hodnotu                               |
| NVA         | činnosti přímo nepřidávající hodnotu                       |
| W           | časové ztráty (plýtvání)                                   |
| PB          | osobní přestávka                                           |
| M1,2,3      | označení činnosti seřizovačů (změna materiálu)             |
| N1,2,3      | označení činnosti seřizovačů (výměna nástroje)             |
| P1,2,3      | označení činnosti seřizovačů (výměna adaptéru)             |
| L1,2,3      | označení skupiny lisů                                      |
| IS          | informační systém                                          |
| PI          | průmyslové inženýrství                                     |
| TF          | časový fond pracovníka (hod)                               |
| NW          | počet pracovníků                                           |
| TPV         | technická příprava výroby                                  |
| VBD         | vyměnitelná břitová destička                               |
| PMTS        | systémy předem určených časů                               |
| IAA         | systémy integrovaných administrativních aktivit            |
| TMU         | časová jednotka využívaná v systémech předem určených časů |
| UMS         | universální údržbové standardy                             |
| N           | normální Gaussovo rozdělení                                |
| LN          | lognormální rozdělení                                      |
| 2N          | dvoumodální rozdělení (směs dvou normálních rozdělení)     |
| 3N          | Tři modální rozdělení (směs tří normálních rozdělení)      |
| $\bar{t}_j$ | střední doba trvání $j$ -té činnosti v minutách            |
| $t_A$       | čas práce jednotkové                                       |
| $t_B$       | čas práce dávkové                                          |
| $t_C$       | čas práce směnové                                          |
| $t_N$       | normovaný čas na operaci                                   |

|                   |                                                                       |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $k_c$             | koeficient přirážky času směnového                                    |
| $N_h$             | predikovaný počet výskytu pracovní činnosti v $h$ -tém týdnu          |
| $T_{hl}$          | časové zastoupení hlavních činností                                   |
| $T_p$             | časové zastoupení podružných činností                                 |
| $p_j$             | poměrné četnostní zastoupení $j$ -té hlavní činnosti                  |
| $T_h$             | očekávaná pracnost                                                    |
| $P_h$             | očekávané vyřízení skupiny pracovníků                                 |
| $K_h$             | očekávaný potřebný počet pracovníků                                   |
| $T_{h,95}$        | 95% kvantil očekávaného objemu práce                                  |
| AIC               | Akaikeho informativní kritérium                                       |
| ACF               | autokorelační funkce                                                  |
| PACF              | parciální autokorelační funkce                                        |
| ARMA (p,q)        | smíšený proces pro stacionární řady                                   |
| ARIMA (p,d,q)     | smíšený proces pro nestacionární řady                                 |
| AR (p)            | autoregresní procesy                                                  |
| MA (q)            | procesy klouzavých průměrů                                            |
| I (d)             | integrované procesy                                                   |
| $\mu$             | střední hodnota                                                       |
| $\sigma$          | směrodatná odchylka                                                   |
| $H_0$             | nulová hypotéza                                                       |
| $H_1$             | alternativní hypotéza                                                 |
| $f_T(x)$          | celková funkce hustoty pravděpodobnosti doby trvání pracovní činnosti |
| $f_1(x), f_2(x)$  | dílčí jednodomální funkce hustoty pravděpodobnosti                    |
| $\vec{v}_0$       | vektor počátečního odhadu                                             |
| $h_E(x_i)$        | skutečné hodnoty normalizovaného histogramu                           |
| $\hat{\rho}_k$    | autokorelační koeficient                                              |
| $\hat{\phi}_{kk}$ | parciální autokorelační koeficient                                    |
| $\xi(\vec{v}_k)$  | kvadratická odchylka                                                  |
| $\nabla \xi$      | gradient kvadratické odchylky                                         |

## Anotace

Disertační práce se zabývá problematikou kapacitního plánování režijních pracovníků, jejichž práce se vyznačuje stochastickou povahou výskytu a dob trvání pracovních činností. Zaměření práce vychází z analýzy a kritiky současných poznatků a přístupů k této problematice.

Nosná část práce řeší problematiku vytvoření metody kapacitního plánování seřizovačů strojů, jakožto zástupce profese vykonávající činnosti s vysoce stochastickou povahou.

Práce je členěna do 10-ti kapitol. V úvodní kapitole jsou představeny důvody volby tématu a jeho aktuálnost. V kapitole 2 je shrnuto současné vědecké poznání v oblasti kapacitního plánování režijních pracovníků. Po té je provedeno kritické zhodnocení stávajícího stavu s definováním nedostatků ve studované oblasti. Z nalezených nedostatků vycházejí cíle práce, uvedené v kapitole 3. Hlavním cílem práce je vytvořit metodu kapacitního plánování seřizovačů. Dalšími cíli je stanovení zobecněných závěrů o povaze seřizovacích činností, navržení metody kapacitního plánování technologů a navržení počítačové aplikace pro kapacitní plánování. V kapitole 4 je představen koncept navržených metod kapacitního plánování. Ty obsahují neznámé parametry, které je nutno zjistit experimentální cestou.

V kapitole 5 jsou představeny tři experimenty, které byly provedeny ve výrobních podnicích. Experimenty byly zaměřeny na seřizování lisů, seřizování nástrojů pro obrábění CNC centra a technickou přípravu výroby. Experimenty poskytly informace o průběhu časových řad zátěže, pravděpodobnostních rozděleních dob trvání seřizování a struktuře práce. Z těchto experimentálně získaných poznatků jsou v kapitole 6 vyvozeny zobecněné závěry o tvarech pravděpodobnostních rozdělení seřizovacích činností, charakteru časových řad zátěže a o struktuře práce seřizovačů.

Pro uživatelsky snazší vyhodnocení vstupních dat a rychlejší provedení kapacitního výpočtu byla vytvořena počítačová aplikace. Ta je popsána v kapitole 7.

Pro ověření aplikovatelnosti navržené metody bylo v reálných provozních podmínkách zvoleného výrobního podniku provedeno ozkoušení metody kapacitního plánování seřizovačů. To je popsáno v kapitole 8.

V kapitole 9 popsány přínosy disertační práce pro vědní obor a pro praxi. Ty spočívají především ve vytvoření metody kapacitního plánování seřizovači a stanovení zobecněných závěrů o povaze vybraných režijních činností. V poslední kapitole jsou shrnuty závěry práce a jsou doporučeny další kroky výzkumu v oblasti kapacitního plánování režijních pracovníků.

## Klíčová slova

Štíhlý servis, kapacitní plánování, režijní pracovníci, seřizovači strojů, stochastická povaha, pravděpodobnostní rozdělení.

## **Annotation**

The thesis deals with the field of capacity planning of indirect workers whose production is distinguished by stochastic character of occurrence and periods of persistency of work. The work scope comes out of the analysis and comments of contemporary knowledge and admittances to the problems.

The fundamental part of the thesis solves the question of creating methods concerning capacity planning of machine adjusters as a representative of profession performing activities with highly stochastic character.

The thesis contains ten chapters. Reasons for the choice of this topic and its recency are introduced in the first chapter. Present scientific knowledge concerning capacity planning of indirect workers is summarized in the chapter two. Critical evaluation of present stage with definition absence of studied area is put through after that. The objectives of the thesis come out of founded insufficiencies which are stated in chapter three. The main aim of the thesis is to create a method of capacity planning of machine adjusters. Another objectives are determination of generalized conclusions about the character of adjusting labor, methods of capacity planning of technologists proposition and computer application for capacity planning proposition. The concept of proposed methods of capacity planning which contains unknown parameters that have to be discovered by experimental way is presented in chapter four.

Three experiments which have been done in manufacturing concerns are presented in chapter five. The experiments have been focused on press machines adjusting, tools for CNC adjusting and technical preparation of production. The experiments secured information about the behaviour of time series of endurances, probability distributions of adjustment periods and structure of work. Generalized conclusions about probability distributions of adjustment activities, character of time series of endurances and work structure of machine adjusters are concluded from these pieces of knowledge in chapter six.

New computer application has been created for easier interpretation of input data and quicker implementation of capacity calculation. This is described in chapter seven.

To check the applicability of the proposed method, a test of the capacity planning method of machine adjusters has been conducted in real service conditions of the chosen manufacturing concern. This is described in chapter eight.

Contributions of the thesis for science and for practice are described in chapter nine. These lie mainly in setting up new capacity planning methods of machines adjusters and in determination of generalized conclusions about the character of chosen indirect labor. In the last chapter, conclusions of the thesis are summarized and the author proposes next steps in the research in the field of capacity planning of indirect workers.

## **Key words**

Lean service, capacity planning, indirect workers, machine adjusting, stochastic character, probability distribution.

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou doktorskou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložil na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Doktorskou disertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů a na základě konzultací se školitelem disertační práce a ostatními odborníky v oboru.

V Liberci 29. března 2010

Ing. Petr Lepšík



## Obsah

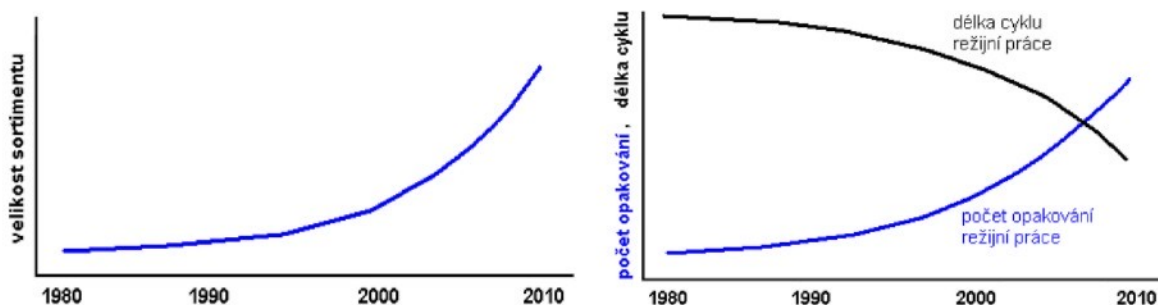
|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Obsah .....</b>                                                                             | <b>5</b>  |
| <b>1 Úvod .....</b>                                                                            | <b>6</b>  |
| <b>2 Stav současného vědeckého poznání .....</b>                                               | <b>9</b>  |
| 2.1 Metody kapacitního plánování režijních pracovníků .....                                    | 9         |
| 2.2 Současné poznání o povaze režijní práce .....                                              | 9         |
| <b>3 Zaměření a cíle disertační práce.....</b>                                                 | <b>10</b> |
| <b>4 Koncept metod kapacitního plánování režijních pracovníků.....</b>                         | <b>11</b> |
| <b>5 Experimentální část .....</b>                                                             | <b>13</b> |
| 5.1 Experiment A – Studie práce seřizovačů lisů .....                                          | 13        |
| 5.2 Experiment B – Studie práce seřizovačů nástrojů .....                                      | 14        |
| 5.3 Experiment C – Studie práce technologů .....                                               | 15        |
| <b>6 Zobecnění zjištěných specifík režijních činností.....</b>                                 | <b>16</b> |
| 6.1 Pravděpodobnostní rozdělení dob trvání seřizovacích operací .....                          | 16        |
| 6.2 Struktura práce seřizovačů a technologů .....                                              | 18        |
| <b>7 Počítačová aplikace pro kapacitní plánování režijních pracovníků .....</b>                | <b>19</b> |
| <b>8 Aplikace vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů v reálných podmínkách.....</b> | <b>20</b> |
| <b>9 Přínosy disertační práce.....</b>                                                         | <b>22</b> |
| 9.1 Přínosy pro vědní obor.....                                                                | 22        |
| 9.2 Přínosy pro praxi.....                                                                     | 22        |
| <b>10 Závěr a návrh dalšího postupu .....</b>                                                  | <b>23</b> |
| <b>Literatura .....</b>                                                                        | <b>25</b> |
| <b>Vlastní publikace autora .....</b>                                                          | <b>34</b> |

## 1 Úvod

Pracovníci tvoří nedílnou součást každého podniku. Cílem většiny podniků je produkovat zisk. Pro dosažení vyšší produktivity podniku a vyššího zisku je potřeba stanovit skutečně potřebný počet pracovníků jednotlivých útvarů podniku.

Při zvyšování produktivity podniku byl doposud kladen důraz především na zvyšování produktivity v oblasti výroby. Díky metodám analýzy a měření práce jsme v současné době schopni s poměrně velkou přesností určit čas potřebný k vykonání určitého objemu výrobní práce. Na základě znalosti tohoto času je pak možno stanovit počet výrobních pracovníků, jež jsou potřeba pro vykonání daného objemu práce. Způsob normování pracovního času je ovšem zatím znám pouze pro činnosti výrobních pracovníků. [78]

V současné době je stále více věnována pozornost zvyšování produktivity v oblasti režijních činností. Důvodem tohoto přechodu k režijním činnostem je, jak hledání dalšího prostoru k nalezení úspor, tak měnící se tržní prostředí, které zvyšuje nároky na produktivitu režijních pracovníků. Jednou z nejvýznamnějších změn je růst sortimentu. Rostoucí požadavky zákazníka nutí podniky vyrábět a dodávat na trh výrobky v nejrůznějších variantách a modifikacích tak, aby pro zákazníka vytvořily co možná nejširší spektrum nabídky jistého produktu. [69] Z pohledu výrobního podniku s sebou výroba velkého sortimentu vyráběného v malých sériích, přináší vyšší opakovanost režijních činností, jakými jsou např. přeseřizování strojů, údržba, manipulace, administrativa, technická příprava výroby atd. Rostoucí frekvence opakování režijních činností a zkracování jejich doby trvání je důvodem pro zaměření pozornosti do oblasti režijní práce. [70]



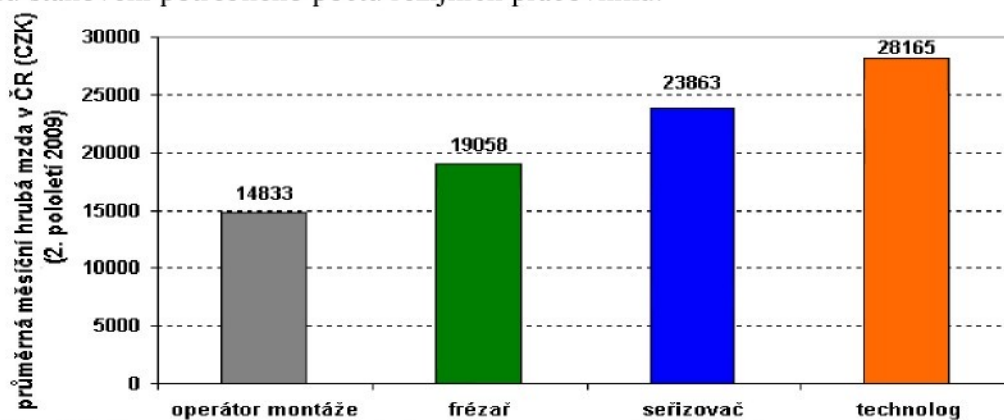
**Obr. 1.1** Trend růstu sortimentu a komplexity strojírenských výrobků **Obr. 1.2** Změna charakteru režijní práce [70]

Trend růstu sortimentu a komplexity strojírenských výrobků je znázorněn na obr. 1.1. Změna charakteru režijních činností, spočívající v růstu jejich frekvence opakování a zkracování jejich doby trvání je pak zachycena na obr. 1.2. Dalším z důvodů zaměření pozornosti na oblast režijních činností jsou vyšší mzdy režijních pracovníků. Na obr. 1.3 je uvedeno porovnání mezd výrobních a režijních pracovníků.

Stanovení potřebného počtu režijních pracovníků je díky uvedeným skutečnostem v dnešní době velmi aktuálním tématem. [70] V současné době existuje několik metod pomocí nichž je stanovován počet režijních pracovníků pro určitá pracoviště. Tyto metody ovšem poskytují pouze informativní údaje o doporučeném počtu režijních pracovníků.

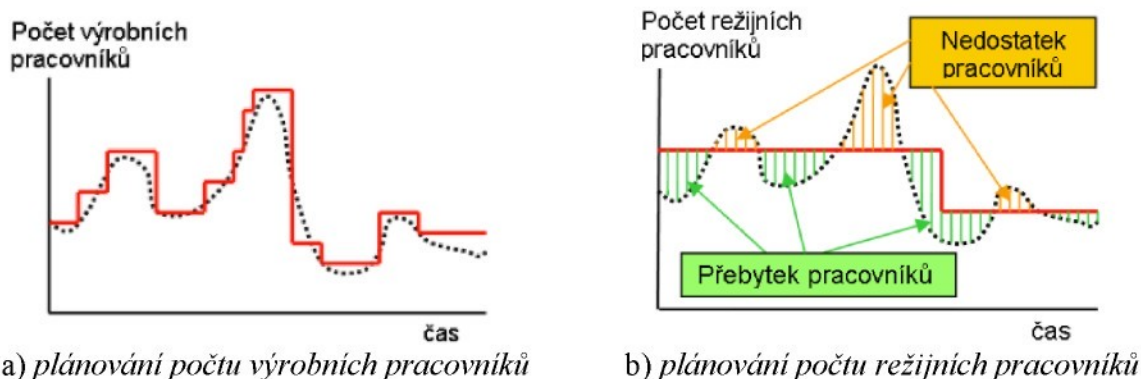
Režijní činnosti se oproti činnostem výrobním vyznačují podstatně vyšší proměnlivostí hustoty požadavků práce v čase a mnohem vyšší nahodilostí jejich dob trvání. Tato

stochastická povaha režijních činností doposud nedovolila vytvořit dostatečně přesnou metodu stanovení potřebného počtu režijních pracovníků.



**Obr. 1.3** Porovnání výše mezd výrobních pracovníků (operátor montáže, frézař) a režijních pracovníků (seřizovač, technolog) [39]

Rozdíly v současném stavu plánování potřebného počtu pracovníků v oblasti výrobních (jednicových) činností a v oblasti režijních činností jsou znázorněny na obr. 1.4. a obr. 1.5.

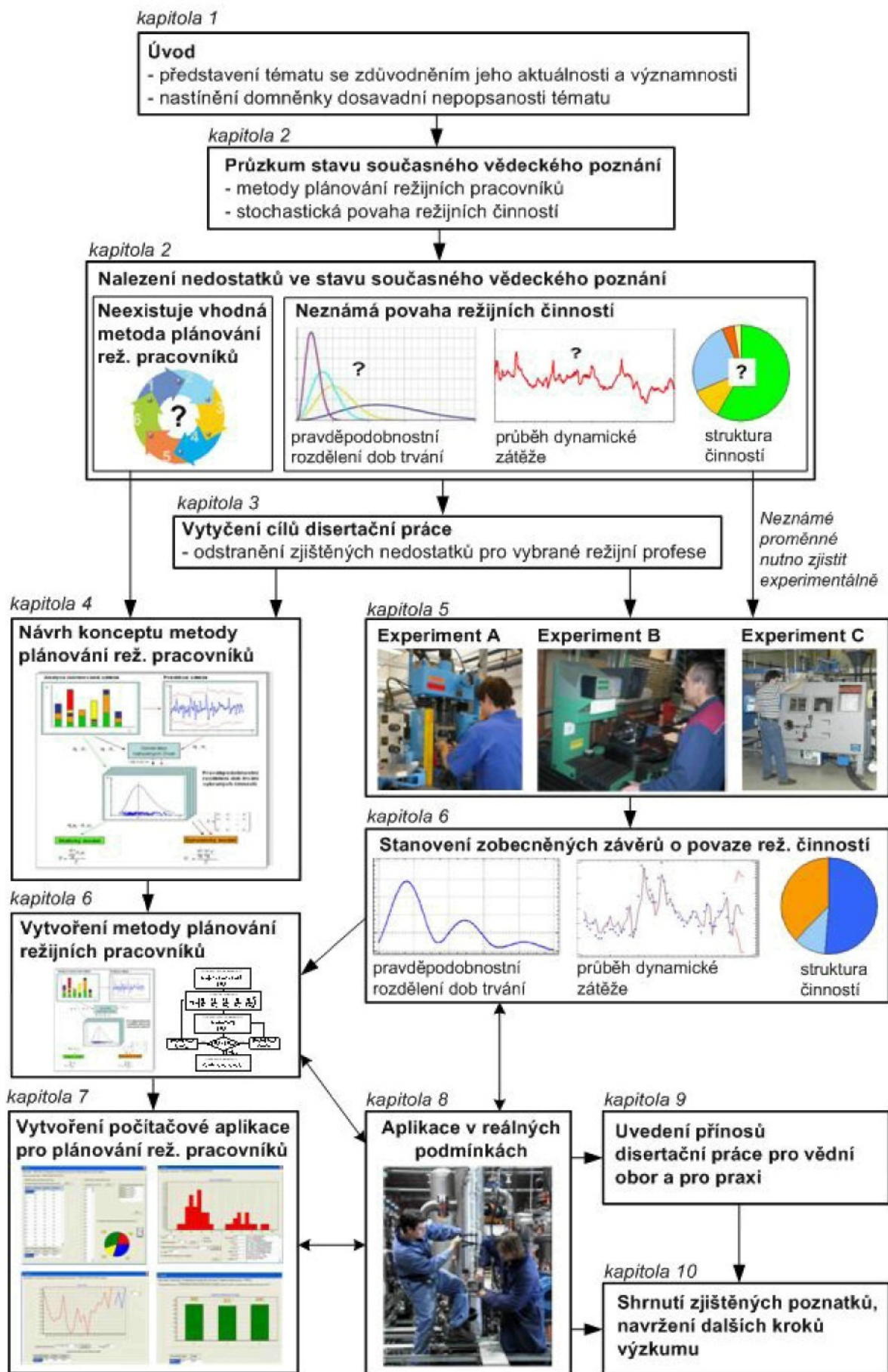


**Obr. 1.4:** Současný stav plánování pracovníků při proměnlivé zátěži podniku

Z obrázků 1.4 je patrné, že zatímco u výrobních činností jsme schopni velmi přesně stanovit potřebný počet pracovníků a jejich plánování provádět s ohledem na proměnlivou zátěž podniku, tak u režijních činností zatím dochází pouze k určitým odhadům potřebného počtu režijních pracovníků, které navíc zpravidla nezohledňují proměnlivou zátěž podniku.

Tento neuspokojivý stav plánování režijních pracovníků způsobuje podniku nezanedbatelné finanční ztráty. V případě přebytečného počtu pracovníků podnik zbytečně vynakládá finanční prostředky na mzdy pracovníků, které nepotřebuje. V opačném případě, kdy podnik nemá k dispozici dostatek režijních pracovníků může docházet k finančním ztrátám např. vlivem snížení plynulosti výroby a s ní spojený pokles produkce. Vysoká aktuálnost, významnost, ale také neprostudovanost povahy režijní práce a prozatímnní nenalezení uspokojivého způsobu plánování režijních pracovníků dává prostor k výzkumu stochastického chování režijních činností a vývoji metod plánování režijních pracovníků. Předkládaná disertační práce, která se chce stát příspěvkem k řešení této problematiky, se proto zabývá studiem povahy vybraných režijních činností a vývojem metodiky plánování vybraných skupin režijních pracovníků. Poznatky, získané v průběhu řešení tématu disertační práce, se opírají o experimenty realizované ve skutečných provozních podmínkách výrobních podniků. Struktura disertační práce je znázorněna na obr. 1.5.





Obr. 1.5 Struktura disertační práce

## 2 Stav současného vědeckého poznání

### 2.1 Metody kapacitního plánování režijních pracovníků

V současné době jsou nejčastěji používány následující metody kapacitního plánování režijních pracovníků:

- Poměrové plánování,
- Využití metod měření spotřeby práce,
- Kapacitní plánování podle zásobníku práce,
- Kapacitní plánování podle rozpočtu,
- Benchmarking,
- Počítačová simulace.

Z představených metod a provedeného rozboru bylo zjištěno, že současné metody kapacitního plánování mají stále příliš nedostatků. Jedná se především o následující:

- **Nízká přesnost** většiny metod. U metod, kde lze dosahovat vyšší přesnosti je tato výhoda kompenzována **vysokými náklady, složitostí a vysokou časovou náročností použití metody.**
- **Omezená využitelnost.**
- **Nezohlednění dynamického výskytu režijních činností.**
- **Nezohlednění stochastické povahy dob trvání režijních činností.**

### 2.2 Současné poznání o povaze režijní práce

Autorovi nejsou známi prameny, ve kterých by byly popsány zákonitosti chování časových řad zátěže, stejně tak jako ve kterých by byly popsány poznatky o tvaru pravděpodobnostních rozdělení dob trvání jakýchkoliv režijních činností. Současná neprostudovanost a nepopsanost této oblasti je pravděpodobně dána tím, že problematika kapacitního plánování režijních pracovníků začala být řešena a studována až v posledních několika letech.

V závěru rešeršní části disertační práce jsou zdůrazněny nejpodstatnější zjištění o současném stavu:

- **Současné metody kapacitního plánování režijních pracovníků neposkytují požadované výsledky.**
- **Bylo zjištěno, že současné metody nezohledňují stochastickou povahu režijních činností, která má vliv na správné stanovení potřebného počtu režijních pracovníků.**
- **V současné době nejsou zatím známy poznatky o povaze režijních činností, tedy o zákonitostech dynamického chování časových řad zátěže a o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání určitých režijních činností.**



### 3 Zaměření a cíle disertační práce

Z analýzy provedené v předchozí kapitole vyplynulo, že v současné době neexistuje dostatečně přesná metoda kapacitního plánování režijních pracovníků a nejsou k dispozici poznatky o stochasticky se chovajících režijních činnostech. Na druhé straně je nutno konstatovat, že jsou takovéto poznatky o chování režijních činností nezbytné při řešení problematiky kapacitního plánování režijních pracovníků.

Oblast režijních činností a profesí je poměrně široká, zároveň lze předpokládat, že charakter činností každé z režijních profesí může vykazovat určitou specifičnost. V rámci řešení jedné disertační práce by nebylo korektní snažit se postihnout celé spektrum režijních profesí. Pro možnost hlubšího prostudování chování určitých režijních činností byla zvolena **oblast seřizování strojů**, jakožto zástupce činností s vysoce stochastickou povahou a **oblast technické přípravy výroby**, jakožto zástupce činností z oblasti nevýrobního režie, ke které směřuje další vývoj normování a plánování práce.

Uvedené zaměření disertační práce je nutno blíže specifikovat stanovením cílů disertační práce.

#### Hlavním cílem disertační práce je:

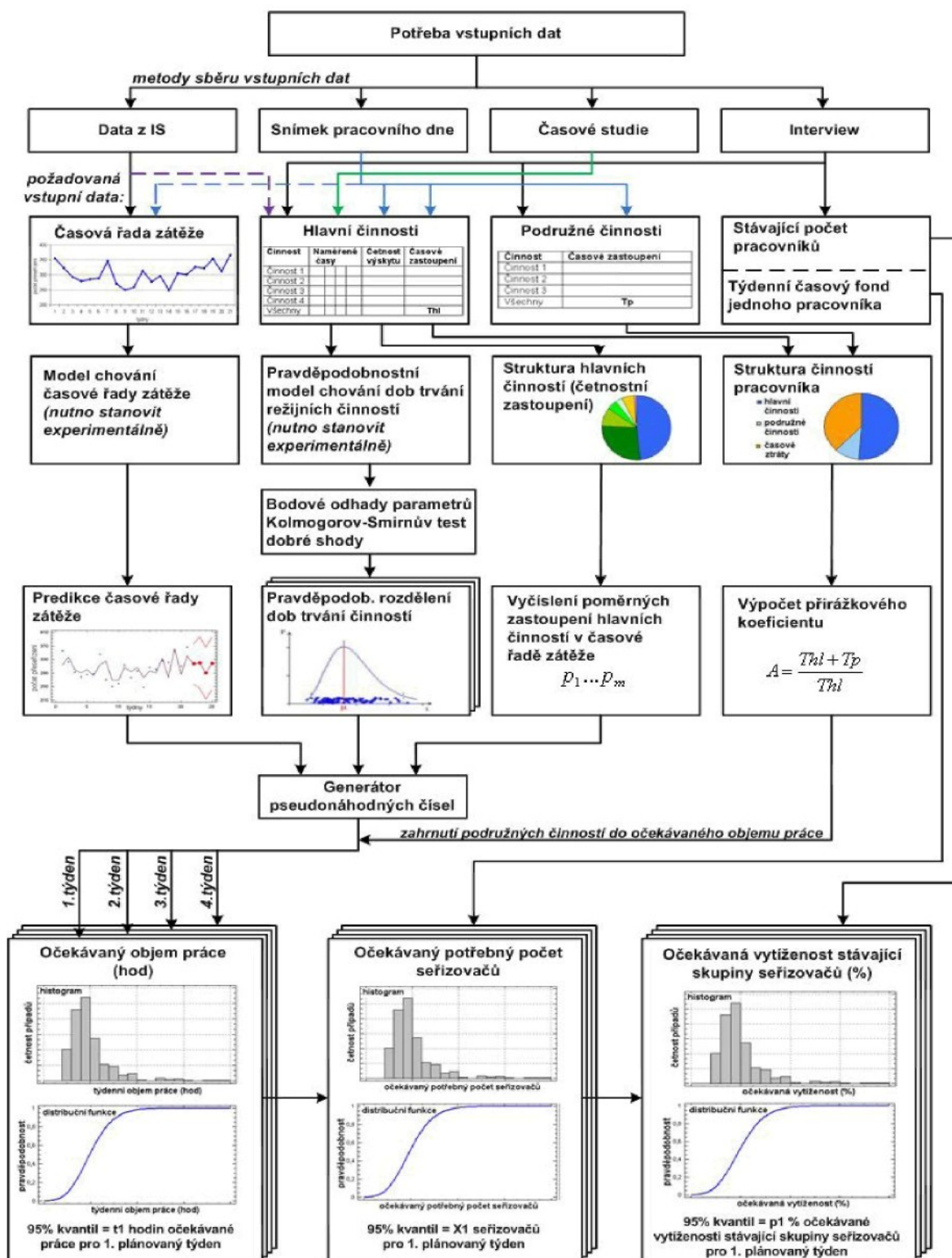
- Vyvinout metodu kapacitního plánování seřizovačů, jakožto zástupce profese vykonávající činnosti s vysoce stochastickou povahou.

#### Vedlejší cíle disertační práce jsou:

- Stanovit zobecněné závěry o pravděpodobnostních rozděleních dob trvání seřizovacích činností.
- Stanovit závěry o dynamicky se chovajících časových řadách zátěže seřizovačů.
- Vyvinout metodu kapacitního plánování technologů, jakožto zástupce profese z oblasti nevýrobních režijních profesí, ke kterým směřuje další vývoj normování a plánování práce.
- Poskytnout přehled současných metod kapacitního plánování režijních pracovníků s uvedením rozborů jednotlivých metod a uvedením vzájemného porovnání metod ve vybraných oblastech.
- Navrhnout počítačovou aplikaci pro uživatelsky snadnou aplikaci vytvořených metod kapacitního plánování.

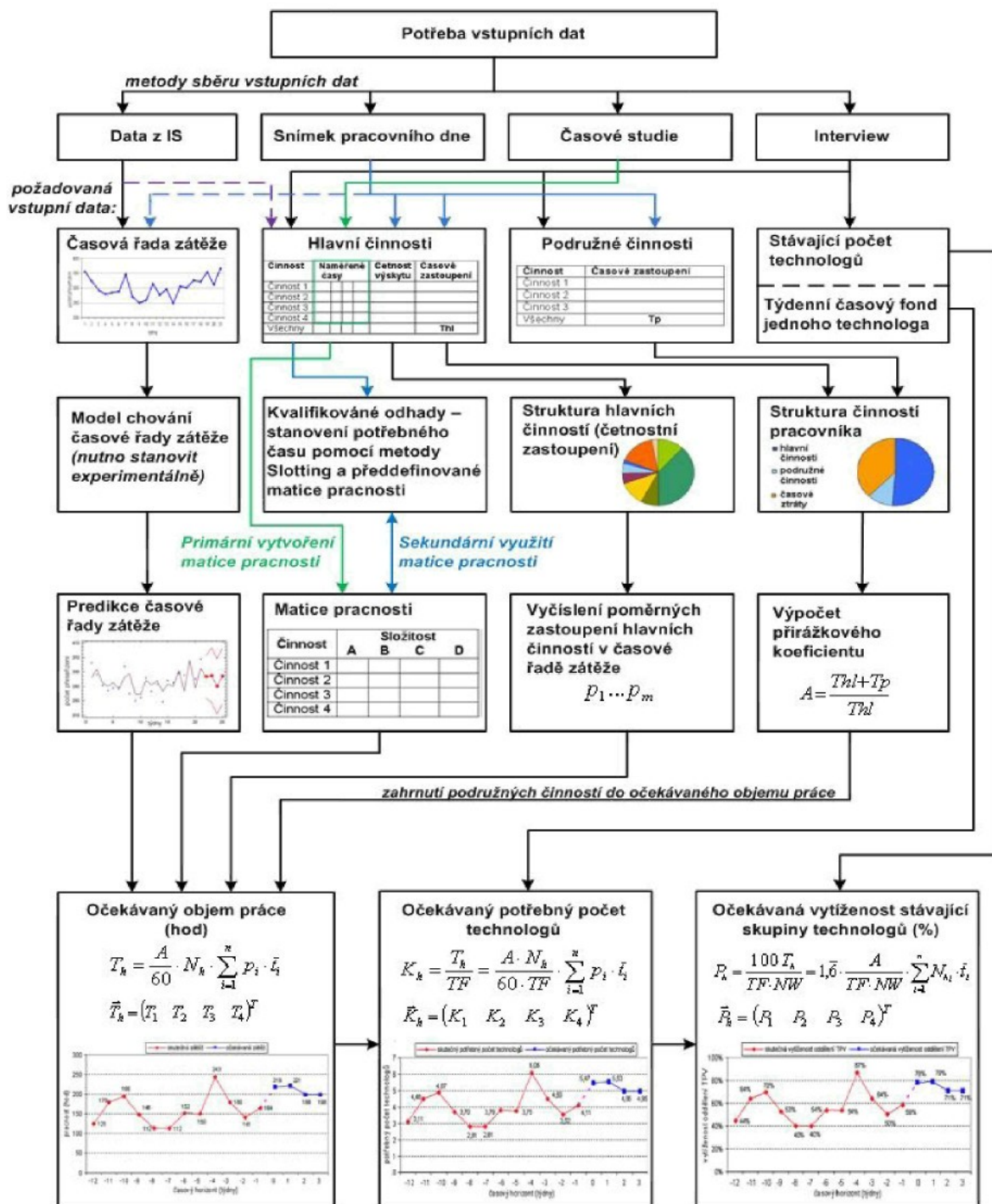
## 4 Koncept metod kapacitního plánování režijních pracovníků

Byly navrženy 2 metody kapacitního plánování. První pro plánování seřizovačů, ta zohledňuje jak dynamický průběh zátěže seřizovačů, tak stochastickou povahu dob trvání seřizovacích operací. Struktura této metody je uvedena na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Struktura metody kapacitního plánování seřizovačů využívající dynamický model

Druhá z metod je zaměřena na kapacitní plánování technologií. Tato metoda zohledňuje dynamický průběh časové řady zátěže. Časová náročnost úkolů technologií vychází ze středních dob trvání činností.



Obr. 4.2 Struktura metody kapacitního plánování využívající statický model

V navržených metodách vystupují neznámé parametry, které je nutno zjistit experimentální cestou. Jsou jimi:

- tvary pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností,
- průběh časových řad zátěže,
- struktura práce.



## 5 Experimentální část

### 5.1 Experiment A – Studie práce seřizovačů lisů

První z provedených experimentů byl zaměřen na studium práce seřizovačů (viz. obr. 5.1).

Tento experiment byl uskutečněn v podniku, ve kterém jsou vyráběny vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinutých karbidů. Pro experiment byl vybrán provoz lisovny (viz. obr. 5.2), ve kterém dochází k poměrně velkému počtu přeseřizení během směny, což je vhodné pro pořízení většího množství dat a dosažení přesnějších závěrů. V lisovně se nachází 16 lisů, které jsou obsluhovány šesti operátorkami a seřizovány čtyřmi seřizovači. Provoz na lisovně je dvousměnný.



Obr. 5.1 Proces přeseřizování lisu

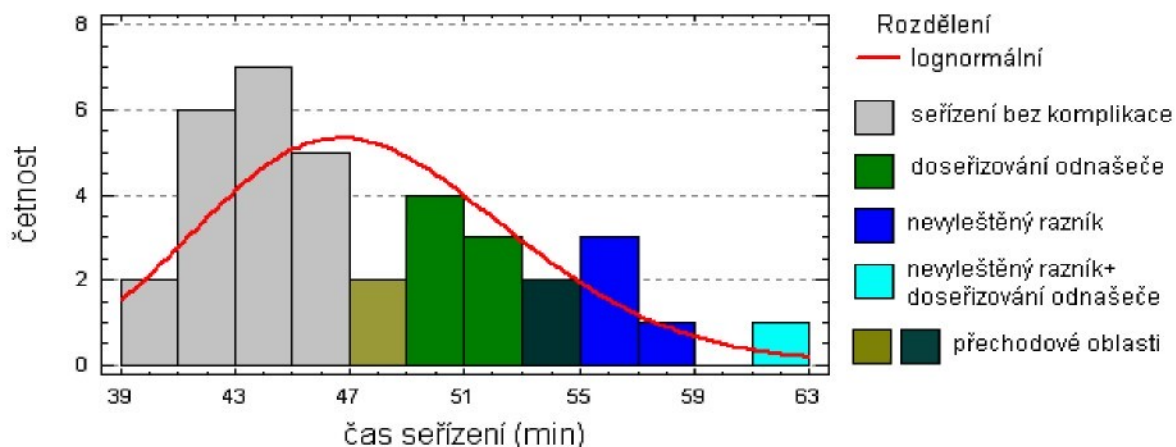


Obr. 5.2 Prostředí realizace exp. A (lisovna)

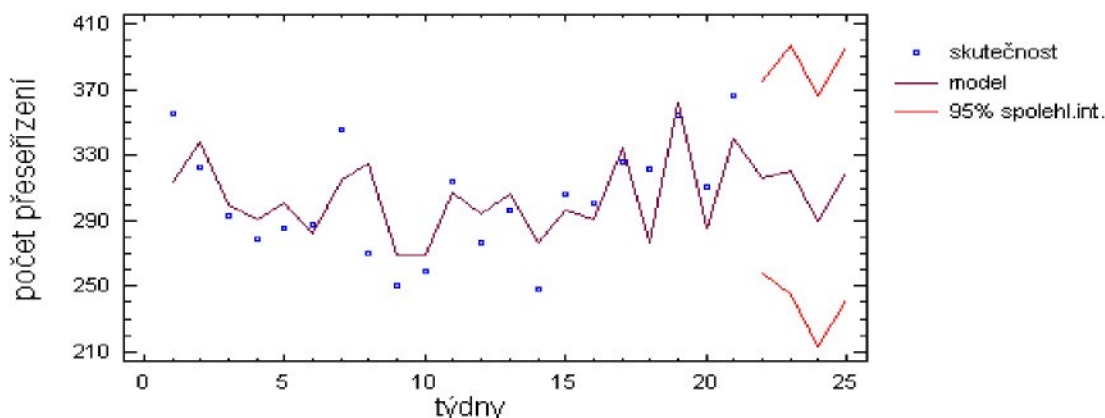
Cílem bylo získat poznatky o

- náplni a struktuře práce seřizovačů,
- tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání činností,
- průběhu časové řady zátěže seřizovačů.

Histogram dob trvání jedné ze seřizovacích činností je zachycen na obr. 5.3, na obr. 5.4 je pak zachycena časová řada zátěže seřizovačů.



Obr. 5.3 Histogram doby trvání seřizení se znázorněním nehomogenity dat



Obr. 5.4 Vysoce náhodný průběh časové řady zátěže

### Závěry z experimentu A

V průběhu provádění a vyhodnocování tohoto experimentu byly zjištěny následující hlavní poznatky o struktuře činností seřizovače, pravděpodobnostních rozděleních dob trvání činností a průběhu časových řad zátěže:

- Pro výpočet přírážkového koeficientu je vhodné vycházet ze struktury činností dle jejich opakovanosti, nikoliv ze struktury podle přidané hodnoty.
- Tvar pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností je závislý na výskytu příčin zpoždění, které způsobují dvou či více modalitu rozdělení. Nejčastěji se vyskytujícím rozdělením je lognormální rozdělení.
- Časové řady zátěže vykazují velmi vysokou stochastičnost, jejich modelování a predikce je náročná, nebo nebývá z důvodu vysoké nahodilosti doporučována.

## 5.2 Experiment B – Studie práce seřizovačů nástrojů

Druhý z provedených experimentů byl zaměřen na práci seřizovačů nástrojů pro obrábění CNC centra. Experiment byl uskutečněn v podniku, ve kterém jsou v současné době vyráběny převážně obrobky, které jsou určeny k dalšímu zpracování, případně k montáži v dalších podnicích. V daném provozu seřizování nástrojů zastával jeden seřizovač.

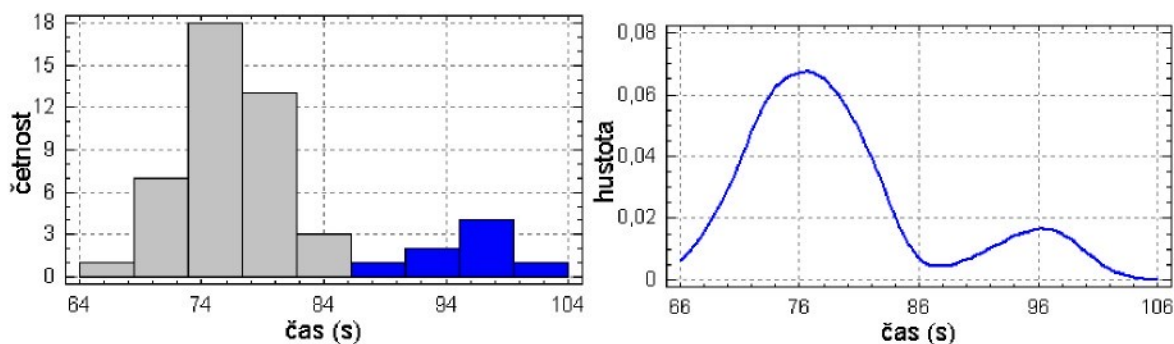


a) seřizování vyvrt. tyče na požadovaný průměr b) odměřování nulového bodu nástroje

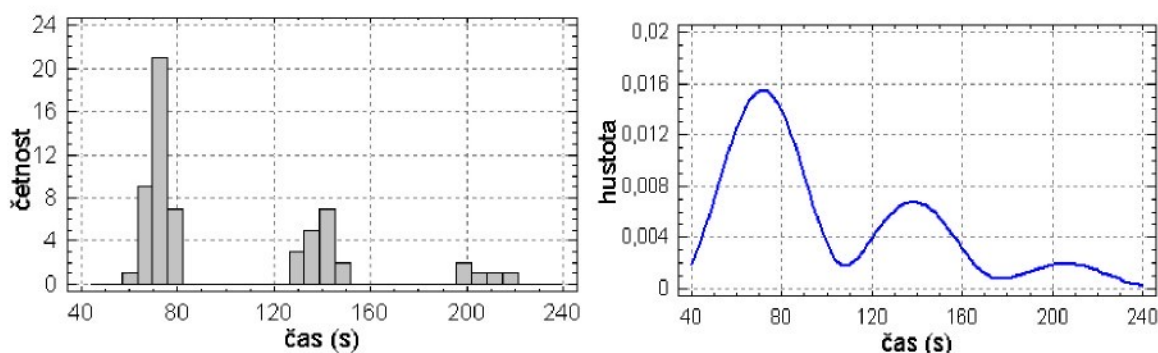
Obr. 5.5 Fáze seřizování nástroje

Cílem experimentu bylo především pořízení experimentálních náměrů dob trvání typových seřizovacích činností. Ukázka histogramů a křivek hustoty výskytu časových náměrů pro dvě různé seřizovací činnosti jsou uvedeny na obr. 5.6 a 5.7.





Obr. 5.6 Doba trvání odměření nulového bodu vrtáku



Obr. 5.7 Doba trvání nastavení požadovaného úhlu VBD na vyvrtávací tyči

### Závěry z experimentu B

- Doby trvání sestavování nástrojů vykazují normalitu a lze je aproximovat normálním rozdělením.
- Tvar pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování nástrojů je závislý na výskytu příčin zpoždění, které způsobují dvou či více modalitu rozdělení.
- Vliv na tvar pravděpodobnostního rozdělení dob trvání seřizování nástrojů má také možnost opětovného výskytu zpoždění.

## 5.3 Experiment C – Studie práce technologů

Další z provedených experimentů byl zaměřen na práci technologů v oddělení technické přípravy výroby (TPV). V průběhu provádění a vyhodnocování tohoto experimentu byly zjištěny následující hlavní poznatky o práci, struktuře činností a charakteru časových řad zátěže technologů.

- Z hlediska přidáné hodnoty technolog stráví 58% časového fondu vykonáváním VA činností (příprava technologického postupu, tvorba programu pro CNC centra atp.), 25% časového fondu stráví technolog ve výrobě, kde dokončuje programy, či provádí operativní činnosti, 11% časového fondu technologa tvoří podpůrné administrativní činnosti a zbývajících 6% připadá na časové ztráty.
- Z hlediska skladby činností technolog vykonává především tvorbu nabídek a přípravu nových výrob. Tyto dvě hlavní činnosti jsou v časovém fondu technologa zastoupeny 72 %.
- Byly analyzovány dvě časové řady zátěže. Časová řada tvorby nabídek vykazovala vysokou náhodnost blízkou bílému šumu. Časová řada přípravy nových výrob nevykazovala vysokou náhodnost, její průběh bylo možné aproximovat modelem ARIMA (0,0,2).

## 6 Zobecnění zjištěných specifík režijních činností

### 6.1 Pravděpodobnostní rozdělení dob trvání seřizovacích operací

Bylo zjištěno, že nejvýraznější vliv na tvar pravděpodobnostního rozdělení má výskyt příčin zpoždění, které mohou být způsobeny buď závadou na strojním zařízení, nebo lidským faktorem.

Z hlediska četnosti výskytu příčin zpoždění se v oblasti seřizování strojů nejčastěji setkáváme s případy:

- bez výskytu příčiny zpoždění,
- výskyt jedné příčiny zpoždění bez možnosti jejího opětovného výskytu,
- výskyt jedné příčiny zpoždění s možností jejího opětovného výskytu,
- výskyt dvou příčin zpoždění bez možnosti jejich opětovného výskytu,
- výskyt dvou příčin zpoždění s možností jejich opětovného výskytu,
- výskyt vyššího příčin zpoždění.

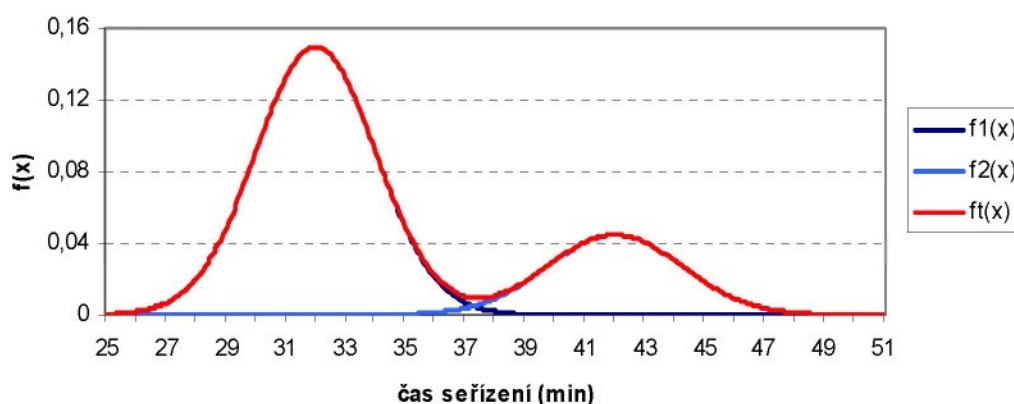
Jak bylo řečeno, výskyt příčin zpoždění má přímý vliv na stupeň vícemodality rozdělení, proto budou dále rozlišovány následující typy rozdělení:

- jednomodální,
- dvoumodální, (obr. 6.1, předpis funkce hustoty pravděpodobnosti (6.1)),
- třimodální, (obr. 6.2, předpis funkce hustoty pravděpodobnosti (6.2)),
- směsi vyššího počtu dílčích rozdělení, (obr. 6.3., předpis (6.3)).

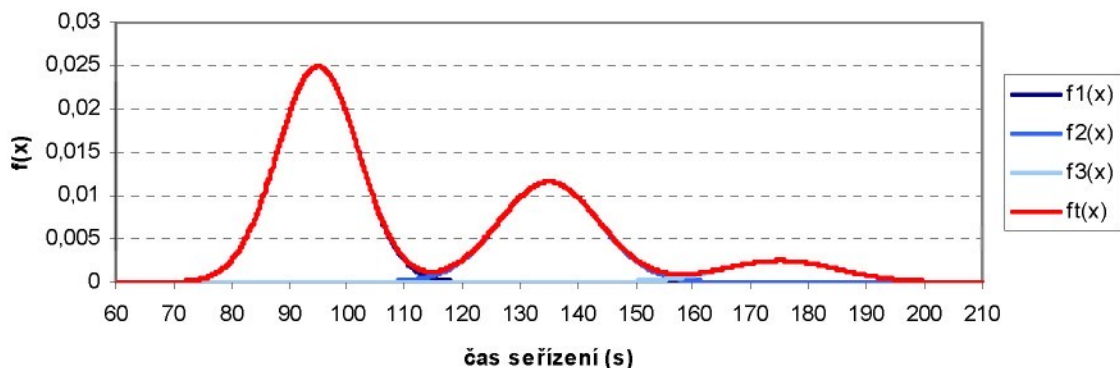
$$f_T(x) = (1-p) \cdot f_1(x) + p \cdot f_2(x) = \frac{1-p}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2} + \frac{p}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2} \quad (6.1)$$

$$f_T(x) = \frac{(1-p_2-p_3)}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2} + \frac{p_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2} + \frac{p_3}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_3}{\sigma_3} \right)^2} \quad (6.2)$$

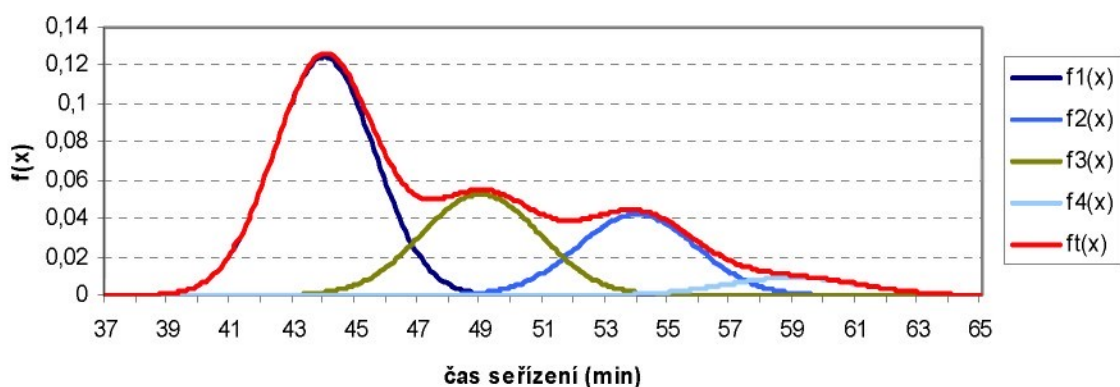
$$f_T(x) = \frac{(1-p_2-p_3-p_4)}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2} + \frac{p_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2} + \frac{p_3}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_3}{\sigma_3} \right)^2} + \frac{p_4}{\sigma_4 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu_4}{\sigma_4} \right)^2} \quad (6.3)$$



**Obr. 6.1** Dvoumodální rozdělení – směs dvou normálních rozdělení

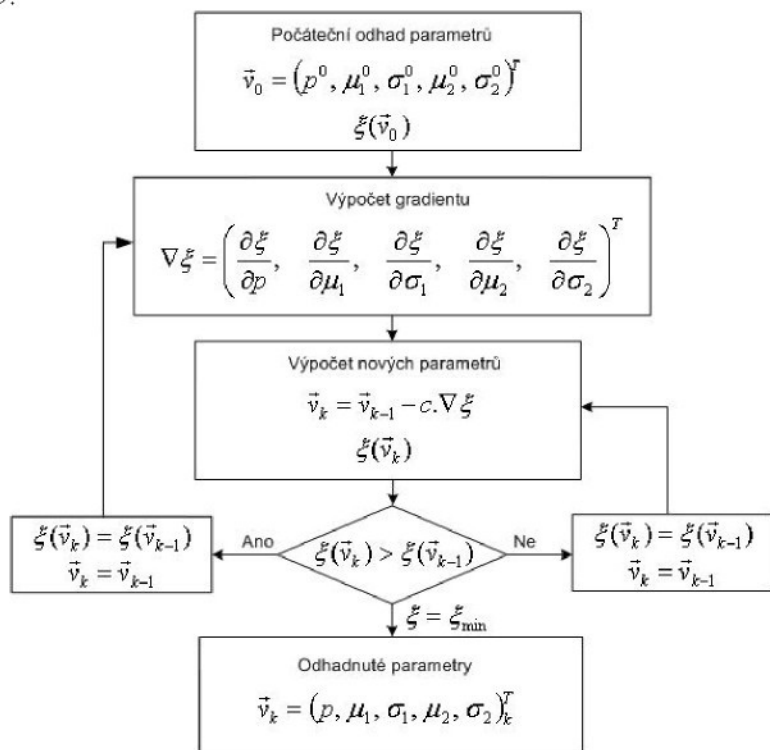


**Obr. 6.2** Třimodální rozdělení – směs tří normálních rozdělení



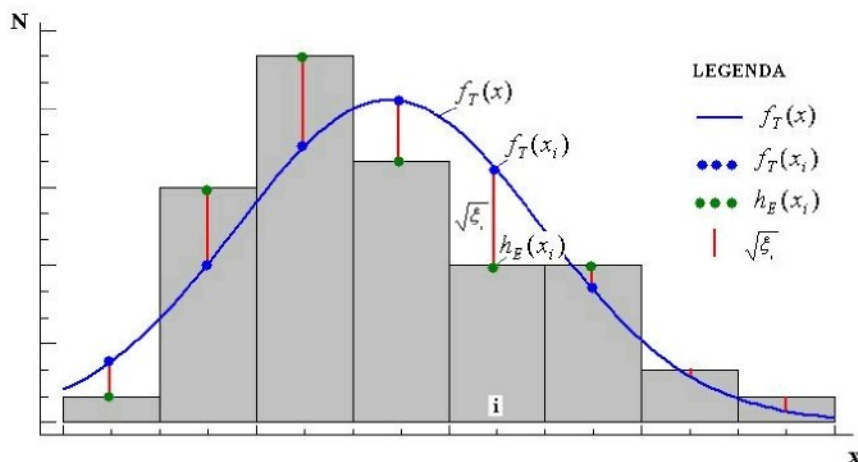
**Obr. 6.3** Směs čtyř dílčích rozdělení při výskytu dvou příčin zpoždění

Parametry funkcí hustot pravděpodobnosti vícemodálních rozdělení byly počítány numericky pomocí algoritmu, viz. obr. 6.4, kde je význam kvadratické odchylky vysvětlen pomocí obr. 6.5.



**Obr. 6.4** Algoritmus výpočtu pomocí numerické optimalizační metody





Obr. 6.5 Znáznornění významu argumentů kvadratické odchylky

## 6.2 Struktura práce seřizovačů a technologů

Z provedených experimentů byly zjištěny určité zákonitosti o struktuře činností seřizovačů, tyto zákonitosti byli dále doplněny při provádění ozkoušení navržené metody. Zobecněné závěry o struktuře činností seřizovačů lze popsat následujícími body:

- VA a NVA činnosti se v pracovní náplni seřizovače značně prolínají. Tyto činnosti není vhodné oddělovat. Výpočet přírážkového koeficientu není vhodný provádět na základě struktury práce podle přidané hodnoty.
- Vyšší vypovídací hodnotu pro kapacitní plánování má struktura práce podle opakovanosti činností. Činnosti je vhodné rozdělit na hlavní (vysoce opakované) a podružné (středně a nízce opakované). Přírážkový koeficient je vhodné počítat ze struktury práce podle opakovanosti.
- Vytíženost seřizovačů na nočních směnách dosahuje přibližně 80% vytíženosti seřizovačů na denních směnách.
- Zjištěná struktura práce technologů ukazuje, že podíl VA činností prováděných v kanceláři činí přibližně 60%, podpůrné administrativní činnosti mají v časovém fondu seřizovače zastoupení přibližně 10%, čas strávený ve výrobě 25% a ztráty a nevytíženost se pohybují okolo 5%.

### O časových řadách zátěže seřizovačů lze tedy konstatovat následující:

- Časové řady zátěže seřizovačů mají vysoce stochastický průběh.
- Modelování vysoce stochastických časových řad zátěže seřizovačů je značně problematické.
- Predikce časových řad zátěže seřizovačů není vhodná z důvodu získání nedůvěryhodných výsledků predikce.
- Časové řady vykazují roční sezónnost v době letní celozávodní dovolené.
- Časové řady vykazují velmi mírný stoupající trend.

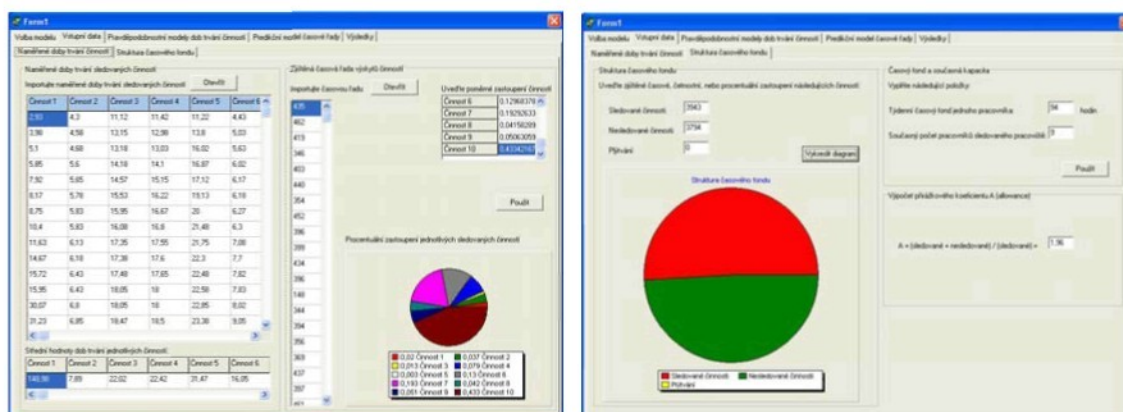
Poznatky o chování časových řad zátěže režijních pracovníků uzavřeme níže uvedeným zjištěním.

**Z 5-ti analyzovaných časových řad zátěže režijních pracovníků, vykazovaly 4 řady vysoce stochastický průběh typický pro tzv. náhodnou procházku (*Random Walk*), jejíž další průběh nelze s požadovanou jistotou predikovat.**

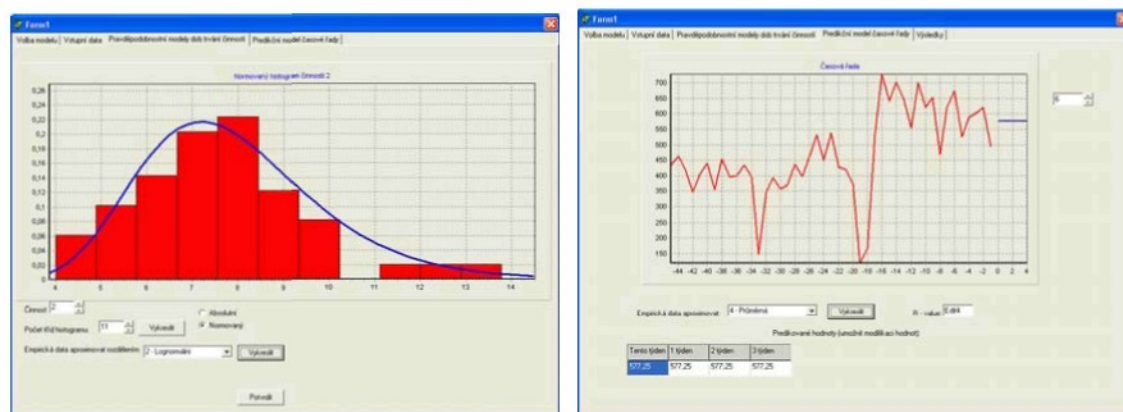
## 7 Počítačová aplikace pro kapacitní plánování režijních pracovníků

Pro možnost snadného praktického využití navržených kapacitních výpočtů byla vytvořena počítačová aplikace (viz. obr. 7.1, 7.2, 7.3), která uživateli umožňuje snadno provádět kapacitní výpočty bez požadavků na uživatelskou znalost teoretického matematického pozadí kapacitních modelů.

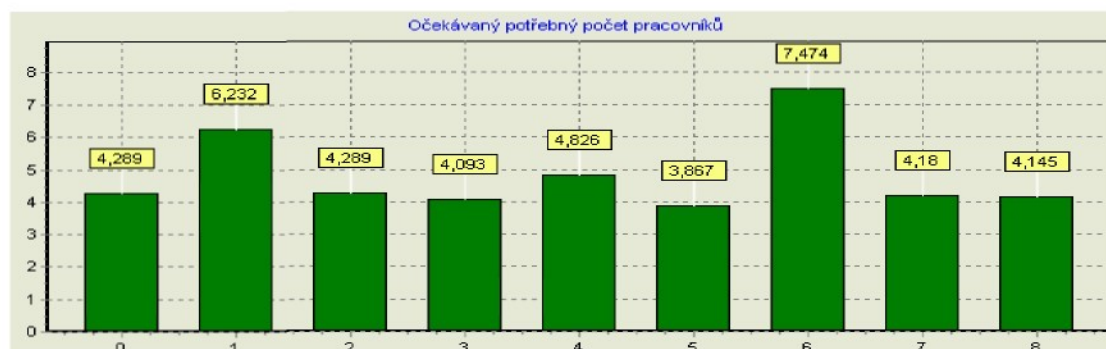
Tato aplikace byla vytvořena v jazyce Object Pascal v integrovaném grafickém vývojovém prostředí Delphi. Aplikace je spustitelná v OS Windows jako exe soubor a není tak závislá na dalších komerčních softwarech.



Obr. 7.1 Zadávání vstupních dat



Obr. 7.2 Aproximace experimentálních dat



Obr. 7.3 Výstup kapacitního výpočtu – očekávaný potřebný počet pracovníků (vzorek), či 95% kvantil



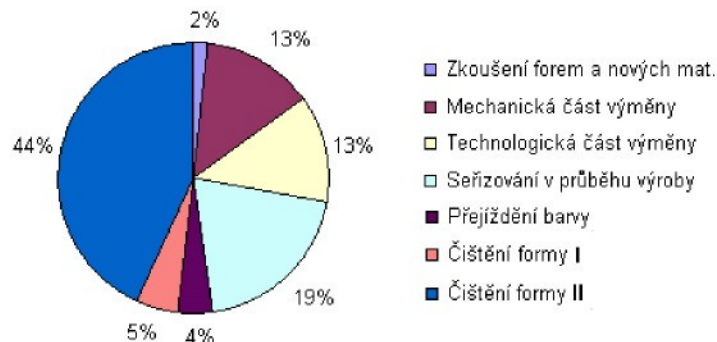
## 8 Aplikace vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů v reálných podmínkách

Ozkoušení vytvořené metody proběhlo ve strojírenském podniku, který se zabývá výrobou plastových dílů pro automobilový průmysl. Prostředím aplikace metody byla vstříkolisovna s 28 vstříkolisy. Seřizovači vstříkolisů v tomto podniku pracují ve dvou 12-ti hodinových směnách, přičemž na denní i noční směně pracuje zpravidla 9 seřizovačů. Byl proveden sběr dat, zpracování dat, kapacitní výpočet a interpretace výsledků.

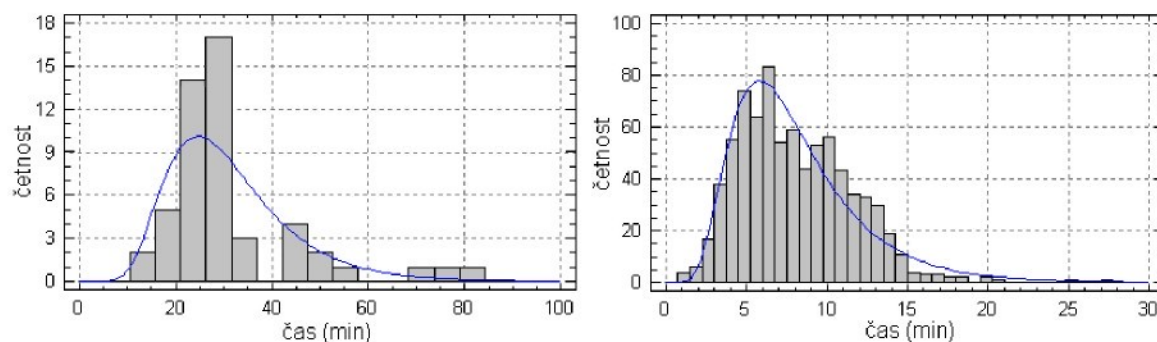
### Sběr vstupních dat

**Tab. 8.1** Fáze sběru potřebných vstupních dat

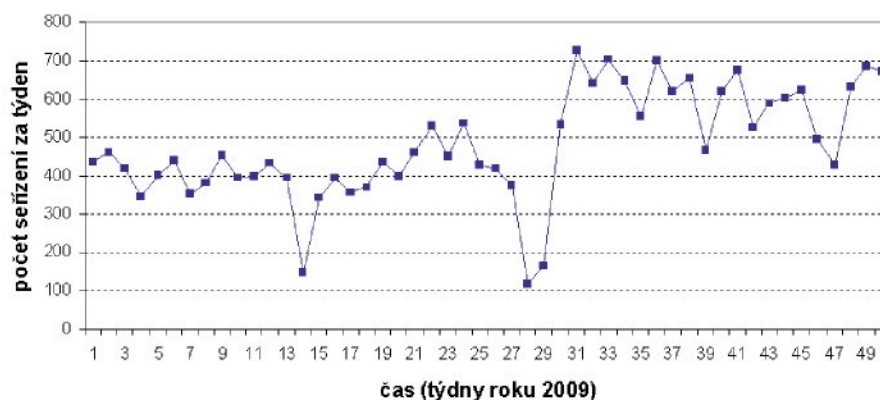
| Metoda sběru dat                              | Vstupní proměnné                                                                                                                                                                                                                         | Čas     |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Interview s technologem a hlavním seřizovačem | <ul style="list-style-type: none"> <li>počet seřizovačů</li> <li>časový fond seřizovače</li> <li>seznam hlavních a podružných činností</li> <li>možné příčiny zpoždění</li> </ul>                                                        | 1 hod   |
| Snímkování pracovního dne skupiny seřizovačů  | <ul style="list-style-type: none"> <li>časového zastoupení hlavních a podružných činností</li> <li>doby trvání hlavních činností</li> <li>možné příčiny zpoždění</li> <li>četnostní zastoupení jednotlivých hlavních činností</li> </ul> | 3 dny   |
| Data z IS                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>časová řada zátěže</li> <li>reakční doba</li> <li>(doby trvání některých hlavních činností)</li> <li>(doba seřizování na denních a nočních směnách)</li> </ul>                                    | 0,5 hod |



**Obr. 8.1** Četnostní zastoupení hlavních činností



**Obr. 8.2** Histogramy dob trvání některých hlavních seřizovacích činností s aproximací lognormálním rozdělením



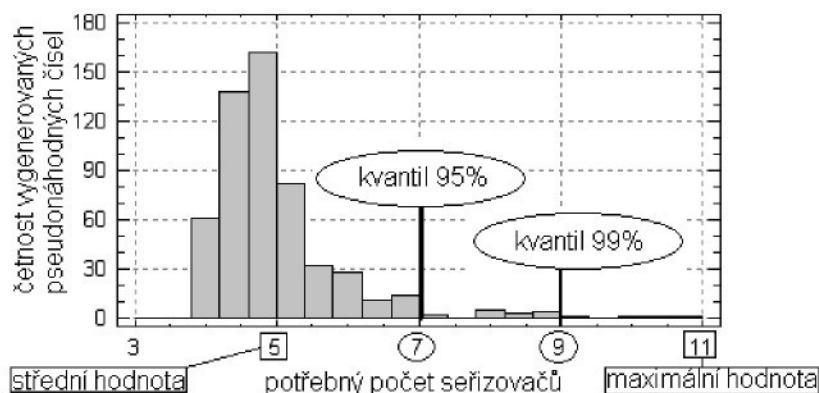
**Obr. 8.3** Časová řada zátěže seřizovačů (výskyt hlavních činností)

### Kapacitní výpočet

Výše popsaná vstupní data byla importována do vytvořené počítačové aplikace. Provedení celého výpočtu, počínaje nahráním vstupních dat, po získání výsledků trvala cca 2 minuty.

### Výsledky kapacitního výpočtu

Histogram na obr. 8.7a zachycuje potřebné počty seřizovačů na denních směnách. Z tab.8.3 je patrné, že při počtu 7-mi seřizovačů bude s 96,7% pravděpodobností splněna zadaná práce, při počtu 8-mi seřizovačů to bude splněno s pravděpodobností 97,5% a při počtu 9-ti seřizovačů s pravděpodobností 99,3%.



**Obr. 8.4** Histogram potřebného počtu seřizovačů na denních směnách

### Zhodnocení aplikovatelnosti vytvořené metody

Aplikace vytvořené metody kapacitního plánování seřizovačů v reálných podmínkách výrobního podniku přináší zjištění, že je navržená metoda snadno aplikovatelná, lze s její pomocí a pomocí navržené počítačové aplikace poměrně snadno a rychle stanovit potřebný počet seřizovačů.

Uvedené konstatování se vztahuje k tomuto konkrétnímu provedení ozkoušení navržené metody. Pro zobecnění závěrů aplikovatelnosti navržené metody pro libovolný výrobní provoz by bylo potřeba provést větší množství ozkoušení v různých podnicích, které je poměrně těžko proveditelné. Nicméně, vezmeme-li daný provoz za výběrový vzorek, ukazuje se být navržená metoda snadno aplikovatelná.

## 9 Přínosy disertační práce

V průběhu řešení disertační práce byly zjištěny poznatky a vytvořeny vlastní závěry, které jsou přínosem jak pro vědní obor, tak pro praxi. V této podkapitole budou uvedeny hlavní přínosy předkládané disertační práce.

### 9.1 Přínosy pro vědní obor

Přínosy disertační práce pro vědní obor lze shrnout do následujících bodů:

- Byla vytvořena metoda kapacitního plánování seřizovačů, která zohledňuje jak dynamický průběh časových řad zátěže seřizovačů, tak i stochastickou povahu dob trvání seřizování.
- Byly stanoveny zobecněné závěry o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizování.
- Byla vytvořena typologie seřizovacích činností, která je založena na možnosti výskytu příčin zpoždění dokončení seřízení.
- Byly stanoveny zobecněné závěry o chování časových řad zátěže seřizovačů.
- Byly stanoveny zobecněné závěry o struktuře pracovních činností seřizovačů.
- Byla vytvořena metoda kapacitního plánování technologů.
- Byl popsán numerický algoritmus výpočtu parametrů funkce hustoty pravděpodobnosti dvoumodálního rozdělení dob trvání režijních činností. Tento algoritmus byl zobecněn i pro vyšší počet dílčích rozdělení.
- Práce poskytuje ucelený přehled o současných metodách kapacitního plánování režijních pracovníků, včetně uvedení kritického zhodnocení současných metod a současného stavu vědeckého poznání v oblasti kapacitního plánování režijních pracovníků.

### 9.2 Přínosy pro praxi

Přínosy disertační práce pro praxi lze shrnout do následujících bodů:

- Byly vytvořeny metody pro stanovení potřebného počtu seřizovačů a technologů.
- Byla vytvořena počítačová aplikace pro uživatelsky snadný výpočet potřebného počtu seřizovačů a technologů.
- Byly stanoveny a kvantifikovány závěry o rozdílném vytižení seřizovačů na denních a nočních směnách.
- Bylo zformulováno doporučení pro zadávání nezkreslených vstupních dat do systémů počítačové simulace.
- Dosažení vyšší produktivity.
- Ekonomický přínos v podobě optimalizace nákladů na režijní pracovníky.

## 10 Závěr a návrh dalšího postupu

Disertační práce, zaměřená na problematiku plánování režijních činností ve výrobních systémech s užším zaměřením na kapacitní plánování seřizovačů, jakožto zástupce profese vykonávající činnosti s vysoce stochastickou povahou, přinesla jak soubor poznatků o stávající úrovni kapacitního plánování režijních pracovníků, tak především příspěvek k metodice kapacitního plánování, zohledňujícího stochastickou povahu režijních činností a příspěvek k stanovení zobecněných závěrů o chování vybraných režijních činností.

### Hlavní závěry předložené práce lze shrnout následovně:

1. Současné metody kapacitního plánování režijních pracovníků neposkytují požadované výsledky. Jejich nedostatky spočívají především v nízké přesnosti kapacitního výpočtu a omezené využitelnosti. U metod, kde lze dosahovat vyšší přesnosti je tato výhoda kompenzována vysokými náklady, složitostí a vysokou časovou náročností aplikace metody.
2. Současné metody kapacitního plánování nezohledňují stochastickou povahu režijních činností, která má výrazný vliv na správné stanovení potřebného počtu režijních pracovníků.
3. Autorovi nejsou známy prameny, ve kterých by byly uvedeny poznatky o povaze režijních činností, tedy o zákonitostech dynamického chování časových řad zátěže a o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností.
4. Byly navrženy 2 metody kapacitního plánování. První z metod je určena pro kapacitní plánování seřizovačů. Tato metoda zohledňuje stochastickou povahu doby trvání seřizovacích činností i dynamický průběh časové řady zátěže seřizovačů. Druhá z metod je určena pro kapacitní plánování technologů, vychází ze středních hodnot dob trvání činností a zohledňuje dynamický průběh časové řady zátěže technologů. Vzhledem k dosud zřejmě nepopsaným zákonitostem o tvarech pravděpodobnostních rozdělení dob trvání režijních činností a o dynamickém průběhu zátěže režijních pracovníků, bylo nutno zjistit tyto neznámé parametry experimentální cestou.
5. V reálných provozních podmínkách výrobních podniků byly provedeny dva experimenty zaměřené na studium práce seřizovačů a jeden experiment zaměřený na studium práce technologů.
6. Snímky pracovního dne seřizovačů ukazují na vysokou míru prolínání činností VA a NVA. Výpočet přírážkového koeficientu pro zahrnutí podružných činností do objemu práce je proto vhodné stanovit na základě struktury činností podle frekvence jejich výskytu.
7. Provedené experimenty ukazují, že vytíženost seřizovačů na nočních směnách tvoří přibližně 80% vytíženosti seřizovačů na denních směnách.
8. Z provedených experimentů bylo zjištěno, že nevytíženost a ztráty jsou ve struktuře časového fondu seřizovačů zastoupeny přibližně 30%.
9. Z provedených experimentů bylo zjištěno, že tvar pravděpodobnostních rozdělení dob trvání seřizovacích činností je závislý na výskytu příčin zpoždění, které způsobují dvou či více modalitu rozdělení. Výskyt jedné příčiny zpoždění má za následek dvou modální rozdělení dat. Výskyt dvou příčin zpoždění vede k vytvoření směsi více rozdělení, které je vhodné aproximovat lognormálním rozdělením.
10. Z provedených experimentů bylo zjištěno, že nejčastěji se vyskytujícím pravděpodobnostním rozdělením dob trvání seřizovacích činností je lognormální

- rozdělení, dále je to dvoumodální rozdělení tvořené směsí dvou normálních rozdělení, třímódní rozdělení a normální rozdělení.
11. Parametry vícemodální funkce hustoty pravděpodobnosti bylo nutno vypočítat numericky. Pro nalezení parametrů dvoumodální funkce hustoty pravděpodobnosti, tvořené směsí dvou normálních rozdělení, byl odvozen výpočetní algoritmus. Ten byl zobecněn také pro tří a vícemodální funkce.
  12. Pro odhalení přítomnosti příčiny zpoždění a nehomogenity časových náměrů dob trvání je vhodné volit podstatně vyšší počet tříd histogramu, než jaký je volen pomocí konvenčních pravidel, jakým je např. Sturgesovo pravidlo. Experimentálním způsobem bylo zjištěno, že dostatečným počtem tříd histogramu pro odhalení vícemodality dostatečně četného výběrového souboru je přibližně dvojnásobek počtu tříd histogramu stanoveného podle Sturgesova pravidla, tedy přibližně  $k = 2 + 7 \cdot \log_{10} n$ . Z toho důvodu doporučuji při zadávání histogramu dob trvání režijních činností do simulačního software využít vytvořeného pravidla.
  13. Časové řady zátěže seřizovačů vykazují velmi vysokou stochastičnost, jejich modelování a predikce je náročná, nebo nebývá z důvodu vysoké nahodilosti doporučována.
  14. Z pěti analyzovaných časových řad zátěže režijních pracovníků, vykazovaly 4 řady vysoce stochastický průběh typický pro tzv. náhodnou procházku (*Random Walk*), jejíž další průběh nelze s požadovanou jistotou predikovat.
  15. Při kapacitním plánování zohledňujícím stochastickou povahu dob trvání režijních činností je výstupem výpočtu pravděpodobnostní rozdělení potřebného počtu pracovníků. Vhodným vyjádřením je využití frekvenční tabulky vygenerovaných pseudonáhodných čísel, pomocí které lze na základě zvoleného kvantilu stanovit potřebný počet pracovníků. Tento systém plánování tedy umožňuje flexibilněji reagovat na kapacitní požadavky pracoviště.
  16. Pro možnost snadného praktického využití navržených kapacitních výpočtů a algoritmů byla vytvořena počítačová aplikace, která uživateli umožňuje snadno provádět kapacitní výpočty bez požadavků na uživatelskou znalost teoretického matematicko statistického pozadí kapacitních modelů.
  17. Navržená metoda kapacitního plánování seřizovačů byla ozkoušena v reálných podmínkách výrobního podniku. Ozkoušení potvrdilo aplikovatelnost navržené metody v daném provozu, jak ve fázi sběru vstupních dat, tak ve využití zobecněných předpokladů o povaze práce seřizovačů.

**Uvedený přehled zjištěných poznatků dokládá, že všechny stanovené cíle disertační práce byly postupně naplněny.**

Další výzkumná práce nyní směřuje k hledání zákonitostí v chování činností u dalších režijních profesí. Velmi aktuální oblastí se ukazuje být oblast údržby strojních zařízení, pro kterou lze rovněž předpokládat značně stochastický charakter práce, který je dán mimo jiné tím, že do doby trvání zde vstupuje obtížně predikovatelná doba diagnostiky požadované činnosti, či poruchy. Předmětem zájmu bude také vylepšení navržené počítačové aplikace.



## Literatura

- [1] AFT, L. S.: *Work Measurement & Methods Improvement*. John Wiley & Sons, Inc., 2000. ISBN 0471370894
- [2] ARLT, J.; ARLTOVÁ M.: *Ekonomické časové řady - Vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace*. Praha: Grada Publishing, 2007. s.288. ISBN 80-247-1319-9
- [3] ARLT, J.; ARLTOVÁ M.: *Finanční časové řady - Vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace*. Praha: Grada Publishing, 2003. s.220. ISBN 80-247-0330-0
- [4] AUSTIN, E. A.: *Managing the Backlog*. IIE Solutions, Feb99, Vol. 31 Issue 2, p36, 4p, 8 diagrams, (AN 1561241)
- [5] BAUER, J. a kol.: *Metodika normování práce*. Praha: TÚSTE Praha, 1972.
- [6] BEER, C. F.; SWANEPOEL, J. W. H.: *Simple and effective number-of-bins circumference selectors for a histogram*. In: *Statistics and Computing*, (1999) 9, p.27-35. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/h1qjh6515n51630v/fulltext.pdf>>
- [7] *Benchmarking*. Businessinfo.cz. Oficiální portál pro podnikání a export. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <<http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/male-a-stredni-podnikani/benchmarking/1000503/38490/>>
- [8] *Benchmarkingový cyklus*. Vzdělávací centrum pro veřejnou zprávu ČR, o.p.s., Benchmarkingová Iniciativa. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.benchmarking.vcvscr.cz/index.php?p\\_menu=obench&hl\\_sloupec=benchmarking&detail=cyklus](http://www.benchmarking.vcvscr.cz/index.php?p_menu=obench&hl_sloupec=benchmarking&detail=cyklus)>
- [9] *Benchmarking – Časté otázky*. Česká společnost pro jakost. [online] [cit. 05/2008] Dostupné z: <<http://www.benchmarking.cz/faq.asp>>
- [10] BLAGOVESHCHENSKII, Y. N.: *Multivariate T-Normal Distribution in Applied Statistics*. In: *Journal of Mathematical Sciences*, vol. 103, nr. 5. New York: Springer, 02/2001. p.556-567. ISSN 1072-3374
- [11] BRACKEN, D. W.: *Benchmarking Employee Attitudes*. Training & Development, Jun92, Vol. 46 Issue 6, p49
- [12] BROWN, M. V.: *Managing Maintenance Planing & Scheduling*. USA: Wiley Publishing, Inc., 2004. p. 275. ISBN 0-7645-5765-3
- [13] CARSON, Y.; MARIA, A.: *Simulation Optimalization: Mathods and Applications*. In: *Winter Simulation Conference*. New York: State University of New York, 1997. p.118-126. ISBN 0-7803-4278-X
- [14] CIPRA, T.: *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. Praha: SNTL 1986.
- [15] CYHELSKÝ, L.; KAHOUNOVÁ, J.; HINDLS, R.: *Elementární statistická analýza*.

- Praha: Management press, 2001. 2.vydání, s.318. ISBN 80-7261-003-1
- [16] CHALOUPKA, J.: *Rozpoznávání akustického signálu řeči s podporou vizuální informace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, FM, 2005. [disertační práce]
- [17] CHARBONNEAU, M.: *Production Benchmarks for Catalogers in Academic Libraries*. Library Resources & Technical Services, Jan2005, Vol. 49 Issue 1, p40-48
- [18] CHROMJAKOVÁ, F.: *Momentkové pozorovanie*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=127](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=127)>
- [19] *Digitální podnik*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.catia.cz/DELMIA.8.0.html>>
- [20] *Dynamical histogram*. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.stat.sc.edu/~west/javahtml/Histogram.html>>
- [21] DRUCKER, P. F.: *Výzvy managementu pro 21.století*. 1.vyd. Praha: Management press, 2000. ISBN 80-7261-021-X
- [22] *Easy Random Number Generator 8.5*. [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.brothersoft.com/easy-random-number-generator-247515.html>>
- [23] FABIAN, F.; KLUIBER, Z.: *Metoda Monte Carlo a možnosti jejího uplatnění*. 1.vyd. Praha: Prospektum, 1998. s.152 ISBN 80-7175-058-1
- [24] FINCH, D.: *Backlog Management - a Start in Managing Maintenance! Lifetime Reliability*, Perth, Western Australia 2003, [online] [cit.12/2008] Dostupné z: <[http://www.lifetime-reliability.com/maintenance\\_backlog\\_management.html](http://www.lifetime-reliability.com/maintenance_backlog_management.html)>
- [25] FORD, D. J.: *Benchmarking HRD*. Training & Develop., Jun93, Vol. 47 Issue 6, p36
- [26] FREEDMAN, D.; DIACONIS, P.: *On the Histogram as a Density Estimator: L2 Theory*. In.: Zeitschrift Wahrscheinlichkeitstheorie verw. Gebiete 57, (453-476) 1981. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/mp364022824748n3/fulltext.pdf>>
- [27] FRIEDEL, L.: *O Benchmarkingu*. Česká společnost pro jakost. [online]. [cit. 05/2008] Dostupné z: <[http://www.benchmarking.cz/o\\_benchmarkingu.asp](http://www.benchmarking.cz/o_benchmarkingu.asp)>
- [28] GURINOVÁ, K.; VALENTOVÁ, V.: *Základy práce s programem STATGRAPHICS Centurion XV*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, s.118. ISBN 978-80-7372-275-3
- [29] GEORGIEVSKIY, I.; GEORGIEVSKAYA, Z.; PINNEY, W.: *Using Queuing Analysis and Computer Simulation Modeling to Reduce Waiting Time in the Hospital Admitting Department*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.flexsim.com/products/healthcare/docs/Reduce\\_Admissions\\_wait\\_times.pdf](http://www.flexsim.com/products/healthcare/docs/Reduce_Admissions_wait_times.pdf)>

- [30] HE, K.; MEEDEN, G.: *Selecting the Number of Bins in a Histogram: A Decision Theoretic Approach*. Journal of Statistical Planning and Inference, Vol 61 (1997), p.59-76. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.stat.umn.edu/~glen/papers/hist.pdf>>
- [31] HENDL, J.: *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat*. Praha: Portál, 2004. 1.vyd. s.584. ISBN 80-7178-820-1
- [32] *Histogram*. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://math.fce.vutbr.cz/vyuka/matematika/statistika/histogram.html>>
- [33] HRŮZOVÁ, H.: *Benchmarkingové jiskření*. In: Moderní řízení, 1997, č. 8, s. 34–37. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://scv.upol.cz/cms\\_dokumenty/strana69.doc](http://scv.upol.cz/cms_dokumenty/strana69.doc)>
- [34] HU, J., RAY, B. K., SINGH, M.: *Statistical methods for automated generation of service engagement staffing plans*. IBM J. RES. & DEV. Vol. 51 no. 3/4 May/July 2007. s. 281-293.
- [35] JENKINSON, M.: *Histogram Bin Size*, 2000. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <<http://www.fmrib.ox.ac.uk/analysis/techrep/tr00mj2/tr00mj2/node24.html>>
- [36] KAN. S. H.: *Metrics and Models in Software Quality Engineering*. New York: Addison-Wesley, 2003. 2cd edition , 528p., ISBN 0201729156, 9780201729153
- [37] KANAWATY, G.: *Introduction to Work Study, 4<sup>th</sup> edition*. Geneva: International Labour Office, 1992. ISBN 92-2-107108-1
- [38] KARMA, K. V. S.: *Statistics Made Simple*. India: Practice-Hall, 2004. s.272. ISBN 81-203-1741-6
- [39] *Kartotéka typových pozic – strojírenství. Ministerstvo práce a sociálních věcí*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://ktp.istp.cz/charlie/expert2/act/step2.act?lh=0&sm1=37>>
- [40] KASS, G. V.: *Waiting times, negative exponential distribution and generalized Fibonacci numbers*. In: International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, Volume 11, Issue 2 April 1980 , p. 197 – 200. ISSN 1464-5211
- [41] KISTER, T.: *PM Work Orders in the Backlog*. Life Cycle Engineering, Charleston. [online] [cit.12/08] Dostupné z: <<http://www.lce.com/pdf/PMsandtheBacklogKister.pdf>>
- [42] *Kodex vedení Benchmarkingu*. Česká společnost pro jakost. [online] [cit.05/2008] Dostupné z: <<http://www.benchmarking.cz/faq.asp>>
- [43] *Kolmogorov-Smirnov test* [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Mathematics/18-443Fall-2006/BD432998-421E-4FE3-8B59-FA3859D4F445/0/lecture14.pdf>>
- [44] *Kolmogorov-Smirnovův test dobré shody* [online] [cit. 03/2010] Dostupné z:

<[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-569-2/pdf/133.pdf](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-569-2/pdf/133.pdf)>

- [45] KREJČOVÁ, Š.: *Analýza administrativní práce pomocí Integrovaných administrativních aktivit*. Žilina: Žilinská univerzita, Fakulta strojní, 2006. [autoreferát disertační práce]
- [46] KRIŠŤÁK, J.: *Časové štúdie*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=125](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=125)>
- [47] KRIŠŤÁK, J.: *Formulár pro snímkování pracovního dne*. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/UserFiles/File/Kristak/F\\_SPD.pdf](http://www.ipaslovakia.sk/UserFiles/File/Kristak/F_SPD.pdf)>
- [48] KRIŠŤÁK, J.: *Měření práce*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=101](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=101)>
- [49] KRIŠŤÁK, J.: *Momentkové pozorovanie*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=126](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=126)>
- [50] KRIŠŤÁK, J.: *Normatív času*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=128](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=128)>
- [51] KRIŠŤÁK, J.: *Štruktúrované odhady*. In.: IPA magazín. Žilina: Fraunhofer IPA Slovakia. [online] [cit. 12/2009] Dostupné z: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=124](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=124)>
- [52] LIKER, J. K.: *The Toyota Way. 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004. ISBN 0-07-139231-9
- [53] LEPSŠÍK, P.: *Increasing of Productivity in the Field of Overheads Activities*. In: *Liberecké ekonomické fórum*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, s. 355 – 360. ISBN 978-80-7372-244-9
- [54] LEPSŠÍK, P.: *Determination of Work Structure of Adjusters*. In: *Mezinárodní vědecká doktorská konference INPROFORUM Junior 2008*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. s. 98 - 102. ISBN 978-80-7394-130-7
- [55] LEPSŠÍK, P.: *Time Series as a Tool of Capacity Planning*. In: *Mezinárodní Baťova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-812-2
- [56] LEPSŠÍK, P.: *Innovation in Capacity Planning of Human Resources*. In: *The International Scientific Conference: Innovation – Factor of Competitiveness of Small and Medium Sized Enterprises in Global Economics Environment*. Banská Bystrica: Matej Bel University in Banská Bystrica, 2009. s. 204-213. ISBN 978-80-8083-792-1

- [57] LEPŠÍK, P.: *Dynamical Model of Capacitive Planning*. In: 9th International Scientific Conference New Trends in Technical Systems Operation 2009, Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. s.136-139. ISBN 978-80-553-0312-3
- [58] LEPŠÍK, P.: *Simulace výrobních systémů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 42 s. [písemná práce ke zkoušce]
- [59] LEPŠÍK, P.: *Studie práce technologů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 103 s. [zpráva z projektu]
- [60] LEPŠÍK, P.: *Kapacitní výpočet seřizovačů vstříkolisovny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. 10 s. [zpráva z projektu]
- [61] LEPŠÍK, P.: *Studie práce seřizovačů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. 96 s. [zpráva z projektu]
- [62] LEPŠÍK, P.: *Studie práce manipulantů*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2009. 42 s. [zpráva z projektu]
- [63] LEPŠÍK, P.: *Vliv produktivity servisních a administrativních činností na výkonnost podniku*. In: *Hradecké ekonomické dny*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2008, s. 420 - 425. ISBN 978-80-7041-202-2
- [64] LESTER, E. D.; FREEDMAN, D. A.: *Random Distribution Function*. In: Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley: University of California Press, 1967. p.183-214 ISSN 0097-0433
- [65] MANLIG, F.: *Počítačová simulace diskrétních událostí*. MM Průmyslové spektrum 10/99, str.34..35.
- [66] MANLIG, F.: *Počítačová simulace výrobních procesů*. MM Průmyslové spektrum 10/2000, str.30..32.
- [67] MANLIG, F; URBAN, P; HAVLÍK, R.: *Optimalizace výrobních procesů pomocí počítačové simulace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. [zpráva k vědeckovýzkumnému záměru]
- [68] MAŠÍN, I.; VYTLAČIL, M.: *Nové cesty k vyšší produktivitě. Metody průmyslového inženýrství*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2001. ISBN 80-902235-6-7
- [69] MAŠÍN, I.: *Výroba velkého sortimentu v malých sériích. Principy výrobních systémů pro 21. století*. Liberec: Institut technologií a managementu, 2004. ISBN 80-903533-0-4
- [70] MAŠÍN, I.; KOŠTURIÁK, J; DEBNÁR, P.: *Zlepšování nevýrobních procesů. Úvodní program pro servisní a procesní týmy*. 1.vyd. Liberec: Institut technologií a managementu, 2007. s.134. ISBN 80-903533-3-9
- [71] MAŠÍN, J.: *Techniky analýzy a měření práce I. Analytické metody PI*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, s.r.o., 2009. [Studijní materiály školy]



průmyslového inženýrství]

- [72] MAŠÍN, J.: *Techniky analýzy a měření práce II. Analytické metody* PI. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, s.r.o., 2009. [Studijní materiály školy průmyslového inženýrství]
- [73] MATSUMOTO, M.; NISHIMURA, T.: *Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-Random Number Generator*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://saluc.engr.uconn.edu/refs/crypto/rng/matsumoto98mersenne.pdf>>
- [74] MATHER, D.: *Backlog Management. Fundamentals of Maintenance Planning Series*. [online] [cit. 12/2008] Dostupné z: <[http://www.reliabilityweb.com/articles/backlog\\_mgmt.htm](http://www.reliabilityweb.com/articles/backlog_mgmt.htm)>
- [75] MATHER, D.: *Backlog Management*. Plant Maintenance Resource Center, 2007. [online] [cit. 12/08] Dostupné z: <[http://www.plant-maintenance.com/articles/Backlog\\_Management.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/Backlog_Management.shtml)>
- [76] MELOUN, M.; MILITKÝ, J.: *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2002. 1.vydání, s. 764. ISBN 80-200-1008-4
- [77] MOST (Maynard Operation Sequence Technique). *Standars Time Setting Model*. JMAC Consultants, Inc. [online] [cit. 01/2010] Dostupné z: <<http://www.jmacglobal.com/monodzukuri/service/images/pdf/pd07.pdf>>
- [78] MRÁZEK, O.; SYNEK, M.: *Kapacitní propočty v průmyslu*. Praha: SNTL, 1981
- [79] MURCH, J.W.K.: *Work Measurement in Maintenance Engineering*. Industrial Engineering, [online] [cit. 01/09] Dostupné z: <<http://sunzi1.lib.hku.hk/hkjo/view/40/4000026.pdf>>
- [80] NĚMEC, V.: *Řízení a ekonomika firmy*. Praha: Grada Publishing, 1998. ISBN 80-7169-613-7
- [81] NIEBEL, B. W.; FREIDVALDS, A.: *Methods, Standards and Work Design*, 11th edition. McGraw-Hill Companies, Inc., 2003. ISBN 0-07-119863-6
- [82] NYMAN, D.; LEVITT, J.: *Maintenance Planing, Scheduling, and Coordination*. New York: Industrial Press, Inc., 2001. p. 228. ISBN 0-8311-3143-8
- [83] *Přehled optimalizačních metod*. [online] [cit. 04/2007] Dostupné z: <[http://majer.czweb.org/scheduling/30Metody\\_reseni.doc](http://majer.czweb.org/scheduling/30Metody_reseni.doc)>
- [84] RUEY, S. T.: *Analysis of Financial Time Series*. New York: John Wiley & Sons 1.vyd., 2002. p.448. ISBN 0-471-41544-8
- [85] SAPP, D.: *Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)*. Washington: National Institute of Building Sciences, 2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.wbdg.org/om/cmms.php>>

- [86] SAUER, W.; OPPERMANN, M.; WEIGERT, G.: *Electronics Process Technology*. London: Springer, 2006. ISBN 978-1-84628-353-6
- [87] SEGER, J.; HINDLS, R.: *Statistické metody v tržním hospodářství*. Praha: Victoria Publishing Praha, 1995. s.435. ISBN 80-7187-058-7
- [88] *Simulační software Delmia*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.3ds.com/products/delmia/welcome/>>
- [89] *Simulační software eM-Plant*. [online] [cit. 05/2007] Dostupné z: <[www.emplant.de](http://www.emplant.de)>
- [90] *Simulační software QUEST*. [online] [cit. 05/2007] Dostupné z: <[www.delmia.de](http://www.delmia.de)>
- [91] *Simulační software ShowFlow*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.showflow.com/>>
- [92] *Simulační software Simcron*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.simcron.de/produkte/MODELLER/modeller\\_e.html](http://www.simcron.de/produkte/MODELLER/modeller_e.html)>
- [93] *Simulační software Simul8 – stránky výrobce*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.simul8.com/home>>
- [94] *Simulační software Simul8*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.simul8.cz/produkty>>
- [95] *Simulation Software Surway – Overview*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation1.html>>
- [96] *Simulation Software Surway – Input Distribution Fitting*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation3.html>>
- [97] *Simulační software SimCad Processs Simulator*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.createasoft.com/simulation-software/products/simcadPro.html>>
- [98] *Simulační software Simio*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.simio.biz/products/>>
- [99] *Simulační software Micro Saint Sharp*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.maad.com/index.pl/micro\\_saint](http://www.maad.com/index.pl/micro_saint)>
- [100] *Simulační software WITNESS – Modul simulace*. [online] [cit. 05/2007] Dostupné z: <<http://www.humusoft.cz/witness/witnescz.htm#odkaz1>>
- [101] *Simulation Software Surway – Model Building*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation2.html>>
- [102] *Simulation Software Surway – Optimization*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online]

- [cit. 03/2010] Dostupné z:  
<<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation4.html>>
- [103] *Simulation Software Surway – Animation*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z:  
<<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation5.html>>
- [104] *Simulation Software Surway – Pricing*. In: OR/MS Today, 10/2009. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z:  
<<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation6.html>>
- [105] SHIMAZAKI, H.; SHINOMOTO, S.: *A Method for Selecting the Bin Size of a Time Histogram*. Neural Computation (2007) Vol. 19(6), p. 1503-1527. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <[http://www.ton.scphys.kyoto-u.ac.jp/~hideaki/ton/pdf/shimazaki\\_neco07.pdf](http://www.ton.scphys.kyoto-u.ac.jp/~hideaki/ton/pdf/shimazaki_neco07.pdf)>
- [106] SPENDOLINI, M. J.: *The Benchmarking Book*. New York: AMACOM, 1992. ISBN 978-08-1445-077-2 [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <[http://www.finance.alberta.ca/publications/measuring/results\\_oriented/module2\\_overview.pdf](http://www.finance.alberta.ca/publications/measuring/results_oriented/module2_overview.pdf)>
- [107] *Statistický software Statgraphics Centurion*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.statgraphics.com/>>
- [108] *Statistický software STATISTICA*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.statsoft.com>>
- [109] *Statistický software SPSS*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.spss.com/>>
- [110] *Statistický software SAS*. [online] [cit. 03/2010] Dostupné z: <<http://www.sas.com/>>
- [111] *Sturges' rule*. [online] [cit. 07/2009] Dostupné z: <[http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Presenting\\_results/Histogram\\_plots/Sturges\\_rule.htm](http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Presenting_results/Histogram_plots/Sturges_rule.htm)>
- [112] SWANSON, R. A.: *Analysis for Improving Performance*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 1994, ISBN 18-7961-817-6
- [113] ŠONKA, M; HLAVÁČ, V; BOYLE, R: *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. CL Engineering, 3th ed., 2007. 829p. ISBN-13: 9780495082521
- [114] *The mathematics of maintenance*, [online] [cit. 01/09] Dostupné z: <<http://www.achart.ca/publications/mathematics.html>>
- [115] VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D.: *Modern Applied Statistics with S*. New York: Springer-Verlag, 4<sup>th</sup> edition, 2002. ISBN 0-387-95457-0
- [116] VOLDÁNOVÁ, J.: *Benchmarking-moderní nástroj řízení*. In: Veřejná zpráva č.13,

- týdeník vlády ČR. [online] [cit. 01/2007] Dostupné z:  
<<http://www.mvcr.cz/casopisy/s/2004/0013/kvalita.html>>
- [117] WESTERKAMP, T. A.: *How to Use Work Measurement for High-productivity Maintenance Operations*. Lombard: Productivity Network, Inc., 2002. [online] [cit. 05/2008] Dostupné z:<  
<http://www.pninc.com/maint/articles/MaintWkMeas0102.pdf>>
- [118] WESTERKAMP, T. A.: *How to Automate Your Maintenance Work Order System*, Productivity Network, Inc., Lombard, December 27, 1994, [online] [cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/maint/articles/article.pdf>>
- [119] WESTERKAMP, T. A.: *Keep IT Projects on Track With Work Management Contract Professional* [on-line][cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/it/articles/ITYourTurn.pdf>>
- [120] WESTERKAMP, T. A.: *Work Management Yields Faster, Better, Cheaper IT Operations*. Productivity Network, Inc., Lombard, 2000, [online] [cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/it/articles/ITWkMeas0200.pdf>>
- [121] WESTERKAMP, T. A.: *Case Study: Maintenance Work Management program*. Productivity Network, Inc., 2002, [online] [cit. 25.4. 2007] Dostupné z: <<http://www.pninc.com/corporate/cases/maintcase.pdf>>
- [122] WESTERKAMP, T. A.: *Measuring Maintenance. Essential principles for a high-productivity maintenance program*. IIE SOLUTIONS, october 1999, p.32-35.
- [123] WIREMAN, T.: *Benchmarking Best Practices in Maintenance Management*. New York: Industrial Press, Inc., 2004. p. 212. ISBN 0-8311-3168-3
- [124] WOMACK, J. P.; JONES, D. T.: *Lean Thinking*, 2cd edition. 397p. ISBN 0-7432-4927-5
- [125] YANG, CH: *Bayesian Time Series: Financial Models and Spectral Analysis*. North Carolina, Durham: Duke University, 1997. p.141. [dissertation]
- [126] ZANDIN, B. K.: *MOST Work Measurement System*. 3rd edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. ISBN 0-8247-0953-5
- [127] *ZRandom – Generátor náhodných čísel*. [online] [cit. 05/2008] Dostupné z:  
[http://www.stahuj.centrum.cz/podnikani\\_a\\_domcnost/kancelarske\\_aplikace/ostatni/zrandom/](http://www.stahuj.centrum.cz/podnikani_a_domcnost/kancelarske_aplikace/ostatni/zrandom/)>

## Vlastní publikace autora

### Články publikované v odborných časopisech

- [1] LEPŠÍK, P.: *Developement of Algorithm for Assembling of 3D Scans*. In: *Vědecká pojednání XIV / 2008 - ACC JOURNAL*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. s. 188 - 195. ISBN 978-80-7372-379-8, ISSN 1801-1128

### Články publikované ve sbornících z mezinárodních vědeckých konferencí

- [2] LEPŠÍK, P.: *Increasing of Productivity in the Field of Overheads Activities*. In: *Liberecké ekonomické fórum*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, s. 355 – 360. ISBN 978-80-7372-244-9
- [3] LEPŠÍK, P.: *Vliv produktivity servisních a administrativních činností na výkonnost podniku*. In: *Hradecké ekonomické dny*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2008, s. 420 - 425. ISBN 978-80-7041-202-2
- [4] LEPŠÍK, P.: *Planning of Indirect Labour through Multidimensional Statistical Methods*. In: *Mezinárodní Baťova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, ISBN 978-80-7318-664-7
- [5] LEPŠÍK, P.: *"How to do a business in Sweden?"*. In: *VIII. Mezinárodní konference studentů doktorských studijních programů IMEA 2008*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008, ISBN 978-807372-335-4
- [6] LEPŠÍK, P.: *Determination of Work Structure of Adjusters*. In: *Mezinárodní vědecká doktorská konference INPROFORUM Junior 2008*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. s. 98 - 102. ISBN 978-80-7394-130-7
- [7] LEPŠÍK, P.: *Time Series as a Tool of Capacity Planning*. In: *Mezinárodní Baťova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-812-2
- [8] LEPŠÍK, P.: *Innovation in Capacity Planning of Human Resources*. In: *The International Scientific Conference: Innovation – Factor of Competitiveness of Small and Medium Sized Enterprises in Global Economics Environment*. Banská Bystrica: Matej Bel University in Banská Bystrica, 2009. s. 204-213. ISBN 978-80-8083-792-1
- [9] LEPŠÍK, P.: *Dynamical Model of Capacity Planning*. In: *9th International Scientific Conference New Trends in Technical Systems Operation 2009*, Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. s.136-139. ISBN 978-80-553-0312-3



## Další publikace

- [10] LEPŠÍK, P.: *Informační systémy řízení výroby*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 59 s. [písemná práce ke zkoušce]
- [11] LEPŠÍK, P.: *Simulace výrobních systémů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 42 s. [písemná práce ke zkoušce]
- [12] LEPŠÍK, P.: *Analýza a plánování režijních činností ve výrobních systémech. Kapacitní plánování lidských zdrojů pro oblast režijních činností*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2008. 26 s. [teze disertační práce]
- [13] LEPŠÍK, P.: *Studie práce seřizovačů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. 96 s. [zpráva z projektu]
- [14] MAŠÍN, I.; MAŠÍN, J.; LEPŠÍK, P.: *Audit systému CO3 – Hodnocení zátěží*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2008. [zpráva auditora]
- [15] LEPŠÍK, P.: *Studie práce technologů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 103 s. [zpráva z projektu]
- [16] MAŠÍN, I.; MAŠÍN, J.; LEPŠÍK, P.: *Návrh montážní buňky tramvajové převodovky*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2009. [zpráva z projektu]
- [17] LEPŠÍK, P.: *Studie práce manipulantů*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2009. 42 s. [zpráva z projektu]
- [18] LEPŠÍK, P.: *Projekt montážní buňky tramvajové převodovky*. Slaný: Akademie produktivity a inovací, 2010. [absolventská práce]
- [19] LEPŠÍK, P.: *Kapacitní výpočet seřizovačů vstříkolisovny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. 10 s. [zpráva z projektu]



# PŘÍLOHY

## Seznam příloh:

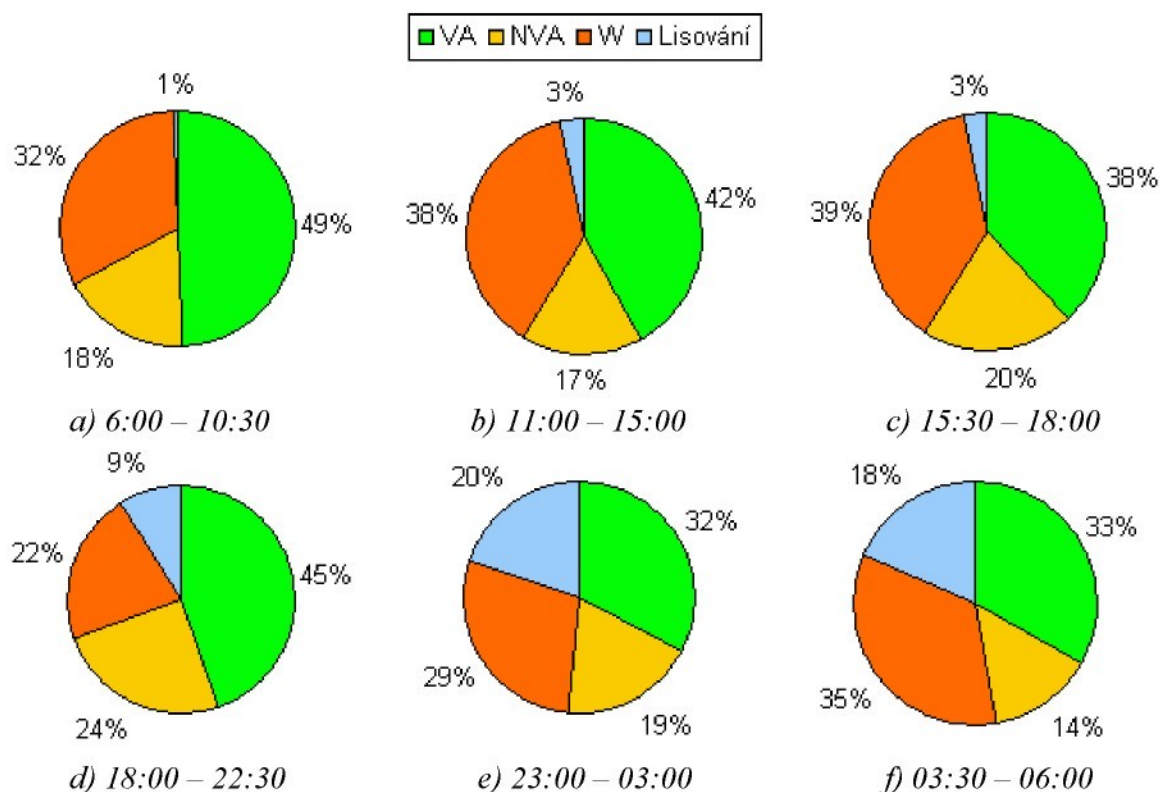
|                    |                                                           |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Příloha I</b>   | <b>Příloha k experimentu A</b>                            |
| <b>Příloha II</b>  | <b>Příloha k experimentu B</b>                            |
| <b>Příloha III</b> | <b>Příloha k experimentu C</b>                            |
| <b>Příloha IV</b>  | <b>Příloha k 6. kapitole</b>                              |
| <b>Příloha V</b>   | <b>Uživatelský manuál k vytvořené počítačové aplikaci</b> |

## Příloha I: Příloha k experimentu A

### I-1 Struktura práce seřizovačů

Tab. I-1 Četnosti výskytů jednotlivých činností ve všech fázích pracovního dne

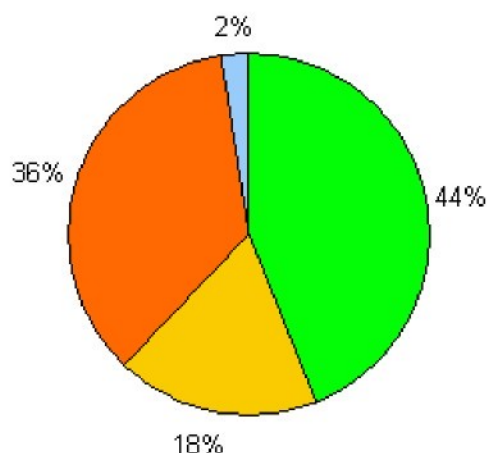
| Fáze směny                                           | VA   | NVA  | W    | Lisování | Počet záznamů |
|------------------------------------------------------|------|------|------|----------|---------------|
| <b>Denní směny (měřeno na šesti denních směnách)</b> |      |      |      |          |               |
| 06:00 – 10:00                                        | 1588 | 583  | 1037 | 32       | 3240          |
| 10:30 – 15:00                                        | 1209 | 490  | 1094 | 87       | 2880          |
| 15:30 – 18:00                                        | 684  | 360  | 702  | 54       | 1800          |
| celé denní směny                                     | 3481 | 1433 | 2833 | 173      | 7920          |
| <b>Noční směny (měřeno na dvou nočních směnách)</b>  |      |      |      |          |               |
| 18:00 – 22:30                                        | 486  | 258  | 238  | 98       | 1080          |
| 23:00 – 03:00                                        | 308  | 182  | 278  | 192      | 960           |
| 03:30 – 06:00                                        | 198  | 84   | 210  | 108      | 600           |
| celé noční směny                                     | 992  | 524  | 726  | 398      | 2640          |



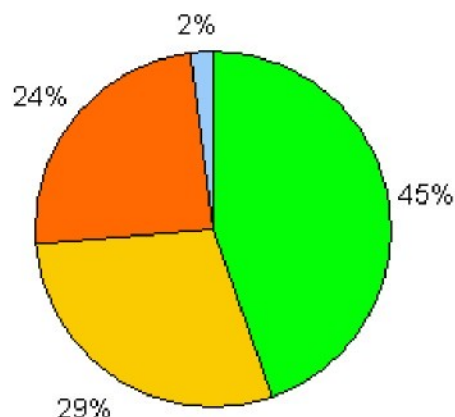
Obr. I-1 Dílčí struktury časového fondu seřizovačů lisů

Tab. I-2 Porovnání zjištěné struktury pomocí rozdílných metod

| Metoda sběru dat          | VA   | NVA  | W    | Lisování | Počet záznamů |
|---------------------------|------|------|------|----------|---------------|
| Snímkování pracovního dne | 3481 | 1433 | 2833 | 173      | 7920          |
| Momentové pozorování      | 326  | 216  | 178  | 15       | 735           |



a) Zjištěno snímkováním pracovního dne



b) Zjištěno momentovým pozorováním

**Obr. I-2** Porovnání zjištěné struktury pomocí rozdílných metod**I-2 Časové studie****Tab. I-3 (1/3)** Časy přeseřízení lisů

| L1    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M12   |       |       | M3    |       |       | N12   |       |       |       | N3    | P12   | P3    |
| 21:25 | 19:06 | 21:30 | 19:24 | 23:25 | 28:42 | 39:55 | 43:20 | 47:14 | 54:10 | 53:35 | 68:38 | 59:03 |
| 17:53 | 22:32 | 20:43 | 19:58 | 23:59 | 28:53 | 40:28 | 43:54 | 48:04 | 55:44 | 46:58 | 58:20 | 65:47 |
| 19:45 | 20:32 | 19:32 | 20:17 | 24:10 | 29:10 | 41:10 | 44:07 | 49:33 | 55:55 | 54:56 | 58:21 | 79:57 |
| 21:07 | 19:34 | 23:29 | 20:39 | 24:29 | 31:08 | 41:26 | 44:17 | 50:22 | 56:13 | 49:03 | 47:44 | 58:24 |
| 20:57 | 20:41 | 23:14 | 21:32 | 25:21 | 31:54 | 41:41 | 44:38 | 50:28 | 57:48 | 49:45 | 48:25 | 65:05 |
| 20:36 | 20:11 | 17:48 | 22:07 | 25:29 | 31:54 | 42:15 | 45:11 | 50:54 | 63:08 | 48:24 | 56:53 | 63:18 |
| 22:00 | 21:59 | 21:25 | 22:09 | 25:47 | 32:39 | 42:46 | 45:25 | 51:12 |       | 65:35 | 63:01 | 57:48 |
| 21:15 | 21:13 | 23:35 | 22:11 | 26:13 | 33:17 | 42:50 | 45:48 | 51:31 |       | 53:56 | 49:17 | 69:08 |
| 19:53 | 20:03 | 23:17 | 22:15 | 26:50 | 34:13 | 42:09 | 46:18 | 52:23 |       | 43:39 | 54:46 | 61:24 |
| 23:05 | 23:22 | 21:51 | 23:08 | 27:39 | 35:29 | 43:36 | 46:34 | 53:63 |       | 74:35 | 51:33 | 58:40 |

**Tab. I-3 (2/3)** Časy přeseřízení lisů

| L3    |       |       |       |       |       |       |       |       | L1,2  |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M12   | M3    | N12   |       |       |       | N3    | P12   | P3    | ZK    |       |       |
| 26:05 | 23:37 | 25:37 | 30:50 | 33:49 | 43:05 | 36:23 | 40:59 | 46:12 | 76:42 | 76:15 | 73:14 |
| 23:23 | 35:33 | 27:06 | 30:55 | 34:10 | 44:12 | 37:40 | 41:12 | 48:19 | 73:26 | 79:26 | 72:57 |
| 22:07 | 19:40 | 27:50 | 31:11 | 34:35 | 45:37 | 38:13 | 43:29 | 49:03 | 77:50 | 65:17 | 74:56 |
| 24:26 | 25:35 | 28:22 | 31:18 | 35:16 |       | 38:57 | 43:36 | 49:41 | 69:48 | 69:33 | 66:21 |
| 22:09 | 24:11 | 28:43 | 31:31 | 36:10 |       | 41:30 | 44:22 | 50:54 | 76:00 | 72:24 | 75:14 |
| 23:12 | 32:53 | 29:03 | 31:54 | 37:59 |       | 43:20 | 45:49 | 52:44 | 78:31 | 76:30 | 70:42 |
| 25:05 | 23:38 | 29:11 | 32:35 | 40:24 |       | 44:17 | 46:33 | 56:00 | 70:24 | 76:48 | 72:23 |
| 23:33 | 26:47 | 29:46 | 32:45 | 41:15 |       | 47:38 | 52:08 | 60:11 | 80:16 | 74:27 | 72:04 |
| 23:27 | 28:01 | 30:17 | 33:13 | 41:53 |       | 48:48 | 54:05 | 62:26 | 74:15 | 65:52 | 74:40 |
| 22:44 | 32:40 | 30:34 | 33:30 | 42:22 |       | 52:39 | 57:38 | 68:04 | 72:40 | 78:57 | 75:21 |



**Tab. I-3 (3/3) Časy přeseřžení lisů**

| L2    |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M12   | M3    | N12   | N3    | P12   | P3    |
| 26:01 | 22:17 | 49:55 | 60:15 | 66:38 | 69:23 |
| 23:55 | 25:03 | 22:42 | 50:26 | 62:48 | 74:54 |
| 21:26 | 21:24 | 2:06  | 57:21 | 72:82 | 78:57 |
| 21:25 | 24:52 | 23:45 | 69:12 | 61:35 | 79:59 |
| 25:39 | 26:46 | 57:19 | 50:07 | 58:22 | 63:34 |
| 22:30 | 34:09 | 58:07 | 63:38 | 70:48 | 95:33 |
| 22:03 | 28:22 | 46:52 | 53:37 | 74:00 | 64:34 |
| 22:16 | 22:07 | 49:39 | 50:03 | 58:06 | 64:14 |
| 19:40 | 31:25 | 49:24 | 58:52 | 64:19 | 68:01 |
| 23:37 | 23:36 | 52:55 | 49:29 | 62:23 | 69:42 |

## I-2.1 Výměna materiálu na skupině lisů L1 pro VBD typu 1 a 2

**Tab. I-4 Základní statistické charakteristiky**

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 30        |
| Průměr              | 21,251    |
| Směrodatná odchylka | 1,68492   |
| Variační koeficient | 7,92865%  |
| Minimum             | 17,8      |
| Maximum             | 24,6      |
| Variační rozpětí    | 6,8       |
| Koef. šikmosti      | -0,219678 |
| Koef. špičatosti    | -0,385636 |

**Tab. I-5 Frekvenční tabulka**

|       | dolní       | horní   |         |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed   | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | na nebo pod | 17,0    |         | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 17,0        | 18,3333 | 17,6667 | 2       | 0,0667    | 2           | 0,0667        |
| 2     | 18,3333     | 19,6667 | 19,0    | 3       | 0,1000    | 5           | 0,1667        |
| 3     | 19,6667     | 21,0    | 20,3333 | 8       | 0,2667    | 13          | 0,4333        |
| 4     | 21,0        | 22,3333 | 21,6667 | 9       | 0,3000    | 22          | 0,7333        |
| 5     | 22,3333     | 23,6667 | 23,0    | 7       | 0,2333    | 29          | 0,9667        |
| 6     | 23,6667     | 25,0    | 24,3333 | 1       | 0,0333    | 30          | 1,0000        |
|       | above       | 25,0    |         | 0       | 0,0000    | 30          | 1,0000        |

Střední hodnota = 21,251 Směrodatná odchylka = 1,68492

**Tab. I-6 Výsledky Pearsonova chí-kvadrát testu dobré shody pro normální rozdělení**

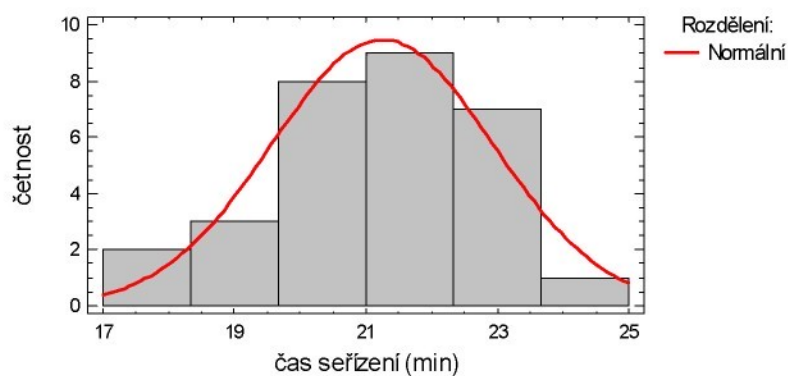
|             | dolní   | horní   | pozorovaná | očekávaná |             |
|-------------|---------|---------|------------|-----------|-------------|
|             | hranice | hranice | četnost    | četnost   | Chi-kvadrát |
| na nebo pod |         | 19,3794 | 3          | 4,00      | 0,25        |
|             | 19,3794 | 20,2014 | 6          | 4,00      | 1,00        |
|             | 20,2014 | 20,8241 | 3          | 4,00      | 0,25        |
|             | 20,8241 | 21,3919 | 4          | 4,00      | 0,00        |
|             | 21,3919 | 21,9767 | 4          | 4,00      | 0,00        |

|     |         |         |   |      |      |
|-----|---------|---------|---|------|------|
|     | 21,9767 | 22,6691 | 3 | 4,00 | 0,25 |
| nad | 22,6691 |         | 7 | 6,00 | 0,17 |

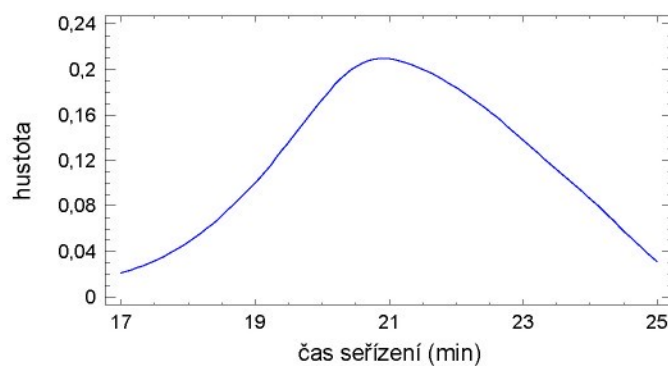
Chí-kvadrát = 1,91669 se 4 stupni volnosti, P-hodnota = 0,751079

**Tab. I-7** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody pro normální rozdělení

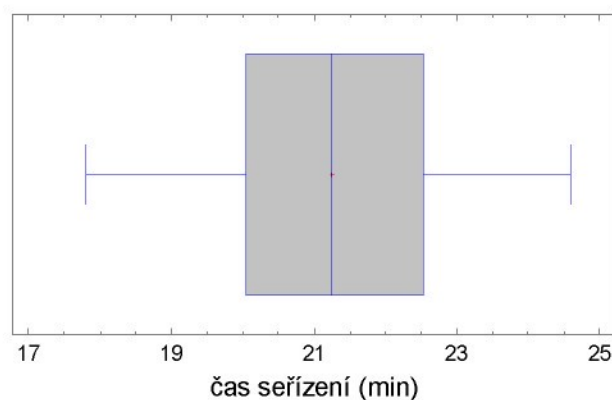
|           |           |
|-----------|-----------|
|           | Normalní  |
| DPLUS     | 0,0745884 |
| DMINUS    | 0,0944866 |
| DN        | 0,0944866 |
| P-hodnota | 0,951617  |



**Obr. I-3** Histogram proložený normálním rozdělením



**Obr. I-4** Křivka hustoty výskytu prvků souboru



**Obr. I-5** Krabicový diagram

## I-2.2 Výměna materiálu na skupině lisů L1 pro VBD typu 3

**Tab. I-8** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 30       |
| Průměr              | 26,1413  |
| Směrodatná odchylka | 4,63409  |
| Variační koeficient | 17,727%  |
| Minimum             | 19,4     |
| Maximum             | 35,48    |
| Variační rozpětí    | 16,08    |
| Koef. šikmosti      | 1,0061   |
| Koef. špičatosti    | -1,02568 |

**Tab. I-9** Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |         |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed   | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | Na nebo pod | 18,0    |         | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 18,0        | 20,8571 | 19,4286 | 4       | 0,1333    | 4           | 0,1333        |
| 2     | 20,8571     | 23,7143 | 22,2857 | 7       | 0,2333    | 11          | 0,3667        |
| 3     | 23,7143     | 26,5714 | 25,1429 | 7       | 0,2333    | 18          | 0,6000        |
| 4     | 26,5714     | 29,4286 | 28,0    | 5       | 0,1667    | 23          | 0,7667        |
| 5     | 29,4286     | 32,2857 | 30,8571 | 3       | 0,1000    | 26          | 0,8667        |
| 6     | 32,2857     | 35,1429 | 33,7143 | 3       | 0,1000    | 29          | 0,9667        |
| 7     | 35,1429     | 38,0    | 36,5714 | 1       | 0,0333    | 30          | 1,0000        |
|       | nad         | 38,0    |         | 0       | 0,0000    | 30          | 1,0000        |

Střední hodnota = 26,1413 Směrodatná odchylka = 4,63409

**Tab. I-10** Porovnání výsledků chi-kvadrát testů dobré shody pro lognormální a normální rozdělení

|                 | Lognormální | Normální |
|-----------------|-------------|----------|
| Chi-kvadrát     | 3,33342     | 5,33344  |
| Stupňů volnosti | 7           | 7        |
| P-hodnota       | 0,852541    | 0,619343 |

**Tab. I-11** Výsledky Pearsonova chi-kvadrát testu dobré shody pro lognormální rozdělení

|             | dolní   | horní   | pozorovaná | očekávaná |             |
|-------------|---------|---------|------------|-----------|-------------|
|             | hranice | hranice | četnost    | četnost   | Chi-kvadrát |
| na nebo pod |         | 20,5918 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 20,5918 | 22,2358 | 5          | 3,00      | 1,33        |
|             | 22,2358 | 23,5021 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 23,5021 | 24,6411 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 24,6411 | 25,7556 | 2          | 3,00      | 0,33        |
|             | 25,7556 | 26,9204 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 26,9204 | 28,2251 | 1          | 3,00      | 1,33        |
|             | 28,2251 | 29,8325 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 29,8325 | 32,2142 | 3          | 3,00      | 0,00        |
| nad         | 32,2142 |         | 4          | 3,00      | 0,33        |

Chi-kvadrát = 3,33342 se 7 stupni volnosti P-hodnota = 0,852541

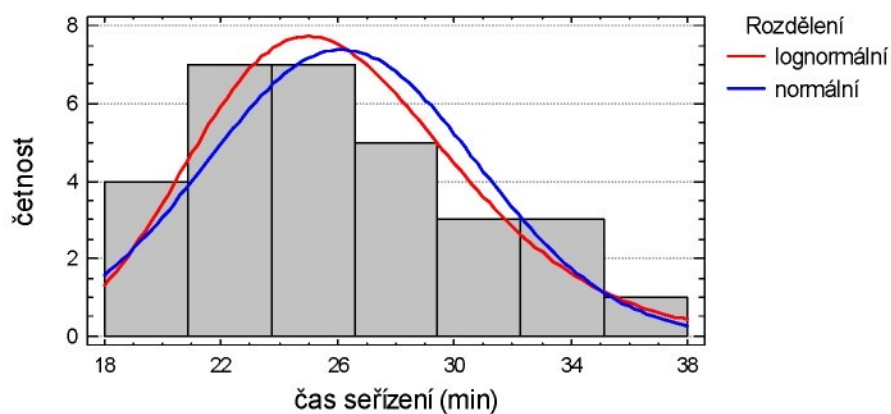
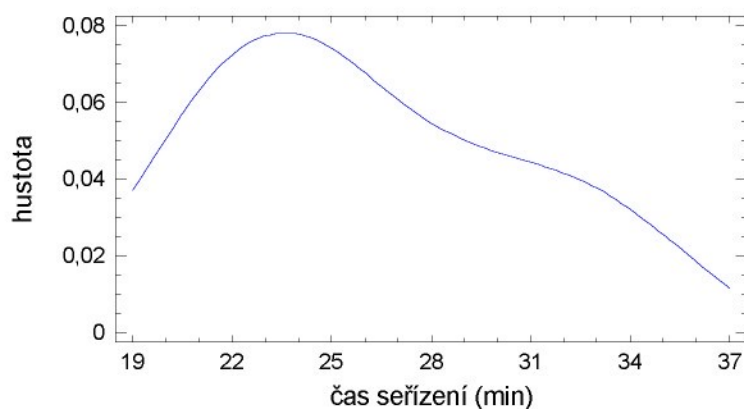
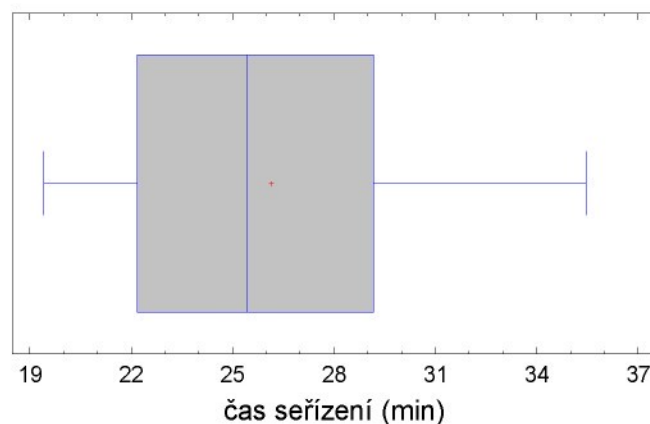
**Tab. I-12** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|       | Lognormální | Normální |
|-------|-------------|----------|
| DPLUS | 0,0989778   | 0,106685 |

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| DMINUS    | 0,0944767 | 0,0930067 |
| DN        | 0,0989778 | 0,106685  |
| P-hodnota | 0,930506  | 0,884317  |

**Tab. I-13** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 26,1511  |
| směrodatná odchylka                         | 4,60097  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,24865  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,174599 |

**Obr. I-6** Histogram proložený lognormálním a normálním rozdělením**Obr. I-7** Křivka hustoty výskytu prvků souboru**Obr. I-8** Krabicový diagram

## I-2.3 Výměna nástroje na skupině lisů L3 pro VBD typu 1 a 2

### 1) Analýza celého souboru dat

**Tab. I-14** Základní statistické charakteristiky

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 33        |
| Průměr              | 33,8409   |
| Směrodatná odchylka | 5,37965   |
| Variační koeficient | 15,8969 % |
| Minimum             | 25,62     |
| Maximum             | 45,62     |
| Variační rozpětí    | 20,0      |
| Koef. šikmosti      | 1,8051    |
| Koef. špičatosti    | -0,491061 |

**Tab. I-15** Frekvenční tabulka

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | na nebo pod    | 25,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 25,0           | 27,0           | 26,0         | 1              | 0,0303           | 1                  | 0,0303               |
| 2            | 27,0           | 29,0           | 28,0         | 4              | 0,1212           | 5                  | 0,1515               |
| 3            | 29,0           | 31,0           | 30,0         | 7              | 0,2121           | 12                 | 0,3636               |
| 4            | 31,0           | 33,0           | 32,0         | 6              | 0,1818           | 18                 | 0,5455               |
| 5            | 33,0           | 35,0           | 34,0         | 5              | 0,1515           | 23                 | 0,6970               |
| 6            | 35,0           | 37,0           | 36,0         | 2              | 0,0606           | 25                 | 0,7576               |
| 7            | 37,0           | 39,0           | 38,0         | 1              | 0,0303           | 26                 | 0,7879               |
| 8            | 39,0           | 41,0           | 40,0         | 1              | 0,0303           | 27                 | 0,8182               |
| 9            | 41,0           | 43,0           | 42,0         | 3              | 0,0909           | 30                 | 0,9091               |
| 10           | 43,0           | 45,0           | 44,0         | 2              | 0,0606           | 32                 | 0,9697               |
| 11           | 45,0           | 47,0           | 46,0         | 1              | 0,0303           | 33                 | 1,0000               |
|              | nad            | 47,0           |              | 0              | 0,0000           | 33                 | 1,0000               |

Střední hodnota = 33,8409 Směrodatná odchylka = 5,37965

**Tab. I-16** Porovnání výsledků chi-kvadrát testů dobré shody pro lognormální a normální rozdělení

|                 | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------------|--------------------|-----------------|
| Chi-kvadrát     | 12,0909            | 16,9394         |
| Stupňů volnosti | 13                 | 13              |
| P-hodnota       | 0,520207           | 0,20209         |

**Tab. I-17** Výsledky Pearsonova chí-kvadrát testu dobré shody pro lognormální rozdělení

|             | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   | <i>pozorovaná</i> | <i>očekávaná</i> |                    |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|
|             | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>četnost</i>    | <i>četnost</i>   | <i>Chi-kvadrát</i> |
| na nebo pod |                | 26,4476        | 1                 | 2,06             | 0,55               |
|             | 26,4476        | 28,048         | 2                 | 2,06             | 0,00               |
|             | 28,048         | 29,2013        | 4                 | 2,06             | 1,82               |
|             | 29,2013        | 30,1676        | 1                 | 2,06             | 0,55               |
|             | 30,1676        | 31,0377        | 4                 | 2,06             | 1,82               |
|             | 31,0377        | 31,8567        | 3                 | 2,06             | 0,43               |
|             | 31,8567        | 32,6534        | 2                 | 2,06             | 0,00               |
|             | 32,6534        | 33,4493        | 2                 | 2,06             | 0,00               |
|             | 33,4493        | 34,2647        | 3                 | 2,06             | 0,43               |



|     |         |         |   |      |      |
|-----|---------|---------|---|------|------|
|     | 34,2647 | 35,1215 | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 35,1215 | 36,0484 | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 36,0484 | 37,088  | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 37,088  | 38,3153 | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 38,3153 | 39,8908 | 0 | 2,06 | 2,06 |
|     | 39,8908 | 42,3047 | 3 | 2,06 | 0,43 |
| nad | 42,3047 |         | 4 | 2,06 | 1,82 |

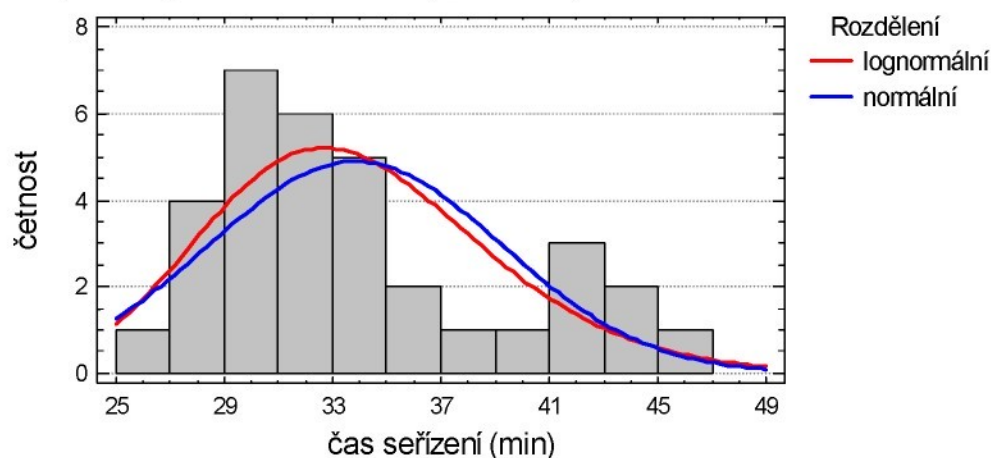
Chi-kvadrát = 12,0909 se 13 stupni volnosti, P-hodnota = 0,520207

**Tab. I-18** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

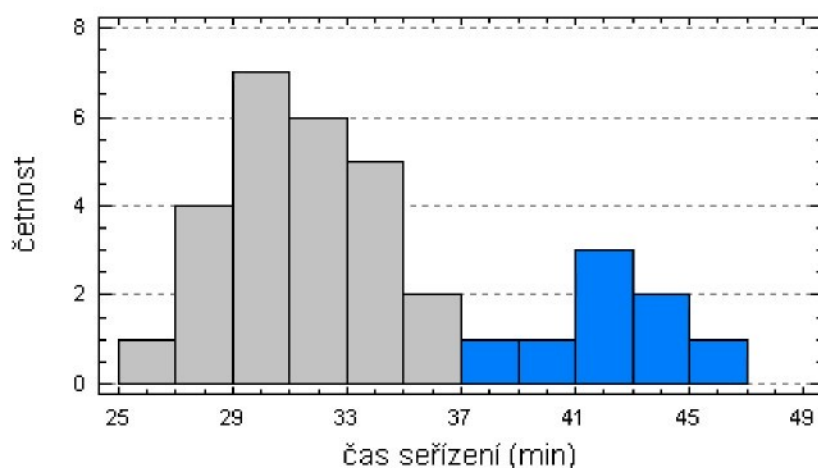
|           | Lognormální | Normální |
|-----------|-------------|----------|
| DPLUS     | 0,111296    | 0,14233  |
| DMINUS    | 0,103372    | 0,100745 |
| DN        | 0,111296    | 0,14233  |
| P-hodnota | 0,80831     | 0,530009 |

**Tab. I-19** Parametry lognormálního rozdělení

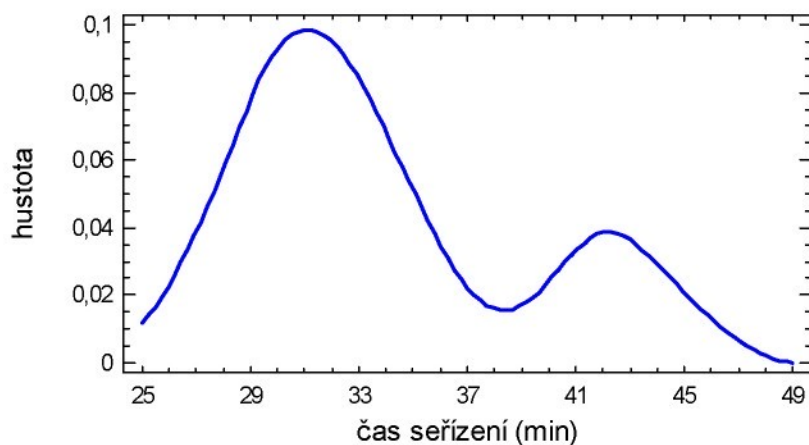
|                                            |          |
|--------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                            | 33,8436  |
| směrodatná odchylka                        | 5,21181  |
| střední hodnota v logaritmicím měřítku     | 3,51003  |
| směrodatná odchylka v logaritmicím měřítku | 0,153095 |



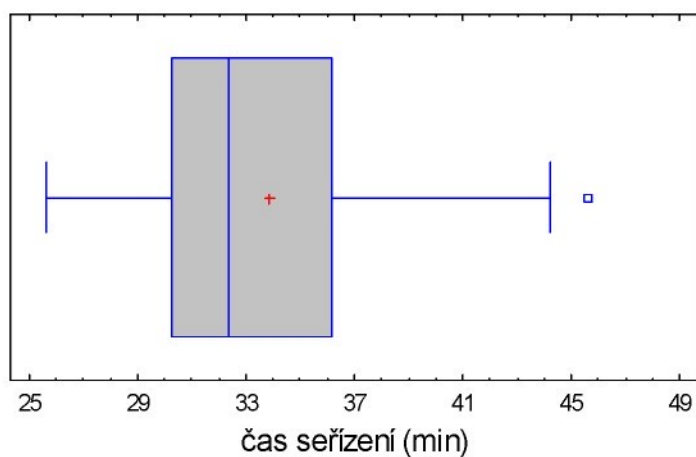
**Obr. I-9** Histogram experimentálně pořizovaných dat



**Obr. I-10** Histogram se znázorněním nehomogenity dat



Obr. I-11 Křivka hustoty výskytu prvků souboru



Obr. I-12 Krabicový diagram

## 2) Analýza dat prvního lokálního maxima (seřízení lisu bez nutnosti opětovného leštění razníku)

Tab. I-20 Základní statistické charakteristiky

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 25        |
| Průměr              | 31,1988   |
| Směrodatná odchylka | 2,64372   |
| Variační koeficient | 8,4738%   |
| Minimum             | 25,62     |
| Maximum             | 36,17     |
| Variační rozpětí    | 10,55     |
| Koef. šikmosti      | -0,207356 |
| Koef. špičatosti    | -0,445637 |

Tab. I-21 Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |       |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|-------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | na nebo pod | 25,0    |       | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 25,0        | 27,0    | 26,0  | 1       | 0,0400    | 1           | 0,0400        |
| 2     | 27,0        | 29,0    | 28,0  | 4       | 0,1600    | 5           | 0,2000        |
| 3     | 29,0        | 31,0    | 30,0  | 7       | 0,2800    | 12          | 0,4800        |
| 4     | 31,0        | 33,0    | 32,0  | 6       | 0,2400    | 18          | 0,7200        |

|   |      |      |      |   |        |    |        |
|---|------|------|------|---|--------|----|--------|
| 5 | 33,0 | 35,0 | 34,0 | 5 | 0,2000 | 23 | 0,9200 |
| 6 | 35,0 | 37,0 | 36,0 | 2 | 0,0800 | 25 | 1,0000 |
|   | nad  | 37,0 |      | 0 | 0,0000 | 25 | 1,0000 |

Střední hodnota = 31,1988 Směrodatná odchylka = 2,64372

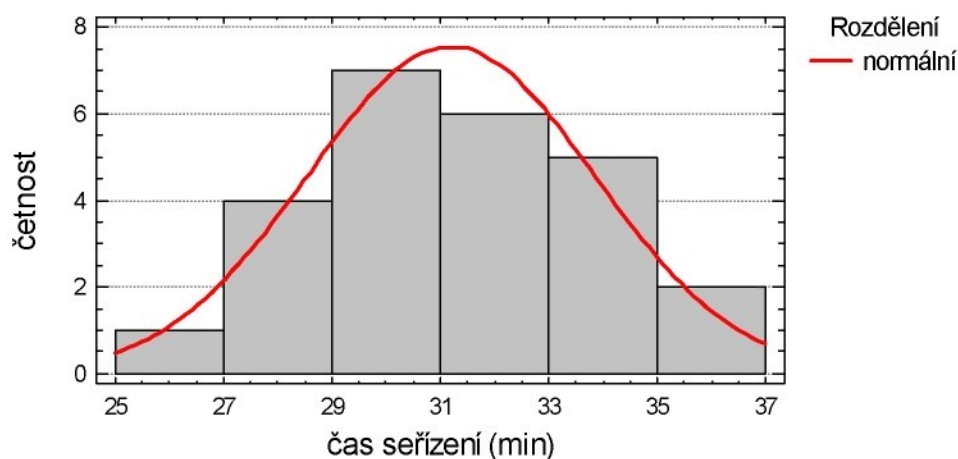
**Tab. I-22** Výsledky Pearsonova chi-kvadrát testu dobré shody pro normální rozdělení

|             | dolní   | horní   | pozorovaná | očekávaná |             |
|-------------|---------|---------|------------|-----------|-------------|
|             | hranice | hranice | četnost    | četnost   | Chi-kvadrát |
| na nebo pod |         | 28,1576 | 3          | 3,12      | 0,00        |
|             | 28,1576 | 29,4156 | 4          | 3,12      | 0,25        |
|             | 29,4156 | 30,3564 | 2          | 3,12      | 0,40        |
|             | 30,3564 | 31,1988 | 4          | 3,13      | 0,24        |
|             | 31,1988 | 32,0412 | 3          | 3,13      | 0,01        |
|             | 32,0412 | 32,982  | 2          | 3,12      | 0,40        |
|             | 32,982  | 34,24   | 4          | 3,12      | 0,25        |
| nad         | 34,24   |         | 3          | 3,12      | 0,00        |

Chi-kvadrát = 1,55997 s 5 stupni volnosti, P-hodnota = 0,906047

**Tab. I-23** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           | Normální  |
|-----------|-----------|
| DPLUS     | 0,0574542 |
| DMINUS    | 0,0577246 |
| DN        | 0,0577246 |
| P-hodnota | 0,9413762 |



**Obr. I-13** Histogram experimentálně pořizovaných dat pro případ bez výskytu chyby

### 3) Analýza dat druhého lokálního maxima (seřízení lisu s opětovným leštěním razníku)

**Tab. I-24** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 8        |
| Průměr              | 42,0975  |
| Směrodatná odchylka | 2,34426  |
| Variační koeficient | 5,56865% |
| Minimum             | 37,98    |
| Maximum             | 45,62    |
| Variační rozpětí    | 7,64     |

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Koef. šikmosti   | -0,364454 |
| Koef. špičatosti | 0,256036  |

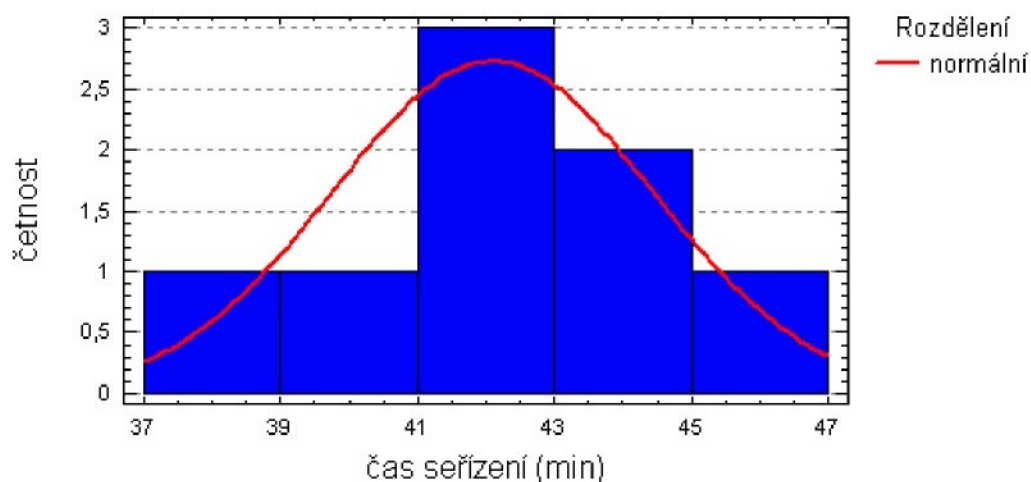
**Tab. I-25** Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |       |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|-------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | na nebo pod | 37,0    |       | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 37,0        | 39,0    | 38,0  | 1       | 0,1250    | 1           | 0,1250        |
| 2     | 39,0        | 41,0    | 40,0  | 1       | 0,1250    | 2           | 0,2500        |
| 3     | 41,0        | 43,0    | 42,0  | 3       | 0,3750    | 5           | 0,6250        |
| 4     | 43,0        | 45,0    | 44,0  | 2       | 0,2500    | 7           | 0,8750        |
| 5     | 45,0        | 47,0    | 46,0  | 1       | 0,1250    | 8           | 1,0000        |
|       | nad         | 47,0    |       | 0       | 0,0000    | 8           | 1,0000        |

Střední hodnota = 42,0975 Směrodatná odchylka = 2,34426

**Tab. I-26** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           |           |
|-----------|-----------|
|           | Normální  |
| DPLUS     | 0,0875667 |
| DMINUS    | 0,109498  |
| DN        | 0,109498  |
| P-hodnota | 0,926741  |

**Obr. I-14** Histogram experimentálně pořizovaných dat pro případ výskytu chyby

## I-2.4 Výměna nástroje na skupině lisů L1 pro VBD typu 1 a 2

**Tab. I-27** Základní statistické charakteristiky

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 36        |
| Průměr              | 47,6625   |
| Směrodatná odchylka | 5,60687   |
| Variační koeficient | 11,7637%  |
| Minimum             | 39,92     |
| Maximum             | 62,13     |
| Variační rozpětí    | 22,21     |
| Koef. šikmosti      | 1,74942   |
| Koef. špičatosti    | -0,342668 |

**Tab. I-28** Frekvenční tabulka

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | na nebo pod    | 38,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 38,0           | 42,2857        | 40,1429      | 6              | 0,1667           | 6                  | 0,1667               |
| 2            | 42,2857        | 46,5714        | 44,4286      | 14             | 0,3889           | 20                 | 0,5556               |
| 3            | 46,5714        | 50,8571        | 48,7143      | 5              | 0,1389           | 25                 | 0,6944               |
| 4            | 50,8571        | 55,1429        | 53,0         | 6              | 0,1667           | 31                 | 0,8611               |
| 5            | 55,1429        | 59,4286        | 57,2857      | 4              | 0,1111           | 35                 | 0,9722               |
| 6            | 59,4286        | 63,7143        | 61,5714      | 1              | 0,0278           | 36                 | 1,0000               |
| 7            | 63,7143        | 68,0           | 65,8571      | 0              | 0,0000           | 36                 | 1,0000               |
|              | nad            | 68,0           |              | 0              | 0,0000           | 36                 | 1,0000               |

Střední hodnota = 47,6625 Směrodatná odchylka = 5,60687

**Tab. I-29** Porovnání výsledků chi-kvadrát testů dobré shody pro lognorm. a normální rozdělení

|                       | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Chi-kvadrát           | 12,8891            | 13,778          |
| Počet stupňů volnosti | 13                 | 13              |
| P-hodnota             | 0,456415           | 0,389659        |

**Tab. I-30** Výsledky Pearsonova chi-kvadrát testu dobré shody pro lognormální rozdělení

|             | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   | <i>pozorovaná</i> | <i>očekávaná</i> |                    |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|
|             | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>četnost</i>    | <i>četnost</i>   | <i>Chi-kvadrát</i> |
| na nebo pod |                | 39,7339        | 0                 | 2,25             | 2,25               |
|             | 39,7339        | 41,5168        | 4                 | 2,25             | 1,36               |
|             | 41,5168        | 42,7856        | 3                 | 2,25             | 0,25               |
|             | 42,7856        | 43,839         | 4                 | 2,25             | 1,36               |
|             | 43,839         | 44,7802        | 4                 | 2,25             | 1,36               |
|             | 44,7802        | 45,6601        | 2                 | 2,25             | 0,03               |
|             | 45,6601        | 46,5105        | 2                 | 2,25             | 0,03               |
|             | 46,5105        | 47,3549        | 2                 | 2,25             | 0,03               |
|             | 47,3549        | 48,2147        | 1                 | 2,25             | 0,69               |
|             | 48,2147        | 49,1126        | 0                 | 2,25             | 2,25               |
|             | 49,1126        | 50,0776        | 1                 | 2,25             | 0,69               |
|             | 50,0776        | 51,1527        | 3                 | 2,25             | 0,25               |
|             | 51,1527        | 52,4122        | 3                 | 2,25             | 0,25               |
|             | 52,4122        | 54,014         | 1                 | 2,25             | 0,69               |
|             | 54,014         | 56,4377        | 4                 | 2,25             | 1,36               |
| nad         | 56,4377        |                | 2                 | 2,25             | 0,03               |

Chi-kvadrát = 12,8891 se 13 stupni volnosti P-hodnota = 0,456415

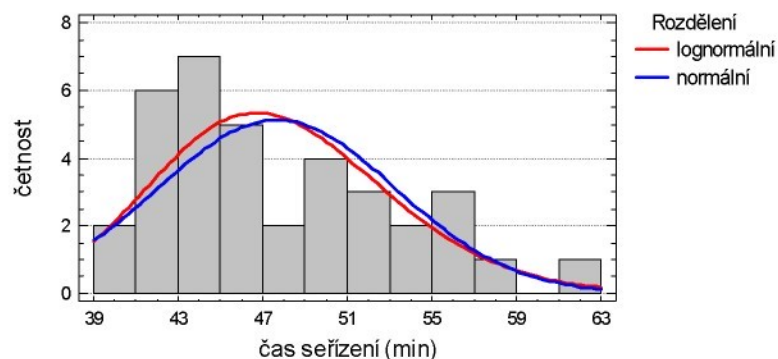
**Tab. I-31** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------|--------------------|-----------------|
| DPLUS     | 0,11482            | 0,132803        |
| DMINUS    | 0,0676843          | 0,0836554       |
| DN        | 0,11482            | 0,132803        |
| P-hodnota | 0,729592           | 0,549331        |

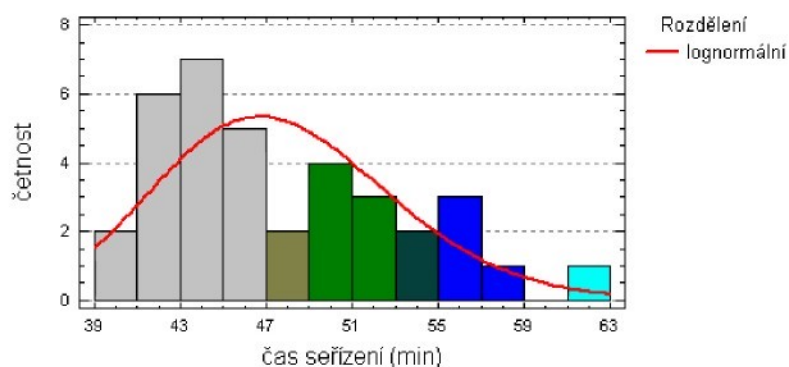
**Tab. I-32** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 47,6657  |
| směrodatná odchylka                         | 5,46967  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,85767  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,114376 |

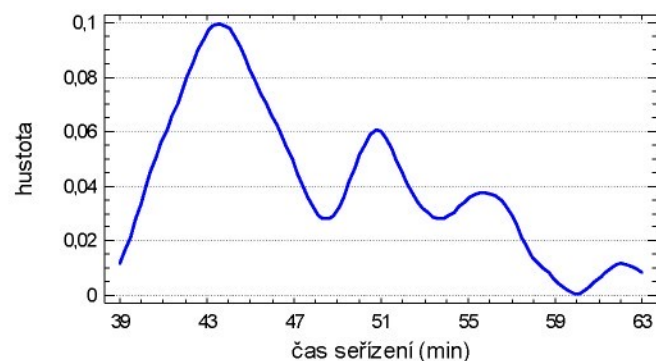




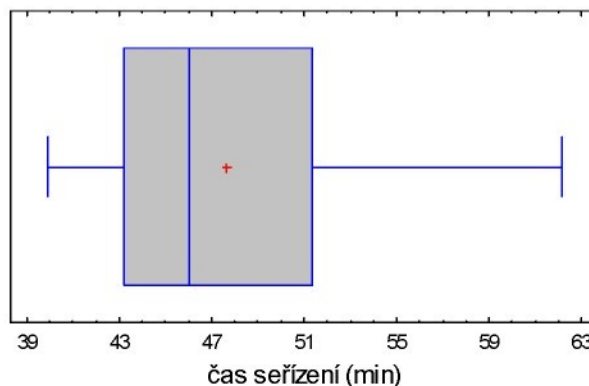
**Obr. I-15** Histogram proložený lognormálním a normálním rozdělením



**Obr. I-16** Histogram se znázorněním jednotlivých typů chyb



**Obr. I-17** Křivka hustoty výskytu prvků



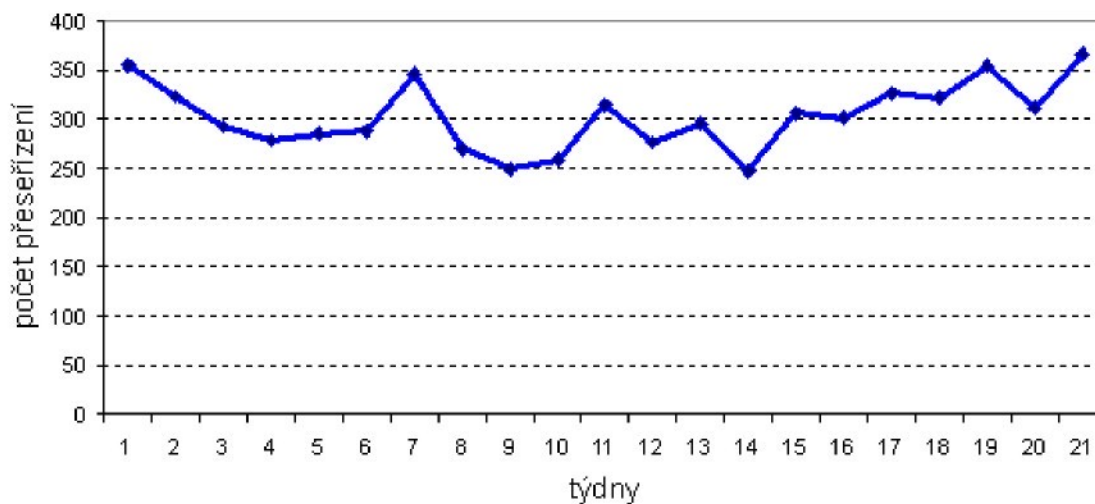
**Obr. I-18** Krabicový diagram

### I-3 Analýza a predikce časových řad zátěže

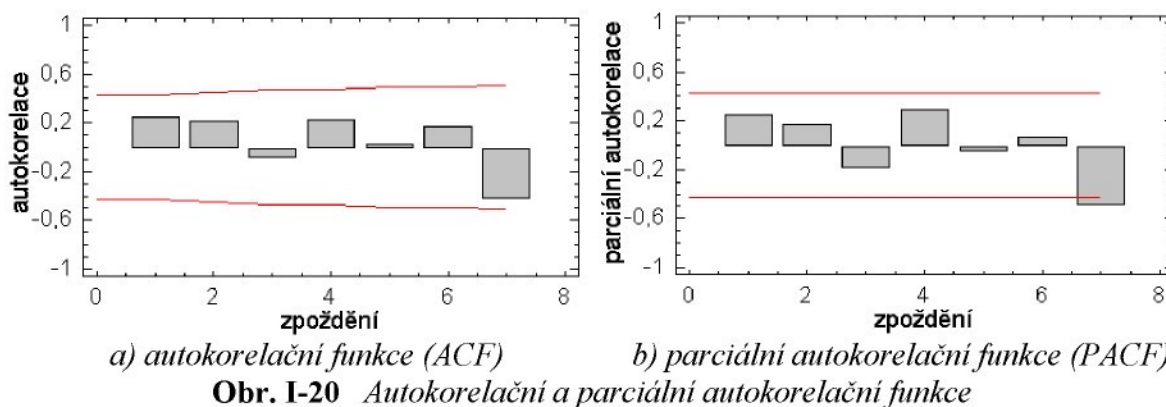
**Tab. I-33** Počty přeseřizení lisů a provedených zkoušek za předchzích 21 týdnů

| Poř.č. | Týdny roku 2008 | Počet přeseřizení | Počet zkoušek | Celkový počet seřizovacích operací |
|--------|-----------------|-------------------|---------------|------------------------------------|
| 1      | 15              | 355               | 29            | 384                                |
| 2      | 16              | 323               | 24            | 347                                |
| 3      | 17              | 293               | 10            | 303                                |
| 4      | 18              | 279               | 24            | 303                                |
| 5      | 19              | 285               | 20            | 305                                |
| 6      | 20              | 288               | 15            | 303                                |
| 7      | 21              | 346               | 26            | 372                                |
| 8      | 22              | 270               | 27            | 297                                |
| 9      | 23              | 250               | 35            | 285                                |
| 10     | 24              | 259               | 25            | 284                                |
| 11     | 25              | 314               | 28            | 342                                |
| 12     | 26              | 277               | 17            | 294                                |
| 13     | 27              | 296               | 46            | 342                                |
| 14     | 28              | 248               | 24            | 272                                |
| 15     | 29              | 306               | 41            | 347                                |
| 16     | 33              | 301               | 17            | 318                                |
| 17     | 34              | 326               | 24            | 350                                |
| 18     | 35              | 322               | 22            | 344                                |
| 19     | 36              | 354               | 44            | 398                                |
| 20     | 37              | 311               | 45            | 356                                |
| 21     | 38              | 366               | 36            | 402                                |

#### I-3.1 Analýza časové řady počtů přeseřizení lisů



**Obr. I-19** Časová řada počtů přeseřizení lisů

**Tab. I-34** Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,244598                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,215429                  | 0,230905         | -0,452566                    | 0,452566                     |
| 3        | -0,0946862                | 0,240285         | -0,470951                    | 0,470951                     |
| 4        | 0,229569                  | 0,242055         | -0,474421                    | 0,474421                     |
| 5        | 0,0254267                 | 0,25221          | -0,494324                    | 0,494324                     |
| 6        | 0,17053                   | 0,252332         | -0,494563                    | 0,494563                     |
| 7        | -0,42601                  | 0,257762         | -0,505205                    | 0,505205                     |

**Tab. I-35** Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,244598                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,165503                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 3        | -0,195906                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 4        | 0,290695                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 5        | -0,0524638                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 6        | 0,0684617                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 7        | -0,500463                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |

**Tab. I-36** Testy náhodnosti časové řady ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | $P$ -hodnota |
|-----------------------------|--------------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,107        |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0          |
| Box-Pierceův                | 0,336        |

### I-3.2 Predikce časové řady počtů přeseřžení lisů

#### Testované modely:

- (A) Náhodná procházka
- (B) Konstantní průběh = 303,286
- (C) Lineární trend =  $289,2 + 1,28052 t$
- (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,4033$
- (I) Brownovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1788$
- (J) Holtsovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1801$  a  $\beta = 0,8563$
- (M) ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty
- (N) ARIMA(0,2,2) s konstantními koeficienty

(O) ARIMA(2,0,1) s konstantními koeficienty

(P) ARIMA(0,1,1)

(Q) ARIMA(0,2,2)

**Tab. I-37** Ukazatele kvality modelů

| Model | RMSE    | MAE     | MAPE    | ME          | MPE       | AIC            |
|-------|---------|---------|---------|-------------|-----------|----------------|
| (A)   | 38,9108 | 31,45   | 10,4461 | -1,1368E-14 | -0,822221 | 7,27146        |
| (B)   | 34,2186 | 27,6327 | 9,22471 | 8,12049E-15 | -1,22125  | 7,16078        |
| (C)   | 34,148  | 25,6638 | 8,56761 | 8,12049E-15 | -1,15892  | 7,25189        |
| (H)   | 33,3257 | 29,2972 | 9,71581 | 1,8695      | -0,365244 | 7,10789        |
| (I)   | 34,4413 | 30,5921 | 10,1164 | 3,54808     | 0,160923  | 7,17375        |
| (J)   | 32,0606 | 25,3736 | 8,29336 | 8,04734     | 1,89087   | 7,12573        |
| (M)   | 27,2107 | 19,4414 | 6,45838 | -0,245769   | -0,676924 | <b>7,08341</b> |
| (N)   | 30,0313 | 20,5159 | 6,89932 | 0,844933    | -0,35839  | 7,09019        |
| (O)   | 28,8245 | 20,8497 | 7,04848 | -1,59487    | -1,27982  | 7,1034         |
| (P)   | 33,4441 | 29,2028 | 9,76186 | 0,393287    | -0,824719 | 7,11499        |
| (Q)   | 31,9582 | 25,1961 | 8,35288 | 5,88587     | 1,23167   | 7,11934        |

**Legenda:**ME ... střední chyba:  $ME = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t - y_t)$ RMSE ... odmocnina ze střední čtvercové chyby:  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t - y_t)^2}$ MAE ... střední absolutní chyba:  $MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |Y_t - y_t|$ MAPE ... střední absolutní chyba procentuální:  $MAPE = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|Y_t - y_t|}{Y_t}$ MPE ... střední chyba procentuální:  $MPE = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \frac{(Y_t - y_t)}{Y_t}$ Kde  $Y_t$  jsou skutečné hodnoty časové řady,  $y_t$  jsou vyrovnané hodnoty a  $T$  je počet členů časové řady.

AIC ... Akaikeho informativní kritérium

**Tab. I-38** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

| Model | RMSE    | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)   | 38,9108 | OK        | OK        | **        | OK        | OK        |
| (B)   | 34,2186 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (C)   | 34,148  | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (H)   | 33,3257 | OK        | OK        | OK        | *         | OK        |
| (I)   | 34,4413 | OK        | OK        | OK        | *         | OK        |
| (J)   | 32,0606 | OK        | OK        | *         | OK        | OK        |
| (M)   | 27,2107 | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)   | 30,0313 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)   | 28,8245 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)   | 33,4441 | OK        | OK        | OK        | *         | OK        |
| (Q)   | 31,9582 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

**Legenda:**

RUNS ... test rostoucích a klesajících sekvencí

RUNM ... test porovnávání s mediánem

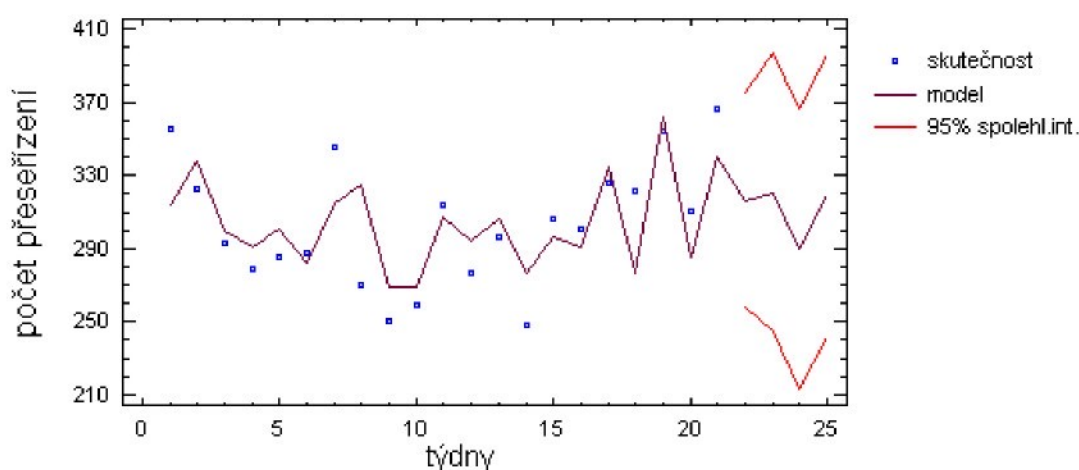
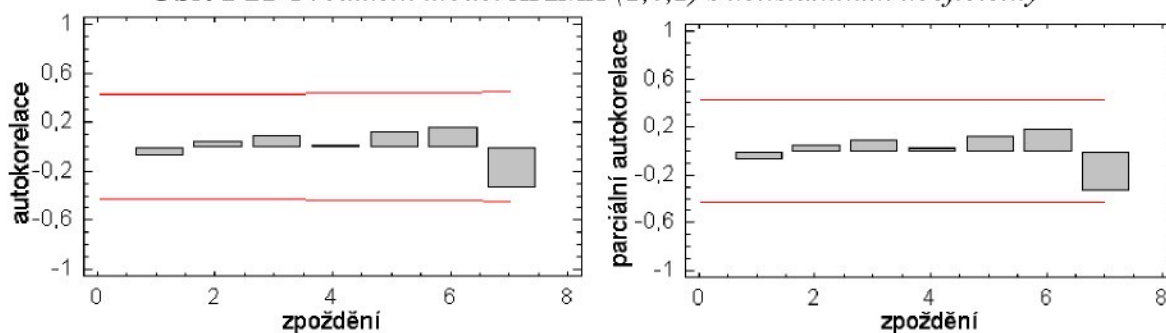
AUTO ... Box-Pierce test pro extrémní autokorelace

MEAN ... test rozdílu střední hodnoty 1. a 2. poloviny řady

VAR ... test rozdílu odchylek v 1. a 2. polovině řady

OK ... model neprošel testem ( $p \geq 0,05$ )\* ... model neprošel testem s 95% mírou spolehlivosti ( $0,01 < p \leq 0,05$ )\*\* ... model neprošel testem s 99% mírou spolehlivosti ( $0,001 < p \leq 0,01$ )\*\*\* ... model neprošel testem s 99,9% mírou spolehlivosti ( $p \leq 0,001$ )

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.

**Obr. I-21** Predikční model ARIMA (2,0,2) s konstantními koeficienty*a) autokorelační funkce (ACF)**b) parciální autokorelační funkce (PACF)***Obr. I-22** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (2,0,2) s konstantními koeficienty**Tab. I-39** Autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konst.koef.

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,0803134                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,0468663                 | 0,219621         | -0,43045                     | 0,43045                      |
| 3        | 0,0859175                 | 0,220097         | -0,431382                    | 0,431382                     |
| 4        | 0,0111259                 | 0,221688         | -0,434501                    | 0,434501                     |
| 5        | 0,12835                   | 0,221715         | -0,434553                    | 0,434553                     |
| 6        | 0,160981                  | 0,225225         | -0,441434                    | 0,441434                     |
| 7        | -0,333429                 | 0,230639         | -0,452045                    | 0,452045                     |



**Tab. I-40** *Parciální autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty*

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,0803134                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,0406784                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 3        | 0,0935526                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 4        | 0,0237401                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 5        | 0,124854                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 6        | 0,178182                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 7        | -0,336484                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |

**Tab. I-41** *Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty (P-hodnota > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady reziduí)*

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 1,0       |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0       |
| Box-Pierceův                | 0,312549  |

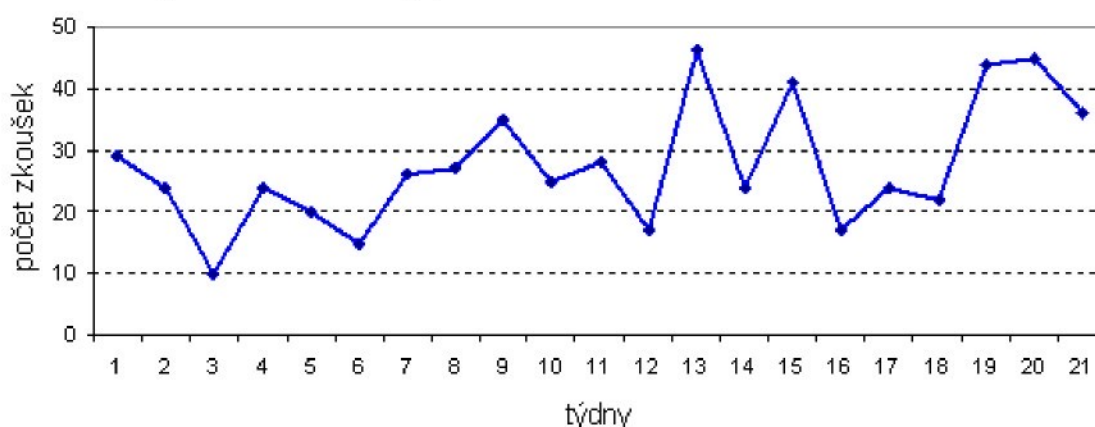
**Tab. I-42** *Hodnoty časové řady modelu ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty*

| Týden | Skutečnost | Model   | Reziduum |
|-------|------------|---------|----------|
| 1,0   | 355,0      | 314,037 | 40,9632  |
| 2,0   | 323,0      | 338,405 | -15,4047 |
| 3,0   | 293,0      | 299,543 | -6,54304 |
| 4,0   | 279,0      | 290,503 | -11,5028 |
| 5,0   | 285,0      | 300,957 | -15,9569 |
| 6,0   | 288,0      | 281,893 | 6,1068   |
| 7,0   | 346,0      | 314,938 | 31,0623  |
| 8,0   | 270,0      | 325,075 | -55,0755 |
| 9,0   | 250,0      | 268,97  | -18,9705 |
| 10,0  | 259,0      | 269,409 | -10,4094 |
| 11,0  | 314,0      | 307,749 | 6,25089  |
| 12,0  | 277,0      | 293,979 | -16,9794 |
| 13,0  | 296,0      | 306,014 | -10,0135 |
| 14,0  | 248,0      | 277,042 | -29,0424 |
| 15,0  | 306,0      | 295,867 | 10,1327  |
| 16,0  | 301,0      | 290,859 | 10,1411  |
| 17,0  | 326,0      | 334,938 | -8,93847 |
| 18,0  | 322,0      | 276,803 | 45,1969  |
| 19,0  | 354,0      | 361,879 | -7,87902 |
| 20,0  | 311,0      | 285,441 | 25,5595  |
| 21,0  | 366,0      | 339,859 | 26,141   |

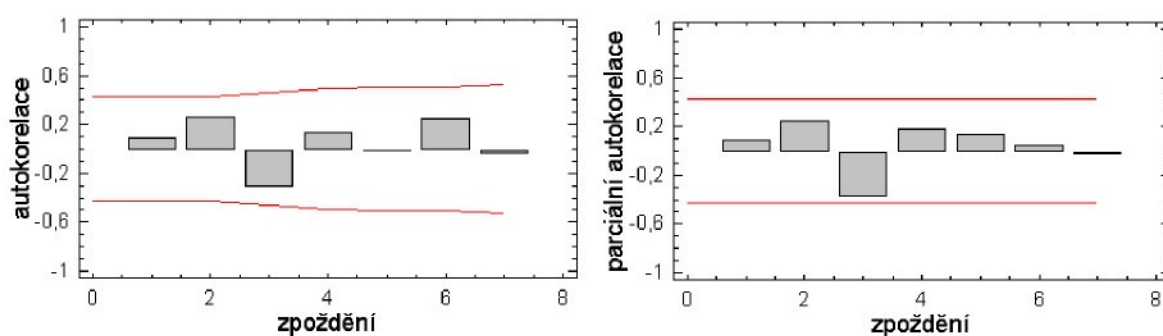
**Tab. I-43** *Predikované hodnoty časové řady*

| Týden | Predikované počty přeseřizení | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 22,0  | 316,512                       | 258,459                      | 374,565                      |
| 23,0  | 320,527                       | 244,455                      | 396,599                      |
| 24,0  | 289,784                       | 213,054                      | 366,514                      |
| 25,0  | 319,101                       | 242,113                      | 396,089                      |

### I-3.3 Analýza časové řady počtů zkoušek



Obr. I-23 Časová řada počtů přeseřizení lisů



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

Obr. I-24 Autokorelační a parciální autokorelační funkce časové řady

Tab. I-44 Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,0888352                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,256822                  | 0,219933         | -0,431062                    | 0,431062                     |
| 3        | -0,313408                 | 0,233778         | -0,458198                    | 0,458198                     |
| 4        | 0,13057                   | 0,252996         | -0,495864                    | 0,495864                     |
| 5        | -0,0256743                | 0,256185         | -0,502114                    | 0,502114                     |
| 6        | 0,251891                  | 0,256307         | -0,502354                    | 0,502354                     |
| 7        | -0,0444968                | 0,267836         | -0,52495                     | 0,52495                      |

Tab. I-45 Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,0888352                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,25091                   | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 3        | -0,379486                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 4        | 0,181025                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 5        | 0,135142                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 6        | 0,0426755                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 7        | -0,0344537                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |

**Tab. I-46** Testy náhodnosti časové řady (*P-hodnota* > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,490693  |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,651841  |
| Box-Pierceův                | 0,616189  |

### I-3.4 Predikce časové řady počtů zkoušek

#### Testované modely:

- (A) Náhodná procházka  
 (B) Konstantní průběh = 27,5714  
 (C) Lineární model =  $18,7714 + 0,8 t$   
 (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1699$   
 (I) Brownovo lineární exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1357$   
 (J) Holtsovo lineární exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,2015$  a  $\beta = 0,1314$   
**(M) ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty**  
 (N) ARIMA(1,1,1) s konstantními koeficienty  
 (O) ARIMA(0,1,2) s konstantními koeficienty  
 (P) ARIMA(1,1,2) s konstantními koeficienty  
 (Q) ARIMA(2,1,1) s konstantními koeficienty

**Tab. I-47** Ukazatele kvality modelů

| Model | RMSE    | MAE     | MAPE    | ME          | MPE      | AIC     |
|-------|---------|---------|---------|-------------|----------|---------|
| (A)   | 13,9181 | 10,95   | 45,8601 | -1,2434E-15 | -14,5786 | 5,21575 |
| (B)   | 10,1517 | 7,94558 | 34,5248 | -5,0753E-16 | -15,4795 | 4,73052 |
| (C)   | 9,08539 | 7,21361 | 31,3161 | -1,0150E-15 | -11,8217 | 4,60381 |
| (H)   | 10,1777 | 7,85633 | 31,6707 | 2,37451     | -4,77549 | 4,73563 |
| (I)   | 10,4525 | 8,24671 | 32,6074 | 2,99268     | -1,25011 | 4,78893 |
| (J)   | 10,3217 | 7,95547 | 35,4719 | -0,449603   | -16,5104 | 4,85897 |
| (M)   | 8,44096 | 6,54673 | 29,4188 | -1,25095    | -15,4723 | 4,45667 |
| (N)   | 8,46974 | 6,13431 | 27,3308 | -0,872774   | -13,0846 | 4,55871 |
| (O)   | 8,653   | 6,5678  | 29,0596 | -0,761866   | -13,7608 | 4,60153 |
| (P)   | 8,5422  | 5,94512 | 27,1256 | -1,23959    | -14,4419 | 4,67099 |
| (Q)   | 8,64464 | 6,05444 | 27,0704 | -0,763263   | -13,0255 | 4,69483 |

**Tab. I-48** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

| Model      | RMSE           | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)        | 13,9181        | OK        | OK        | **        | OK        | OK        |
| (B)        | 10,1517        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (C)        | 9,08539        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (H)        | 10,1777        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (I)        | 10,4525        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (J)        | 10,3217        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| <b>(M)</b> | <b>8,44096</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)        | 8,46974        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)        | 8,653          | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)        | 8,5422         | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (Q)        | 8,64464        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

#### Legenda:

RMSE = odmocnina střední čtvercové odchylky

RUNS = test rostoucích a klesajících sekvencí

RUNM = test porovnávání s mediánem

AUTO = Box-Pierce test pro extrémní autokorelace

MEAN = test rozdílu střední hodnoty 1. a 2. poloviny řady

VAR = test rozdílu odchylek v 1. a 2. polovině řady

AIC = Akaikeho informativní kritérium

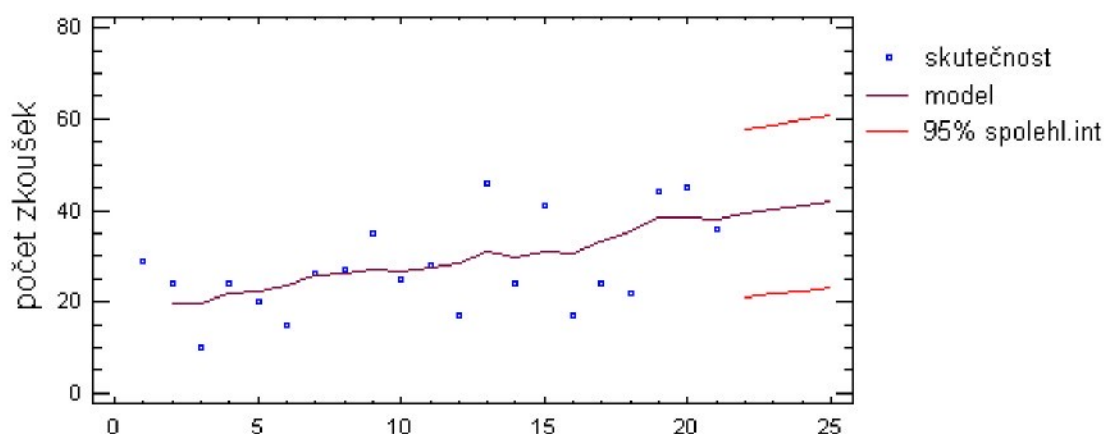
OK = model neprošel testem ( $p \geq 0,05$ )

\* = model neprošel testem s 95% mírou spolehlivosti ( $0,01 < p \leq 0,05$ )

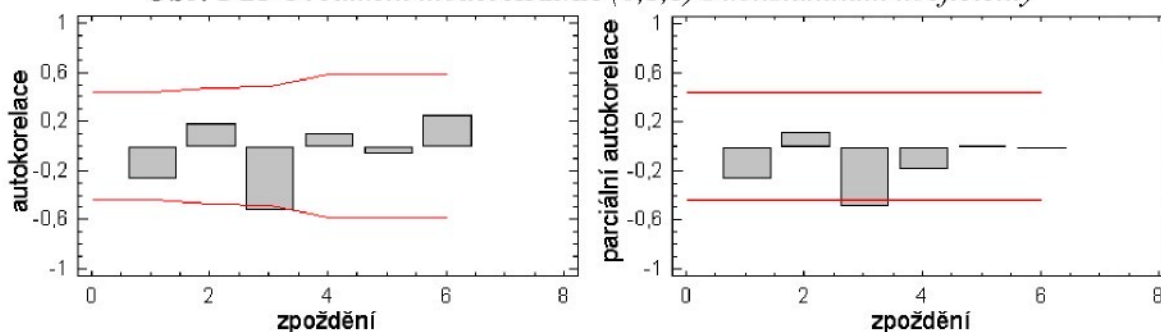
\*\* = model neprošel testem s 99% mírou spolehlivosti ( $0,001 < p \leq 0,01$ )

\*\*\* = model neprošel testem s 99,9% mírou spolehlivosti ( $p \leq 0,001$ )

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.



**Obr. I-25** Predikční model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

**Obr. I-26** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty

**Tab. I-49** Autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(0,1,1) s konst.koef.

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,273019                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 2        | 0,180892                  | 0,239696         | -0,469795                    | 0,469795                     |
| 3        | -0,530483                 | 0,246427         | -0,482988                    | 0,482988                     |
| 4        | 0,102972                  | 0,298106         | -0,584279                    | 0,584279                     |
| 5        | -0,0664102                | 0,299879         | -0,587754                    | 0,587754                     |
| 6        | 0,248129                  | 0,300614         | -0,589194                    | 0,589194                     |

**Tab. I-50** *Parciální autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty*

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,273019                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 2        | 0,114919                  | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 3        | -0,498661                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 4        | -0,189392                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 5        | 0,00542248                | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 6        | -0,0264507                | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |

**Tab. I-51** *Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty (P-hodnota > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady rezidui)*

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,250691  |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,404171  |
| Box-Pierceův                | 0,0974962 |

Hodnoty autokorelačních, parciálních autokorelačních korelačních koeficientů reziduálních složek časové řady a P-hodnot testů náhodnosti reziduálních složek časové řady ukazují, že reziduální složky nelze považovat za zcela náhodné.

**Tab. I-52** *Hodnoty časové řady a funkční hodnoty modelu ARIMA(0,1,1) s konst. koef.*

| Týden | Skutečnost | Model   | Reziduum |
|-------|------------|---------|----------|
| 1,0   | 29,0       |         |          |
| 2,0   | 24,0       | 19,4769 | 4,52311  |
| 3,0   | 10,0       | 19,613  | -9,61303 |
| 4,0   | 24,0       | 21,8537 | 2,14631  |
| 5,0   | 20,0       | 22,3437 | -2,34367 |
| 6,0   | 15,0       | 23,5021 | -8,5021  |
| 7,0   | 26,0       | 25,5774 | 0,422635 |
| 8,0   | 27,0       | 26,324  | 0,676041 |
| 9,0   | 35,0       | 27,0328 | 7,96717  |
| 10,0  | 25,0       | 26,6562 | -1,65623 |
| 11,0  | 28,0       | 27,7123 | 0,287686 |
| 12,0  | 17,0       | 28,479  | -11,479  |
| 13,0  | 46,0       | 30,9975 | 15,0025  |
| 14,0  | 24,0       | 29,5735 | -5,57346 |
| 15,0  | 41,0       | 31,2127 | 9,78728  |
| 16,0  | 17,0       | 30,5652 | -13,5652 |
| 17,0  | 24,0       | 33,3942 | -9,39419 |
| 18,0  | 22,0       | 35,6023 | -13,6023 |
| 19,0  | 44,0       | 38,4368 | 5,56318  |
| 20,0  | 45,0       | 38,4181 | 6,58189  |
| 21,0  | 36,0       | 38,2477 | -2,24775 |

**Tab. I-53** *Predikované hodnoty časové řady*

| Týden | Predikované počty zkoušek | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 22,0  | 39,3919                   | 21,1074                      | 57,6764                      |
| 23,0  | 40,2014                   | 21,7154                      | 58,6875                      |



|      |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|
| 24,0 | 41,0109 | 22,3255 | 59,6963 |
| 25,0 | 41,8204 | 22,9378 | 60,7031 |

#### I-4 Kapacitní výpočet

**Tab. I-54** Poměrové koeficienty rozpadu časové řady mezi jednotlivé činnosti

|     | L1    | L2    | L3    |
|-----|-------|-------|-------|
| M12 | 0,056 | 0,042 | 0,042 |
| M3  | 0,024 | 0,018 | 0,018 |
| N12 | 0,140 | 0,105 | 0,105 |
| N3  | 0,060 | 0,045 | 0,045 |
| P12 | 0,084 | 0,063 | 0,063 |
| P3  | 0,036 | 0,027 | 0,027 |

**Tab. I-54 (1/2)** Počty pseudonáh. čísel, jež mají být pro jednotlivé činnosti generovány

|    | L1  |    |     |    |     |    | L2  |    |     |    |     |    |
|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| h  | M12 | M3 | N12 | N3 | P12 | P3 | M12 | M3 | N12 | N3 | P12 | P3 |
| -4 | 18  | 8  | 45  | 19 | 27  | 12 | 14  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  |
| -3 | 20  | 8  | 50  | 21 | 30  | 13 | 15  | 6  | 37  | 16 | 22  | 10 |
| -2 | 17  | 7  | 44  | 19 | 26  | 11 | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 8  |
| -1 | 20  | 9  | 51  | 22 | 31  | 13 | 15  | 7  | 38  | 16 | 23  | 10 |
| 0  | 18  | 8  | 44  | 19 | 27  | 11 | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 9  |
| 1  | 18  | 8  | 45  | 19 | 27  | 12 | 13  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  |
| 2  | 16  | 7  | 41  | 17 | 24  | 10 | 12  | 5  | 30  | 13 | 18  | 8  |
| 3  | 18  | 8  | 45  | 19 | 27  | 11 | 13  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  |

**Tab. I-54 (2/2)** Počty pseudonáh. čísel, jež mají být pro jednotlivé činnosti generovány

|    | L3  |    |     |    |     |    | L1,2 |
|----|-----|----|-----|----|-----|----|------|
| h  | M12 | M3 | N12 | N3 | P12 | P3 | ZK   |
| -4 | 14  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  | 22   |
| -3 | 15  | 6  | 37  | 16 | 22  | 10 | 44   |
| -2 | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 8  | 45   |
| -1 | 15  | 7  | 38  | 16 | 23  | 10 | 36   |
| 0  | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 9  | 39   |
| 1  | 13  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  | 40   |
| 2  | 12  | 5  | 30  | 13 | 18  | 8  | 41   |
| 3  | 3   | 18 | 8   | 45 | 19  | 27 | 11   |

**Tab. I-55 (1/3)** Tvar a parametry teoretických rozdělení jednotlivých činností

| skupina lisů              | L1    |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| seřizovací operace        | M12   | M3     | N12    | N3     | P12    | P3     |
| typ rozdělení             | N     | LN     | LN     | LN     | LN     | LN     |
| střední hodnota           | 21,25 | 26,151 | 47,666 | 54,082 | 55,731 | 63,877 |
| směrodatná odchylka       | 1,685 | 4,601  | 5,4697 | 8,7721 | 6,6664 | 6,4272 |
| stř. hodn. v log. měř.    |       | 3,2487 | 3,8577 | 3,9775 | 4,0134 | 4,1519 |
| směrod. odch. v log. měř. |       | 0,1746 | 0,1144 | 0,1611 | 0,1192 | 0,1004 |

**Tab. I-55 (2/3) Tvar a parametry teoretických rozdělení jednotlivých činností**

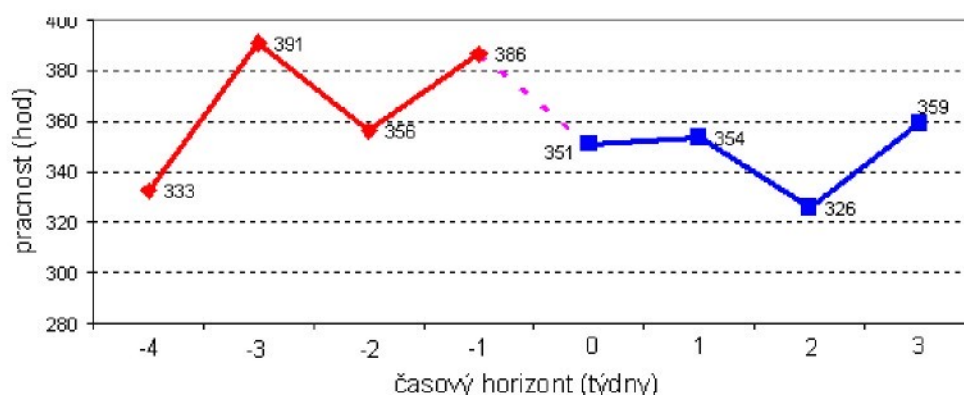
| skupina lisů              | L2    |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| seřizovací operace        | M12   | M3     | N12    | N3     | P12    | P3     |
| typ rozdělení             | N     | LN     | LN     | LN     | LN     | LN     |
| střední hodnota           | 22,86 | 26,01  | 50,888 | 56,333 | 65,203 | 72,923 |
| směrodatná odchylka       | 1,969 | 4,0527 | 3,9315 | 6,598  | 5,6664 | 9,3592 |
| stř. hodn. v log. měř.    |       | 3,2465 | 3,9266 | 4,0245 | 4,1737 | 4,2812 |
| směrod. odch. v log. měř. |       | 0,1549 | 0,0771 | 0,1167 | 0,0867 | 0,1278 |

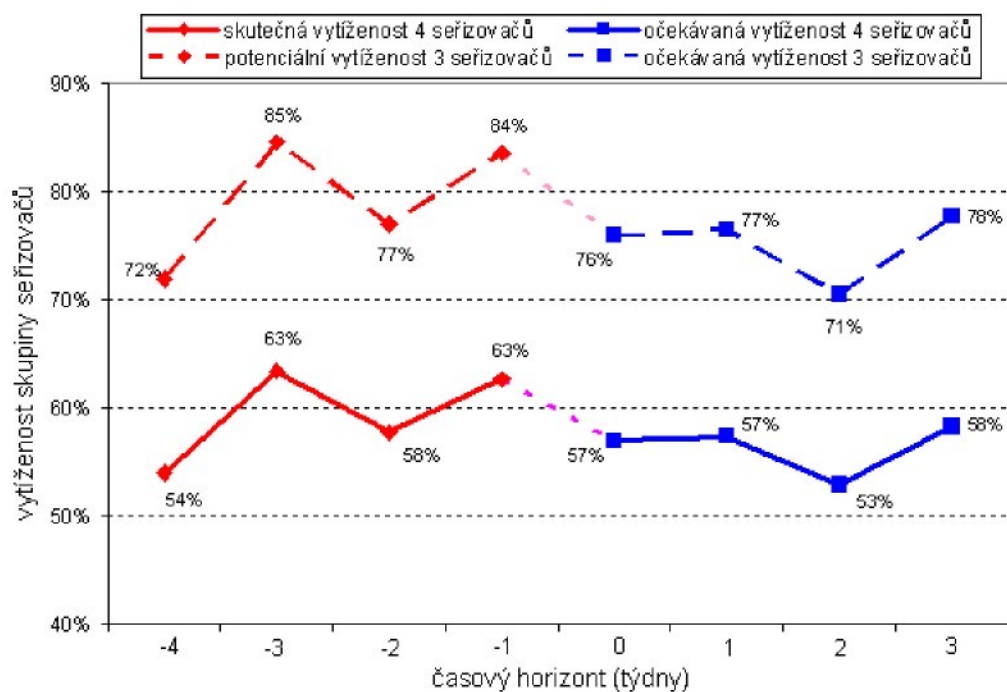
**Tab. I-55 (3/3) Tvar a parametry teoretických rozdělení jednotlivých činností**

| skupina lisů               | L3    |        |        |        |        |        | L1,2   |
|----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| seřizovací operace         | M12   | M3     | N12    | N3     | P12    | P3     | ZK     |
| typ rozdělení              | N     | LN     | N+N    | LN     | N+N    | LN     | N      |
| střední hodnota            | 23,62 | 27,304 |        | 42,949 |        | 54,391 | 73,774 |
| směrodatná odchylka        | 1,262 | 5,0526 |        | 5,3377 |        | 6,9236 | 3,8813 |
| stř. hodn. v log. měř.     |       | 3,2902 |        | 3,7524 |        | 3,9882 |        |
| směrod. odch. v log. měř.  |       | 0,1835 |        | 0,1238 |        | 0,1268 |        |
| stř. hodn. pro 1.lok. max. |       |        | 31,66  |        | 43,714 |        |        |
| sm. odch. pro 1.lok. max.  |       |        | 1,7971 |        | 2,1123 |        |        |
| stř. hodn. pro 2.lok. max. |       |        | 42,1   |        | 54,613 |        |        |
| sm. odch. pro 2.lok. max.  |       |        | 2,3421 |        | 2,7885 |        |        |
| poměr ploch lok. max.      |       |        | 8/33   |        | 3/13   |        |        |

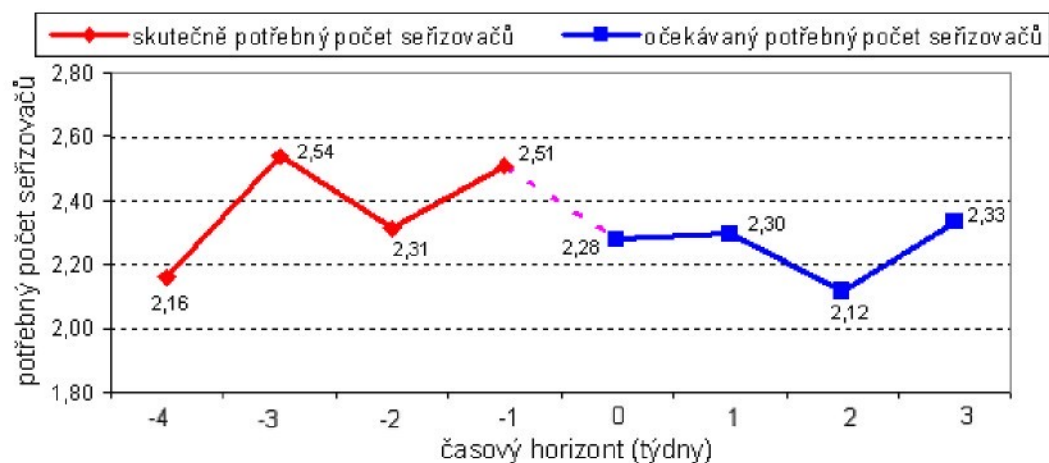
**Tab.I-56 Poměrové koeficienty rozpadu časové řady mezi jednotlivé činnosti**

|            | L1    | L2    | L3    |
|------------|-------|-------|-------|
| <b>M12</b> | 0,056 | 0,042 | 0,042 |
| <b>M3</b>  | 0,024 | 0,018 | 0,018 |
| <b>N12</b> | 0,140 | 0,105 | 0,105 |
| <b>N3</b>  | 0,060 | 0,045 | 0,045 |
| <b>P12</b> | 0,084 | 0,063 | 0,063 |
| <b>P3</b>  | 0,036 | 0,027 | 0,027 |

**Obr. 27 Skutečný a očekávaný objem práce**



**Obr. 28** Skutečná a očekávaná vytíženost skupiny 4 (3) seřizovačů



**Obr. 29** Potřebný počet seřizovačů

**Tab.I-57** Výsledky kapacitního výpočtu

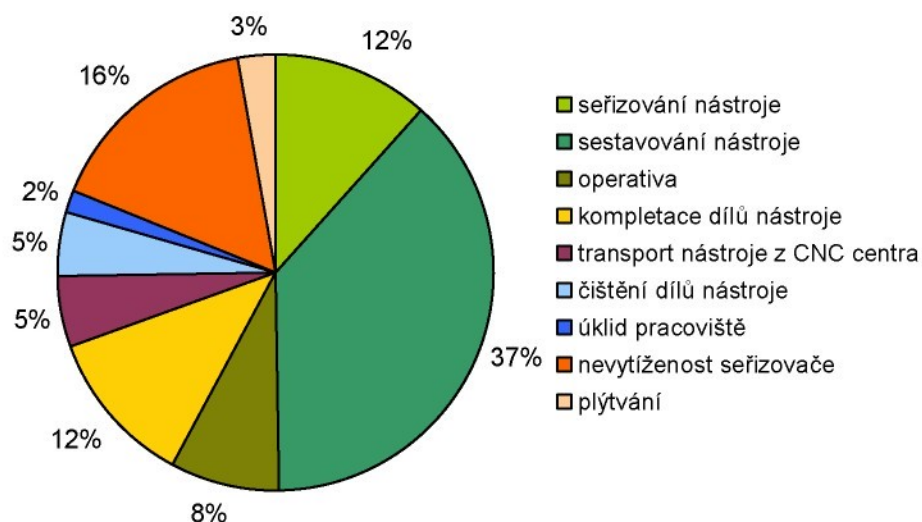
| horizont (týden)                 | -4   | -3   | -2   | -1   | 0    | 1    | 2    | 3    |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pracnost (hod)                   | 333  | 391  | 356  | 386  | 351  | 354  | 326  | 359  |
| vytíženost skupiny 4 seřizovačů  | 54%  | 63%  | 58%  | 63%  | 57%  | 57%  | 53%  | 58%  |
| vytíženost skupiny 3 seřizovačů  | 72%  | 85%  | 77%  | 84%  | 76%  | 77%  | 71%  | 78%  |
| potřebný počet seřizovačů        | 2,16 | 2,54 | 2,31 | 2,51 | 2,28 | 2,30 | 2,12 | 2,33 |
| reálný potřebný počet seřizovačů | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |

## Příloha II: Příloha k experimentu B

### II-1 Struktura práce seřizovače nástrojů pro obráběcí CNC centra

**Tab. II-1** Tabulka časů jednotlivých činností – výstup ze čtyř snímků pracovního dne

| č. | činnost                         | hh:mm:ss | min    | %   |
|----|---------------------------------|----------|--------|-----|
| 1  | Seřizování nástroje             | 3:31:25  | 211,42 | 12% |
| 2  | Sestavování nástroje            | 11:21:21 | 681,35 | 38% |
| 3  | Operativa                       | 2:26:21  | 146,34 | 8%  |
| 4  | Kompletace dílů nástroje        | 3:29:05  | 209,08 | 12% |
| 5  | Transport nástroje z CNC centra | 1:37:49  | 97,82  | 5%  |
| 6  | Čištění dílů nástroje           | 1:24:27  | 84,45  | 5%  |
| 7  | Úklid pracoviště                | 0:31:22  | 31,37  | 2%  |
| 8  | Nevytíženost seřizovače         | 4:49:56  | 289,93 | 16% |
| 9  | Plýtvání                        | 0:48:15  | 48,26  | 3%  |



**Obr. II-1** Struktura pracovních činností seřizovače nástrojů pro obráběcí CNC centra

## II-2 Časové studie

### II-2.1 Sestavení nástroje

**Tab. II-2** Časy sestavení dvojic dílů nástrojů v sekundách

| spojení čepu se základním držákem | upnutí do kleštiny | upnutí do držáku Weldon s jedním šroubem | upnutí do držáku Weldon se dvěma šrouby | upnutí do držáku Multi Bore | upnutí do držáku Capto | axiální upnutí držáku VBD čelní frézy pomocí šroubu | zašroubování stopkové frézy | montáž 1 VBD čelní frézy |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 18                                | 24                 | 15                                       | 23                                      | 28                          | 37                     | 27                                                  | 17                          | 23                       |
| 17                                | 34                 | 13                                       | 26                                      | 27                          | 40                     | 30                                                  | 16                          | 30                       |
| 19                                | 29                 | 17                                       | 25                                      | 24                          | 38                     | 29                                                  | 20                          | 27                       |
| 16                                | 32                 | 15                                       | 19                                      | 27                          | 35                     | 28                                                  | 21                          | 25                       |
| 18                                | 31                 | 15                                       | 22                                      | 28                          | 35                     | 29                                                  | 19                          | 26                       |
| 17                                | 33                 | 16                                       | 25                                      | 27                          | 32                     | 24                                                  | 18                          | 23                       |
| 21                                | 27                 | 16                                       | 25                                      | 28                          | 34                     | 31                                                  | 19                          | 30                       |
| 19                                | 27                 | 16                                       | 22                                      | 28                          | 36                     | 26                                                  | 18                          | 26                       |
| 18                                | 27                 | 14                                       | 20                                      | 27                          | 37                     | 29                                                  | 19                          | 28                       |
| 17                                | 24                 | 16                                       | 25                                      | 30                          | 40                     | 28                                                  | 20                          | 24                       |
| 18                                | 32                 | 12                                       | 24                                      | 24                          | 34                     | 29                                                  | 22                          | 32                       |
| 18                                | 26                 | 14                                       | 22                                      | 27                          | 34                     | 27                                                  | 19                          | 25                       |
| 17                                | 28                 | 17                                       | 25                                      | 26                          | 37                     | 31                                                  | 18                          | 22                       |
| 16                                | 31                 | 15                                       | 25                                      | 27                          | 35                     | 26                                                  | 17                          | 24                       |
| 16                                | 31                 | 16                                       | 23                                      | 25                          | 35                     | 26                                                  | 20                          | 26                       |
| 20                                | 24                 | 14                                       | 27                                      | 28                          | 36                     | 25                                                  | 18                          | 27                       |
| 19                                | 30                 | 16                                       | 26                                      | 25                          | 37                     | 25                                                  | 17                          | 24                       |
| 20                                | 28                 | 18                                       | 24                                      | 27                          | 35                     | 29                                                  | 19                          | 21                       |
| 19                                | 29                 | 11                                       | 24                                      | 27                          | 36                     | 24                                                  | 21                          | 20                       |
| 19                                | 33                 | 12                                       | 23                                      | 28                          | 37                     | 27                                                  | 15                          | 25                       |
| 19                                | 23                 | 16                                       | 20                                      | 23                          | 37                     | 29                                                  | 20                          | 23                       |
| 17                                | 25                 | 12                                       | 25                                      | 25                          | 38                     | 25                                                  | 22                          | 28                       |
| 17                                | 27                 | 14                                       | 24                                      | 26                          | 34                     | 31                                                  | 15                          | 30                       |
| 19                                | 30                 | 16                                       | 27                                      | 25                          | 36                     | 26                                                  | 18                          | 24                       |
| 16                                | 31                 | 12                                       | 26                                      | 25                          | 36                     | 29                                                  | 22                          | 27                       |
| 18                                | 26                 | 16                                       | 30                                      | 28                          | 38                     | 26                                                  | 20                          | 24                       |

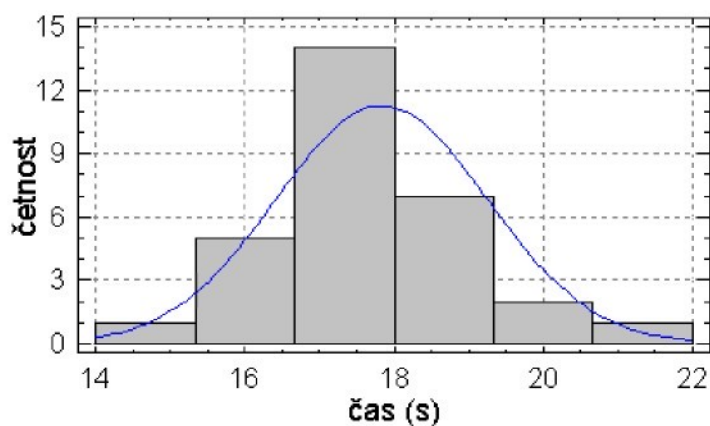


**Tab. II-3a** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení – 1.část

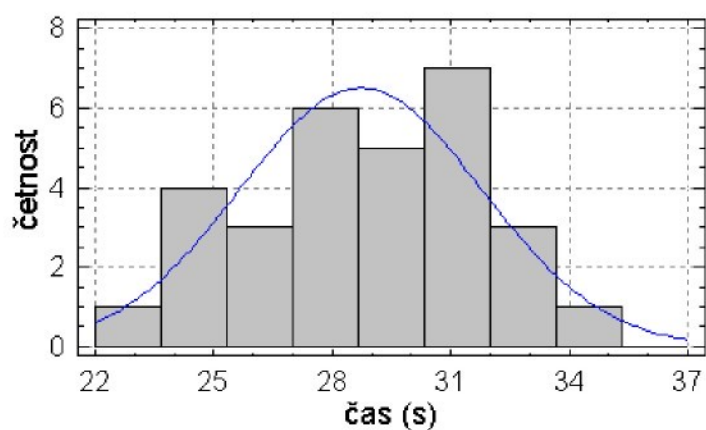
|                     | spojení čepu se základním držákem | upnutí do kleštiny | upnutí do držáku Weldon s jedním šroubem | upnutí do držáku Weldon se dvěma šrouby | upnutí do držáku Multi Bore |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Počet prvků         | 30                                | 30                 | 30                                       | 30                                      | 30                          |
| Střední hodnota     | 17,8333                           | 28,7333            | 14,9333                                  | 23,8667                                 | 26,4                        |
| Směrodatná odchylka | 1,41624                           | 3,11762            | 1,98152                                  | 2,43159                                 | 1,65258                     |
| Variační koeficient | 7,94156%                          | 10,8502%           | 13,2691%                                 | 10,1882%                                | 6,25979%                    |
| Minimum             | 15,0                              | 23,0               | 11,0                                     | 19,0                                    | 23,0                        |
| Maximum             | 21,0                              | 34,0               | 18,0                                     | 30,0                                    | 30,0                        |
| Variační rozpětí    | 6,0                               | 11,0               | 7,0                                      | 11,0                                    | 7,0                         |
| Koef. šikmosti      | 0,18096                           | -0,40333           | -0,862389                                | -0,0077126                              | -0,347055                   |
| Koef. špičatosti    | -0,413517                         | -1,22822           | -0,835532                                | 0,367079                                | -0,669306                   |
| DPLUS               | 0,121873                          | 0,110889           | 0,130609                                 | 0,120575                                | 0,168214                    |
| DMINUS              | 0,146843                          | 0,13307            | 0,204819                                 | 0,146092                                | 0,208391                    |
| DN                  | 0,146843                          | 0,13307            | 0,204819                                 | 0,146092                                | 0,208391                    |
| P-hodnota           | 0,554117                          | 0,662814           | 0,161438                                 | 0,561713                                | 0,147745                    |

**Tab. II-3b** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení – 2.část

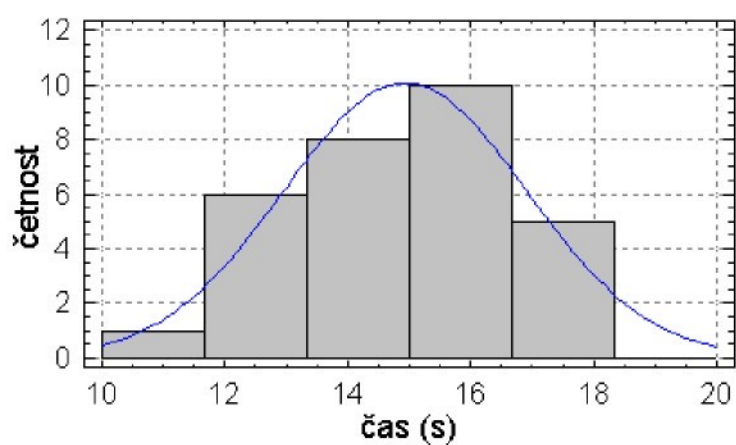
|                     | upnutí do držáku Capto | axiální upnutí držáku VBD čelní frézy pomocí šroubu | zašroubování stopkové frézy | montáž 1 VBD čelní frézy |
|---------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Počet prvků         | 30                     | 30                                                  | 30                          | 30                       |
| Střední hodnota     | 35,9667                | 27,3                                                | 19,0667                     | 25,4                     |
| Směrodatná odchylka | 2,10882                | 2,30666                                             | 1,99885                     | 2,82355                  |
| Variační koeficient | 5,86327%               | 8,44931%                                            | 10,4835%                    | 11,1163%                 |
| Minimum             | 32,0                   | 23,0                                                | 15,0                        | 20,0                     |
| Maximum             | 40,0                   | 31,0                                                | 23,0                        | 32,0                     |
| Variační rozpětí    | 8,0                    | 8,0                                                 | 8,0                         | 12,0                     |
| Koef. šikmosti      | -0,265173              | -0,0718902                                          | -0,40532                    | 0,912508                 |
| Koef. špičatosti    | -0,181791              | -1,17435                                            | -0,191736                   | -0,0246439               |
| DPLUS               | 0,112064               | 0,0914465                                           | 0,120272                    | 0,0977046                |
| DMINUS              | 0,12127                | 0,132931                                            | 0,120027                    | 0,0701818                |
| DN                  | 0,12127                | 0,132931                                            | 0,120272                    | 0,0977046                |
| P-hodnota           | 0,769665               | 0,664104                                            | 0,77833                     | 0,936941                 |



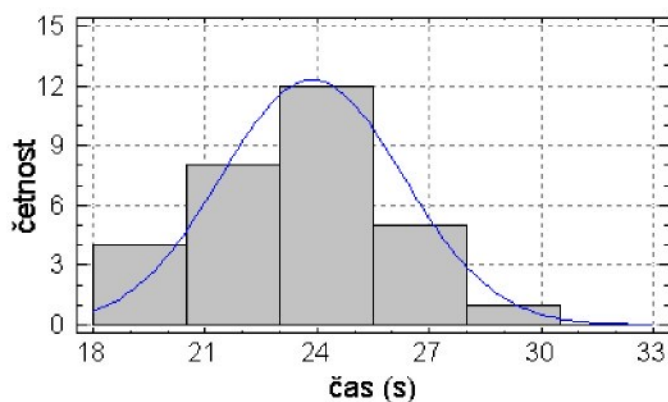
**Obr. II-2** Spojení čepu se základním držákem – foto; histogram časů sestavení



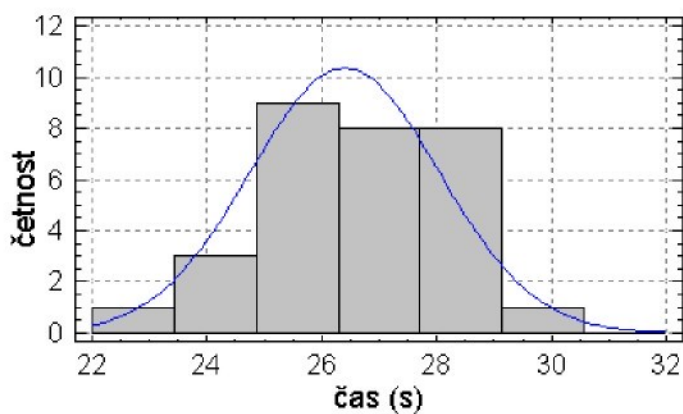
**Obr. II-3** Upnutí do kleštiny – foto; histogram časů sestavení



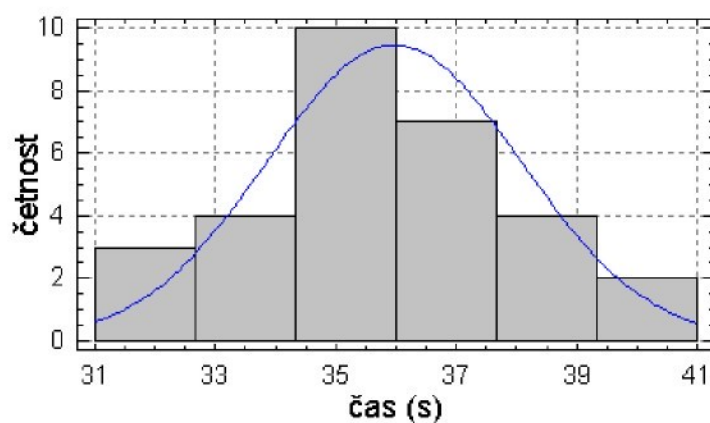
**Obr. II-4** Upnutí do držáku Weldon s jedním šroubem – foto; histogram časů sestavení



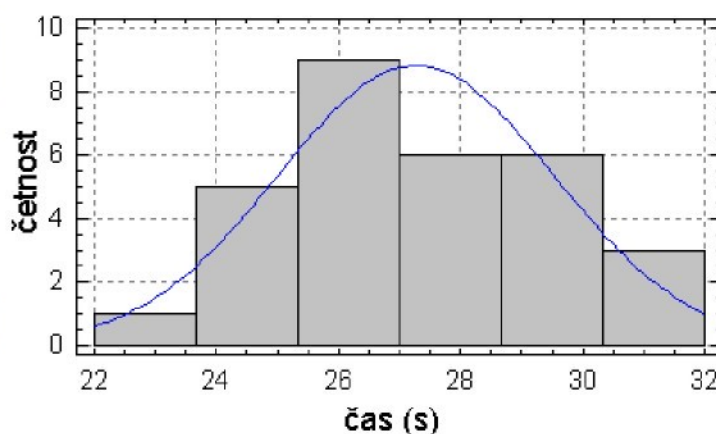
**Obr. II-5** Upnutí do držáku Weldon se dvěma šrouby – foto; histogram časů sestavení



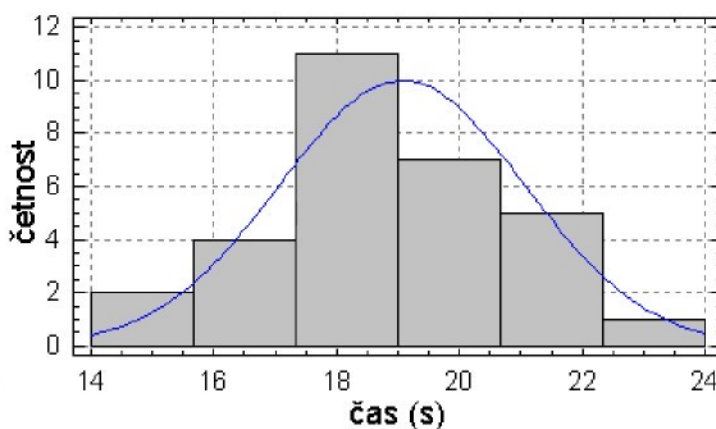
**Obr. II-6** Upnutí do držáku Multi Bore – foto; histogram časů sestavení



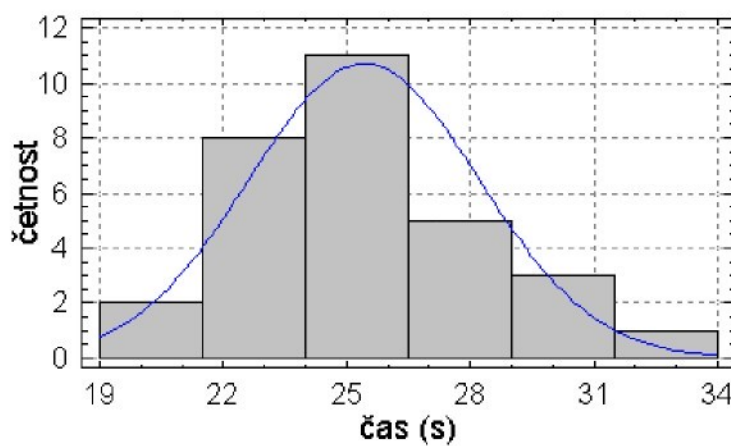
**Obr. II-7** Upnutí do držáku Capto – foto; histogram časů sestavení



**Obr. II-8** Axiální upnutí držáku VBD čelní frézy šroubem – foto; histogram časů sestavení



**Obr. II-9** Zašroubování stopkové frézy – foto; histogram časů sestavení



**Obr. II-10** Montáž jedné VBD čelní frézy – foto; histogram časů sestavení

## II-2.2 Seřízení nástroje

### 1) Odměření nulového bodu vrtáku

**Tab. II-4 Časy odměření nulového bodu vrtáku v sekundách**

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 21 | 21 | 32 | 20 | 23 | 23 | 27 | 22 | 21 | 22 |
| 25 | 23 | 23 | 21 | 20 | 24 | 20 | 22 | 20 | 23 |
| 25 | 25 | 21 | 25 | 39 | 24 | 35 | 20 | 18 | 19 |
| 24 | 19 | 34 | 20 | 18 | 35 | 36 | 34 | 17 | 23 |
| 22 | 26 | 22 | 37 | 33 | 23 | 26 | 22 | 24 | 22 |

**Tab. II-5 Základní statistické charakteristiky**

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 50       |
| Průměr              | 24,42    |
| Směrodatná odchylka | 5,50358  |
| Variační koeficient | 22,5372% |
| Minimum             | 17,0     |
| Maximum             | 39,0     |
| Variační rozpětí    | 22,0     |
| Koef. šikmosti      | 3,59639  |
| Koef. špičatosti    | 0,846021 |

**Tab. II-6 Frekvenční tabulka**

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | Na nebo pod    | 18,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 15,0           | 17,3077        | 16,1538      | 1              | 0,0200           | 1                  | 0,0200               |
| 2            | 17,3077        | 19,6154        | 18,4615      | 4              | 0,0800           | 5                  | 0,1000               |
| 3            | 19,6154        | 21,9231        | 20,7692      | 11             | 0,2200           | 16                 | 0,3200               |
| 4            | 21,9231        | 24,2308        | 23,0769      | 18             | 0,3600           | 34                 | 0,6800               |
| 5            | 24,2308        | 26,5385        | 25,3846      | 6              | 0,1200           | 40                 | 0,8000               |
| 6            | 26,5385        | 28,8462        | 27,6923      | 1              | 0,0200           | 41                 | 0,8200               |
| 7            | 28,8462        | 31,1538        | 30,0         | 0              | 0,0000           | 41                 | 0,8200               |
| 8            | 31,1538        | 33,4615        | 32,3077      | 2              | 0,0400           | 43                 | 0,8600               |
| 9            | 33,4615        | 35,7692        | 34,6154      | 4              | 0,0800           | 47                 | 0,9400               |
| 10           | 35,7692        | 38,0769        | 36,9231      | 2              | 0,0400           | 49                 | 0,9800               |
| 11           | 38,0769        | 40,3846        | 39,2308      | 1              | 0,0200           | 50                 | 1,0000               |
| 12           | 40,3846        | 42,6923        | 41,5385      | 0              | 0,0000           | 50                 | 1,0000               |
| 13           | 42,6923        | 45,0           | 43,8462      | 0              | 0,0000           | 50                 | 1,0000               |
|              | nad            | 45,0           |              | 0              | 0,0000           | 50                 | 1,0000               |

Střední hodnota = 26,1413 Směrodatná odchylka = 4,63409

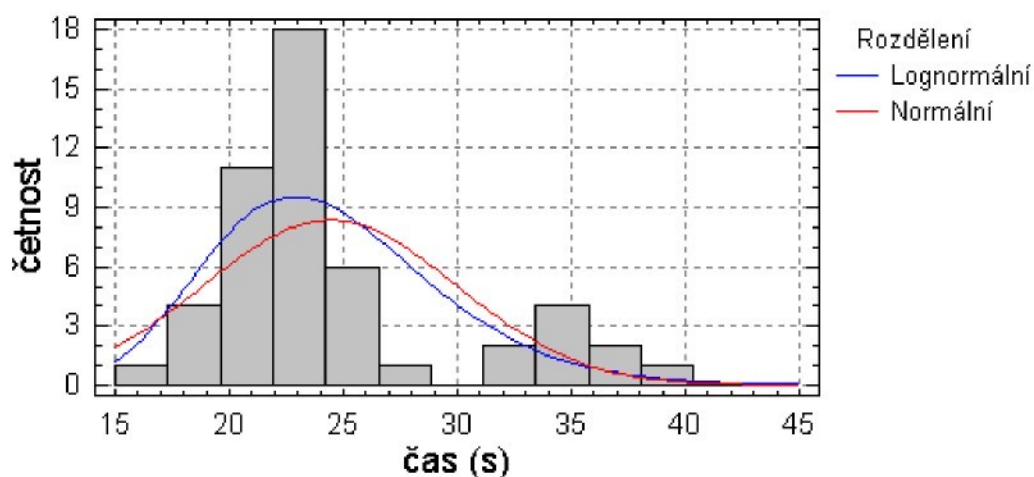
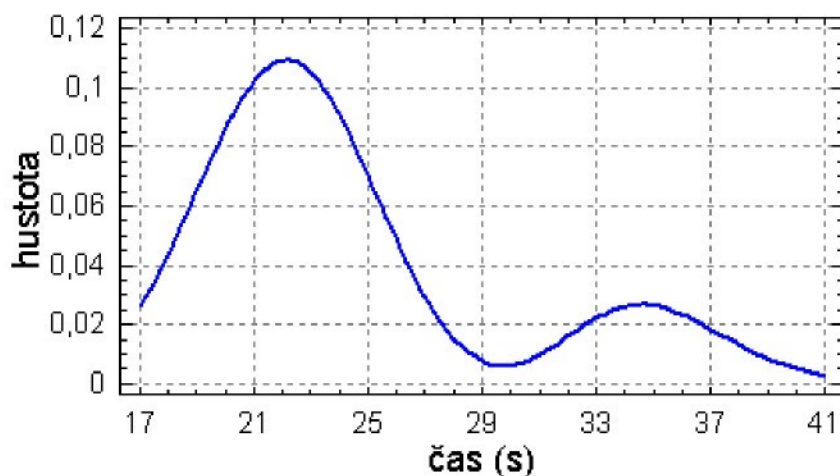
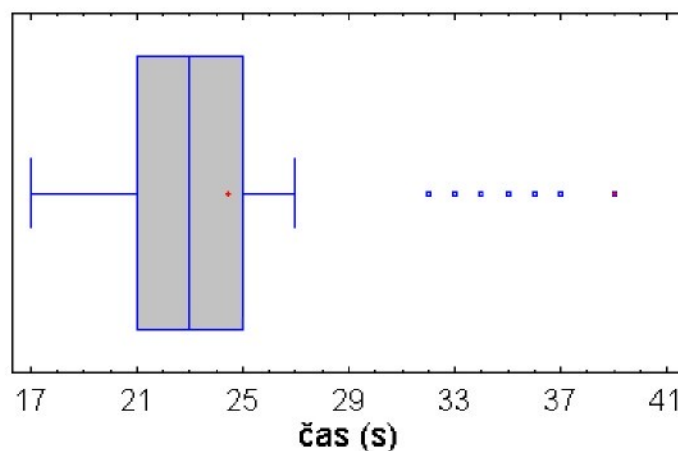
**Tab. II-7 Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody**

|           | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------|--------------------|-----------------|
| DPLUS     | 0,172965           | 0,218032        |
| DMINUS    | 0,102092           | 0,110953        |
| DN        | 0,172965           | 0,218032        |
| P-hodnota | 0,100411           | 0,017238        |



**Tab. II-8** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |         |
|---------------------------------------------|---------|
| střední hodnota                             | 24,4003 |
| směrodatná odchylka                         | 5,07997 |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,17338 |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,20599 |

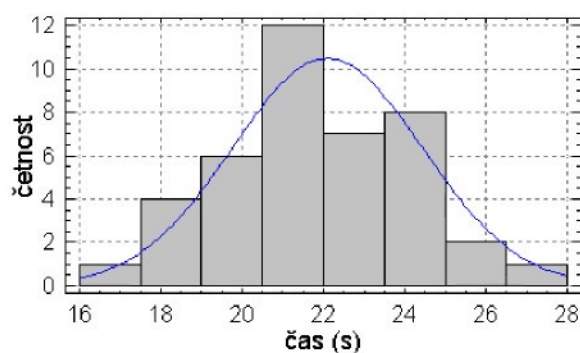
**Obr. II-11** Histogram časů odměření nulového bodu vrtáku**Obr. II-12** Křivka hustoty výskytu časů odměření nulového bodu vrtáku**Obr. II-13** Krabicový diagram časů odměření nulového bodu vrtáku

## Analýza rozdělených dat

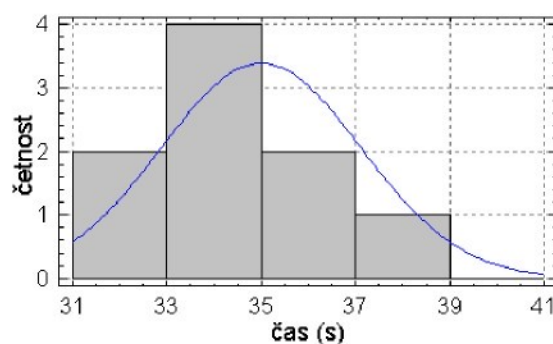
Původní výběrový soubor byl rozdělen podle výskytu chyby na dva soubory, které byly analyzovány jednotlivě.

**Tab. II-9** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení

|                     | bez výskytu chyby | s výskytem chyby |
|---------------------|-------------------|------------------|
| Počet prvků         | 41                | 9                |
| Střední hodnota     | 22,10             | 35,0             |
| Směrodatná odchylka | 2,343             | 2,121            |
| Variační koeficient | 10,60%            | 6,06%            |
| Minimum             | 17,0              | 32,0             |
| Maximum             | 27,0              | 39,0             |
| Variační rozpětí    | 10,0              | 7,0              |
| Koef. šikmosti      | -0,129851         | 0,742307         |
| Koef. špičatosti    | -0,544046         | 0,213844         |
| DPLUS               | 0,0829527         | 0,166667         |
| DMINUS              | 0,0931473         | 0,0964521        |
| DN                  | 0,0931473         | 0,166667         |
| P-hodnota           | 0,86897           | 0,963945         |

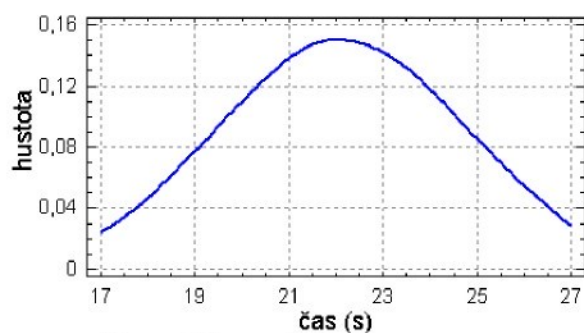


a) bez výskytu chyby

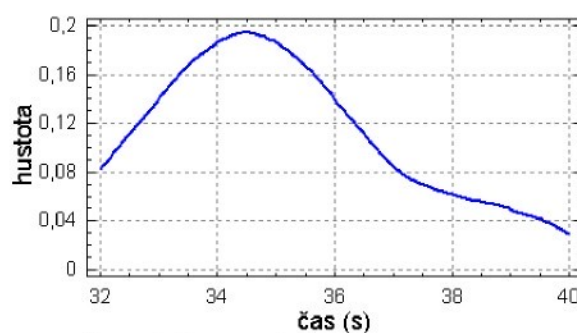


b) s výskytem chyby

**Obr. II-14** Histogramy časů odměření nulového bodu vrtáku

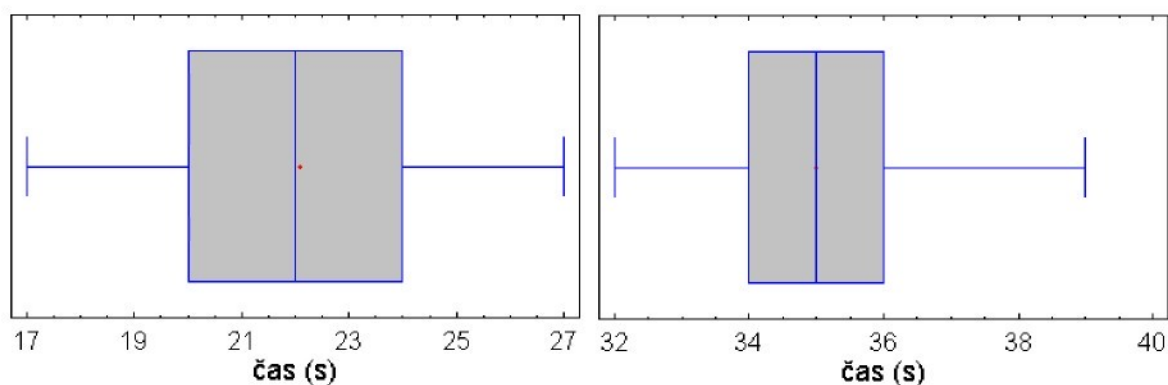


a) bez výskytu chyby



b) s výskytem chyby

**Obr. II-15** Křivky hustoty výskytu časů odměření nulového bodu vrtáku



a) bez výskytu chyby

b) s výskytem chyby

**Obr. II-16** Krabicové diagramy odměření nulového bodu vrtáku

## 2) Nastavení požadovaného průměru vyvrt. tyče pro obrábění na hrubo

**Tab. II-10** Časy seřízení vyvrtávací tyče na požadovaný průměr v sekundách

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 81 | 97 | 77 | 79 | 72 | 79 | 81 | 79 | 78 | 80  |
| 75 | 98 | 79 | 90 | 74 | 81 | 71 | 70 | 74 | 76  |
| 83 | 73 | 75 | 74 | 74 | 76 | 76 | 81 | 73 | 100 |
| 77 | 71 | 70 | 75 | 96 | 66 | 82 | 80 | 94 | 80  |
| 70 | 76 | 72 | 81 | 92 | 76 | 76 | 84 | 96 | 76  |

**Tab. II-11** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 50       |
| Průměr              | 79,32    |
| Směrodatná odchylka | 8,10251  |
| Variační koeficient | 10,215%  |
| Minimum             | 66,0     |
| Maximum             | 100,0    |
| Variační rozpětí    | 34,0     |
| Koef. šikmosti      | 3,27946  |
| Koef. špičatosti    | 0,961607 |

**Tab. II-12** Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |         |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed   | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | na nebo pod | 64,0    |         | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 64,0        | 69,7143 | 66,8571 | 1       | 0,0200    | 1           | 0,0200        |
| 2     | 69,7143     | 75,4286 | 72,5714 | 16      | 0,3200    | 17          | 0,3400        |
| 3     | 75,4286     | 81,1429 | 78,2857 | 22      | 0,4400    | 39          | 0,7800        |
| 4     | 81,1429     | 86,8571 | 84,0    | 3       | 0,0600    | 42          | 0,8400        |
| 5     | 86,8571     | 92,5714 | 89,7143 | 2       | 0,0400    | 44          | 0,8800        |
| 6     | 92,5714     | 98,2857 | 95,4286 | 5       | 0,1000    | 49          | 0,9800        |
| 7     | 98,2857     | 104,0   | 101,143 | 1       | 0,0200    | 50          | 1,0000        |

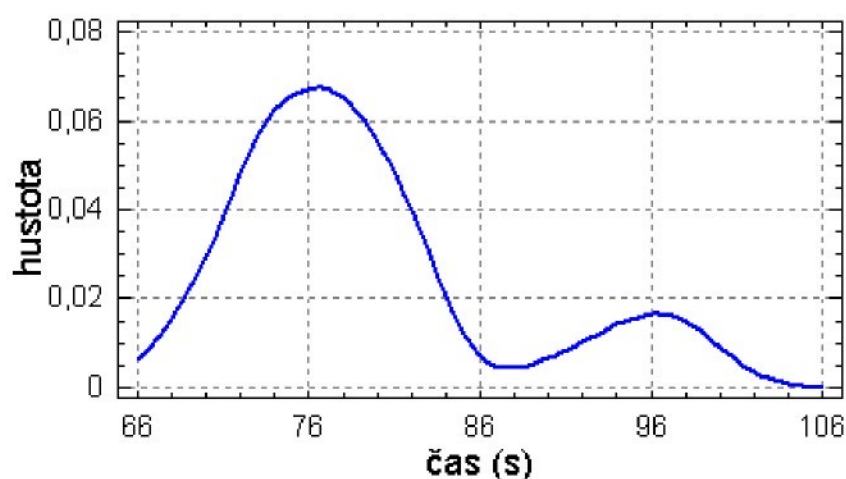
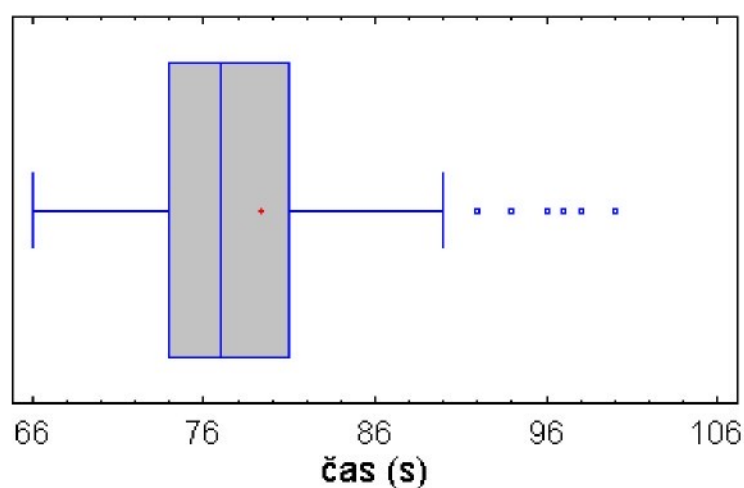
Střední hodnota = 79,32    Směrodatná odchylka = 8,10251

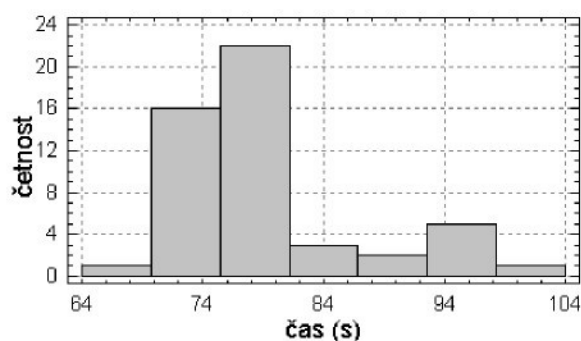
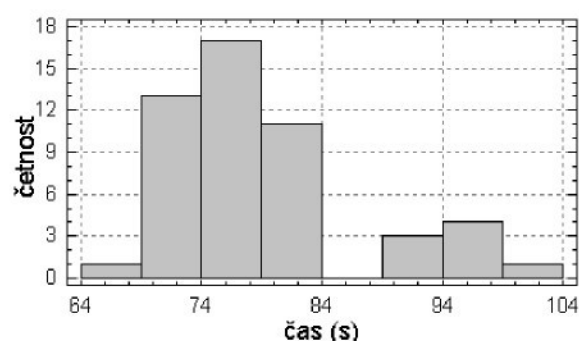
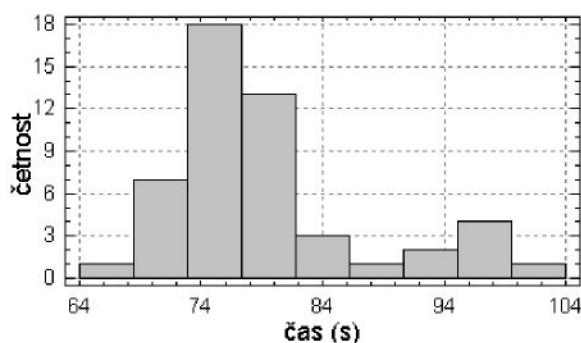
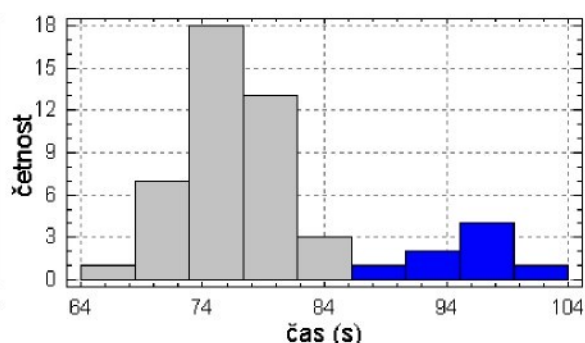
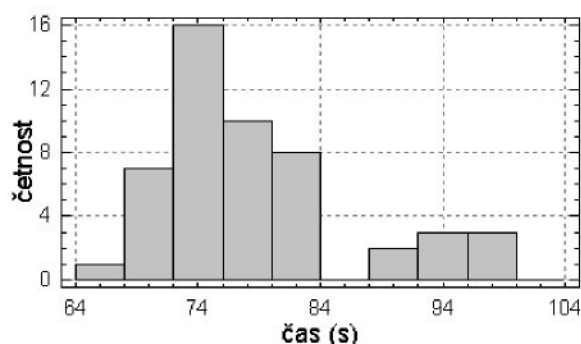
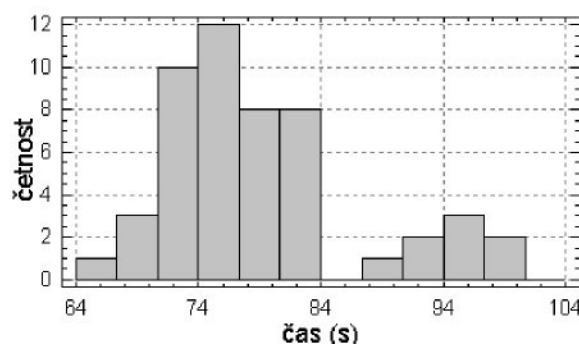
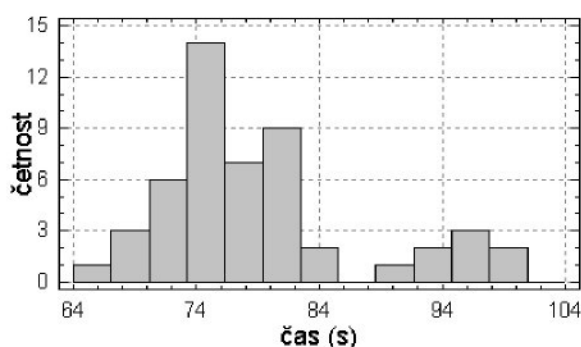
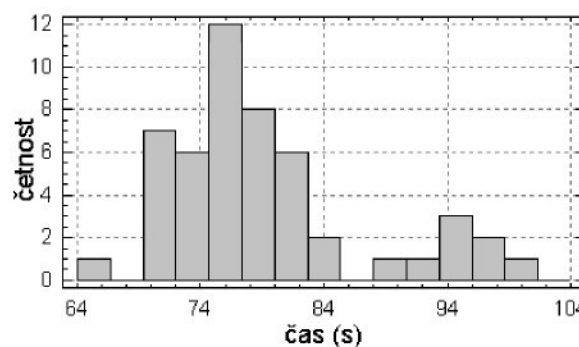
**Tab. II-13** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           | Lognormální | Normální |
|-----------|-------------|----------|
| DPLUS     | 0,175956    | 0,197869 |
| DMINUS    | 0,089294    | 0,105018 |
| DN        | 0,175956    | 0,197869 |
| P-hodnota | 0,090460    | 0,039873 |

**Tab. II-14** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 79,32    |
| směrodatná odchylka                         | 7,76665  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 4,36868  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,097686 |

**Obr. II-17** Křivka hustoty výskytu časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr**Obr. II-18** Krábový diagram časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr

a) počet tříd  $k=7$ b) počet tříd  $k=8$ c) počet tříd  $k=9$ d) počet tříd  $k=9$ , rozlišení abnormalitye) počet tříd  $k=10$ f) počet tříd  $k=12$ g) počet tříd  $k=13$ h) počet tříd  $k=15$ 

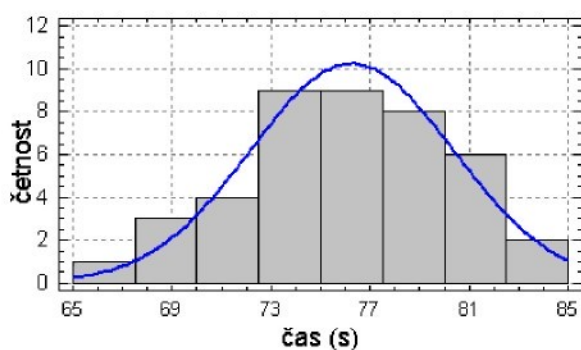
**Obr. II-19** Histogramy časů seřízení vyvrtávací tyče s různým počtem tříd ( $k$ ) – vliv zvoleného počtu tříd histogramu na možnost identifikace abnormality



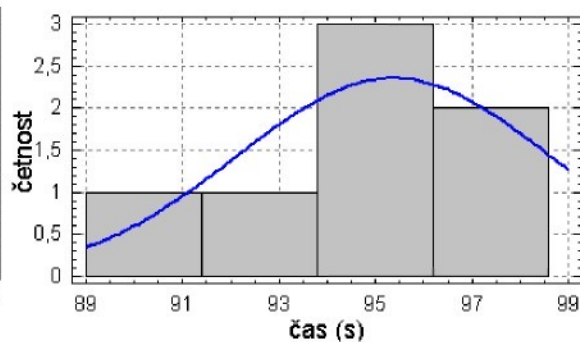
## Analýza rozdělených dat

**Tab. II-15** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení

|                     | bez výskytu chyby | s výskytem chyby |
|---------------------|-------------------|------------------|
| Počet prvků         | 42                | 8                |
| Střední hodnota     | 76,2619           | 95,375           |
| Směrodatná odchylka | 4,09675           | 3,24863          |
| Variační koeficient | 5,37195%          | 3,40616%         |
| Minimum             | 66,0              | 90,0             |
| Maximum             | 84,0              | 100,0            |
| Variační rozpětí    | 18,0              | 10,0             |
| Koef. šikmosti      | -0,640956         | -0,478134        |
| Koef. špičatosti    | -0,522989         | -0,19811         |
| DPLUS               | 0,0969183         | 0,100575         |
| DMINUS              | 0,105191          | 0,201284         |
| DN                  | 0,105191          | 0,201284         |
| P-hodnota           | 0,741415          | 0,902123         |

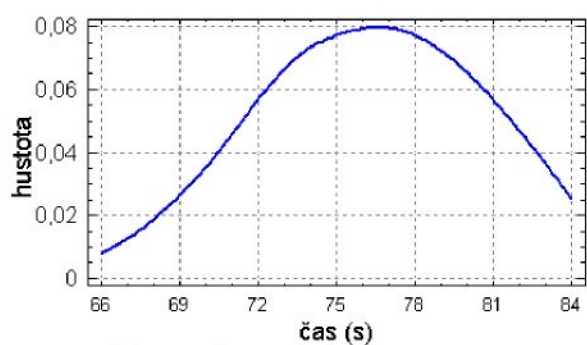


a) bez výskytu chyby

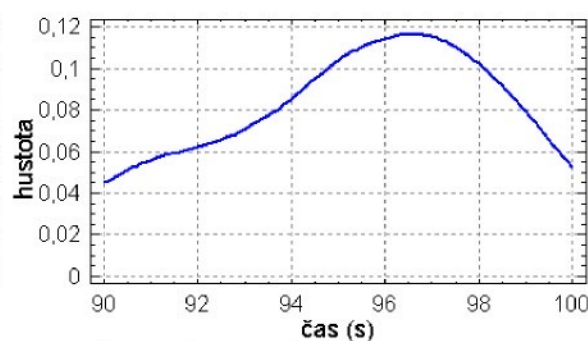


b) s výskytem chyby

**Obr. II-20** Histogramy časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr

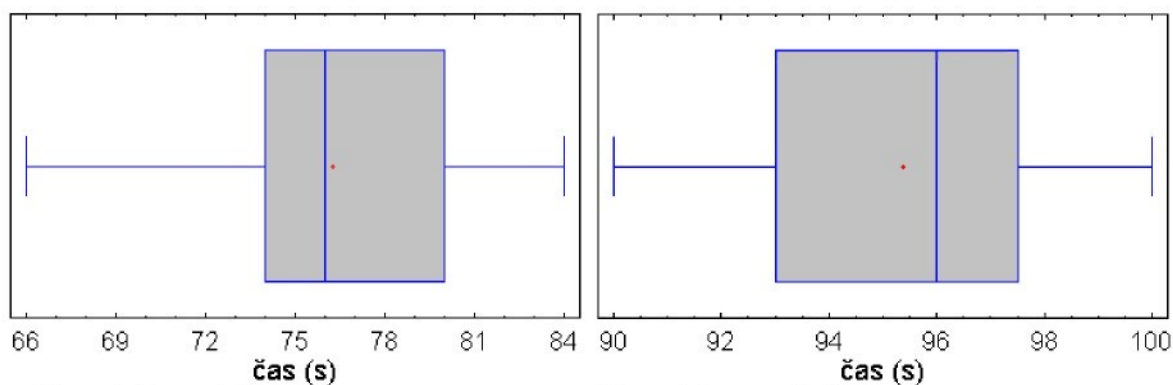


a) bez výskytu chyby



b) s výskytem chyby

**Obr. II-21** Křivky hustoty výskytu časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr



**Obr. II-22** Krabicové diagramy časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr

### 3) Nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrt. tyče pro tvorbu úkosů

**Tab. II-16** Časy nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče

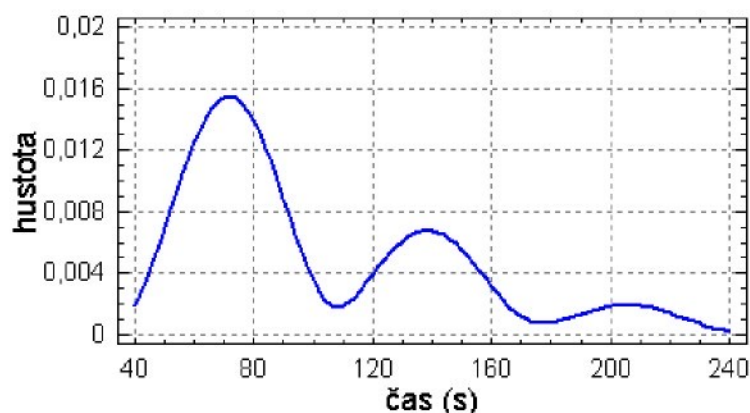
|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 74  | 66  | 70  | 62  | 71  | 70  | 141 | 196 | 75  | 75  |
| 70  | 74  | 135 | 71  | 74  | 69  | 142 | 77  | 201 | 75  |
| 215 | 147 | 71  | 76  | 66  | 137 | 143 | 141 | 76  | 134 |
| 68  | 67  | 74  | 144 | 133 | 76  | 129 | 71  | 67  | 75  |
| 130 | 69  | 71  | 140 | 75  | 77  | 147 | 136 | 71  | 69  |
| 204 | 78  | 71  | 76  | 64  | 70  | 211 | 132 | 142 | 70  |

**Tab. II-17** Základní statistické charakteristiky

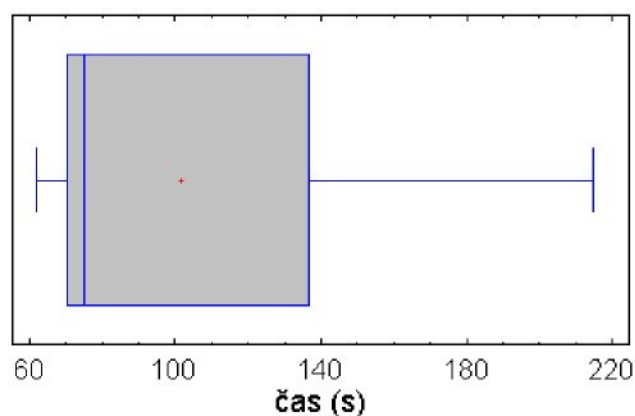
|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 60       |
| Průměr              | 101,683  |
| Směrodatná odchylka | 43,6475  |
| Variační koeficient | 42,9249% |
| Minimum             | 62,0     |
| Maximum             | 215,0    |
| Variační rozpětí    | 153,0    |
| Koef. šikmosti      | 3,64328  |
| Koef. špičatosti    | 0,425356 |

**Tab. II-18** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

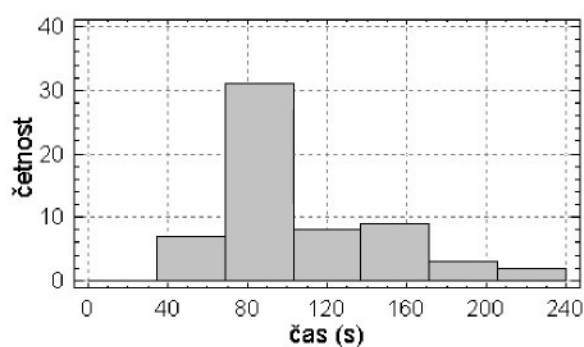
|           |             |
|-----------|-------------|
|           | Lognormální |
| DPLUS     | 0,322208    |
| DMINUS    | 0,162562    |
| DN        | 0,322208    |
| P-hodnota | 0,000008    |



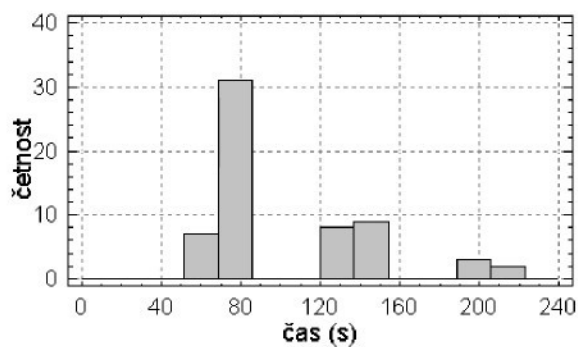
**Obr. II-23** Křivka hustoty výskytu časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče



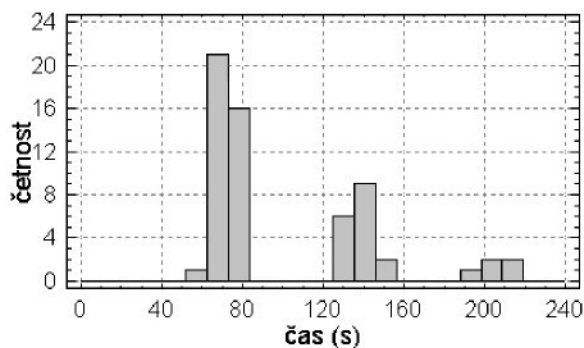
**Obr. II-24** Krabicový diagram výskytu časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrt. tyče



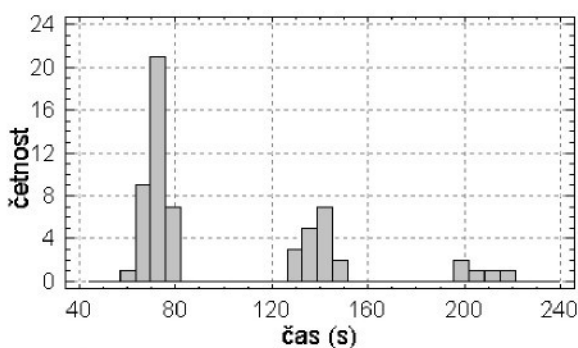
a) počet tříd  $k=7$



b) počet tříd  $k=14$



c) počet tříd  $k=23$



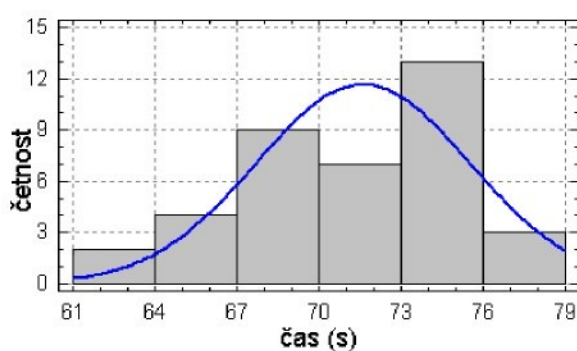
d) počet tříd  $k=38$

**Obr. II-25** Histogramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče

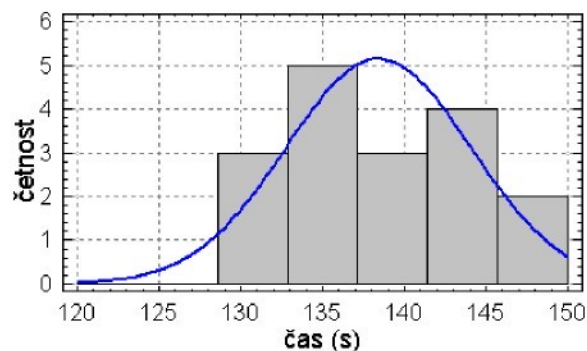
## Analýza rozdělených dat

**Tab. II-19** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení

|                     | bez výskytu chyby | s výskytem jedné chyby | s výskytem dvou chyb |
|---------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| Počet prvků         | 38                | 17                     | 5                    |
| Střední hodnota     | 71,6053           | 138,412                | 205,4                |
| Směrodatná odchylka | 3,89414           | 5,64645                | 7,63544              |
| Variační koeficient | 5,43834%          | 4,07946%               | 3,71735%             |
| Minimum             | 62,0              | 129,0                  | 196,0                |
| Maximum             | 78,0              | 147,0                  | 215,0                |
| Variační rozpětí    | 16,0              | 18,0                   | 19,0                 |
| Koef. šikmosti      | -1,00939          | -0,214808              | 0,121198             |
| Koef. špičatosti    | -0,496135         | -0,915346              | -0,686529            |
| DPLUS               | 0,140708          | 0,0800979              | 0,172743             |
| DMINUS              | 0,151763          | 0,147251               | 0,168351             |
| DN                  | 0,151763          | 0,147251               | 0,172743             |
| P-hodnota           | 0,348305          | 0,8547                 | x                    |

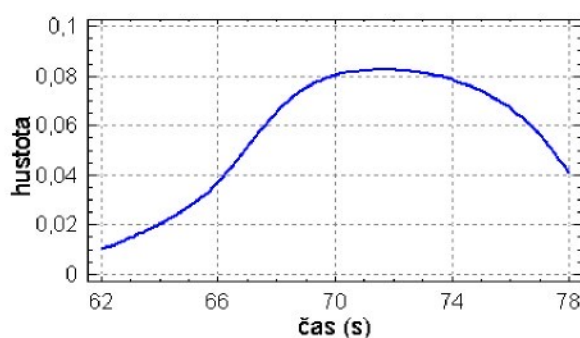


a) bez výskytu chyby

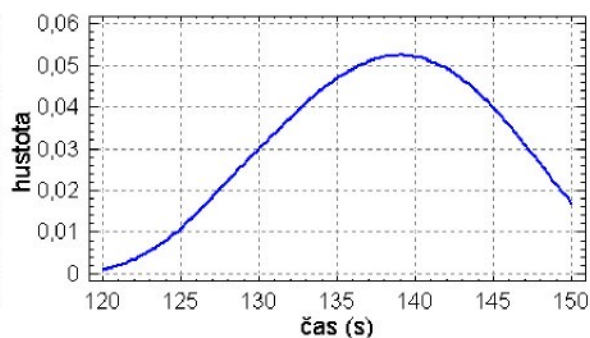


b) s výskytem jedné chyby

**Obr. II-26** Histogramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče



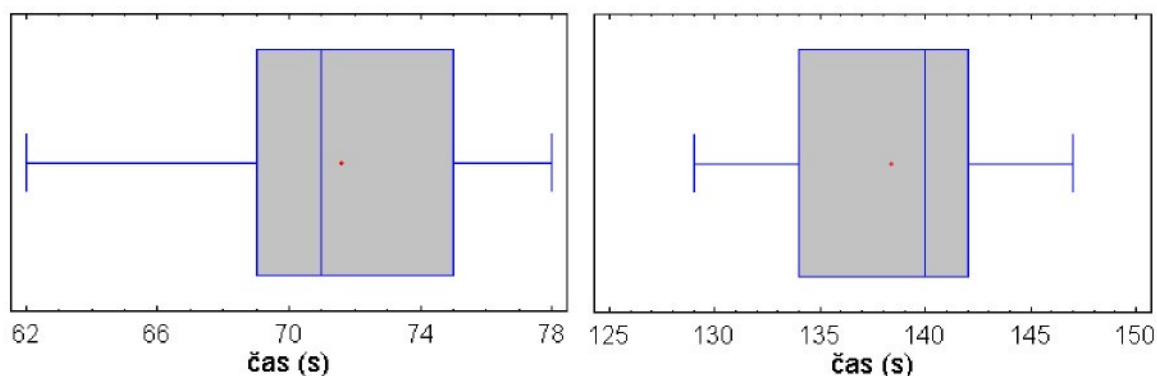
a) bez výskytu chyby



b) s výskytem jedné chyby

**Obr. II-27** Křivky hustoty výskytu časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče





a) bez výskytu chyby

b) s výskytem jedné chyby

**Obr. II-28** Krabicové diagramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče**Zkrácené náměry dalších operací sestavení dílů nástroje****Tab. II-20** Časy montáže redukce závitníku

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 32 | 40 | 42 | 35 | 38 | 34 | 37 | 37 | 34 | 32 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Parametry normálního rozdělení:  $\mu = 36,1$ ,  $\sigma = 3,31$ .**Tab. II-21** Časy montáže korunky vrtáku KSEM

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 32 | 31 | 24 | 31 | 35 | 28 | 31 | 36 | 31 | 34 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Parametry normálního rozdělení:  $\mu = 31,3$ ,  $\sigma = 3,47$ .**Zkrácené náměry dalších seřizovacích operací****Tab. II-22** Časy nastavení požadovaného průměru vyvrtávací tyče pro obrábění na čisto

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 66 | 57 | 60 | 78 | 57 | 59 | 58 | 55 | 55 | 70 |
| 57 | 75 | 60 | 58 | 62 | 72 | 53 | 53 | 55 | 56 |

Parametry:  $\mu_1 = 57,6$ ,  $\sigma_1 = 3,42$ ,  $\mu_2 = 73,4$ ,  $\sigma_2 = 3,54$ ;  $p = 0,20$ .**Tab. II-23** Časy nastavení nulového bodu čelní frézy s 8-mi VBD

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 50 | 46 | 58 | 46 | 41 | 45 | 49 | 45 | 49 | 49 |
| 42 | 50 | 45 | 48 | 50 | 62 | 40 | 44 | 65 | 50 |

Parametry:  $\mu_1 = 46,4$ ,  $\sigma_1 = 3,24$ ,  $\mu_2 = 61,3$ ,  $\sigma_2 = 3,51$ ;  $p = 0,15$ .**Tab. II-24** Časy nastavení nulového bodu stopkové frézy se čtyřmi břity

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 29 | 30 | 48 | 34 | 36 | 32 | 33 | 30 | 36 | 28 |
| 29 | 33 | 47 | 29 | 45 | 30 | 27 | 41 | 34 | 31 |

Parametry:  $\mu_1 = 31,4$ ,  $\sigma_1 = 2,82$ ,  $\mu_2 = 45,3$ ,  $\sigma_2 = 3,10$ ;  $p = 0,20$ .



## Stanovení časové náročnosti sestavení a seřízení nástroje

**Tab. II-25** Parametry rozdělení dob přípravy nástrojů

| č. | typový nástroj             | konstrukce upnutí                                        | z      | $\mu_1$ | $\sigma_1$ | $\mu_2$ | $\sigma_2$ |
|----|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------|---------|------------|---------|------------|
| 1  | vrták                      | Kleštinový držák                                         | 0,1306 | 104,0   | 4,85       | 116,9   | 4,75       |
|    |                            | Držák Weldon s jedním šroubem                            | 0,0979 | 79,8    | 3,85       | 92,7    | 3,72       |
|    |                            | Držák Weldon s dvěma šrouby                              | 0,0653 | 95,5    | 4,24       | 108,4   | 4,12       |
|    |                            | Držák Weldon s jedním šroubem + redukční tyč s kleštinou | 0,0326 | 130,3   | 5,45       | 143,2   | 5,36       |
| 2  | závitník                   | Kleštinový držák                                         | 0,1056 | 104,0   | 4,85       | 116,9   | 4,75       |
|    |                            | Kleštinový držák s redukcí Emuge                         | 0,0132 | 167,6   | 6,39       | 180,5   | 6,32       |
| 3  | vyvrtávací tyč - hrubovací | Systém Multi Bore – 1 redukce                            | 0,0313 | 290,0   | 7,33       | 309,1   | 6,89       |
|    |                            | Systém Multi Bore – 2 redukce                            | 0,0313 | 336,5   | 7,61       | 355,6   | 7,19       |
|    |                            | Systém Capto – 1 redukce                                 | 0,0313 | 323,7   | 7,69       | 342,8   | 7,27       |
|    |                            | Systém Capto – 2 redukce                                 | 0,0313 | 387,0   | 8,13       | 406,1   | 7,74       |
| 4  | vyvrtávací tyč - na čisto  | Systém Multi Bore – 1 redukce                            | 0,0215 | 226,6   | 5,97       | 242,8   | 6,05       |
|    |                            | Systém Multi Bore – 2 redukce                            | 0,0215 | 228,3   | 5,23       | 244,5   | 5,32       |
|    |                            | Systém Capto – 1 redukce                                 | 0,0215 | 260,3   | 6,41       | 276,4   | 6,48       |
|    |                            | Systém Capto – 2 redukce                                 | 0,0215 | 278,9   | 5,96       | 295,1   | 6,04       |
|    |                            | Redukční tyč v držáku weldon                             | 0,0215 | 159,9   | 5,77       | 176,1   | 5,84       |
| 5  | čelní fréza s VBD          | Axiální upnutí držáku VBD šroubem, 8 VBD                 | 0,0875 | 483,5   | 11,09      | 498,4   | 11,15      |
|    |                            | Zašroubovaný držák VBD, 4 VBD                            | 0,0375 | 275,1   | 8,20       | 289,0   | 8,32       |
| 6  | stopková fréza             | Držák Weldon s jedním šroubem                            | 0,0608 | 121,7   | 5,66       | 135,7   | 5,82       |
|    |                            | Držák Weldon se dvěma šrouby                             | 0,0608 | 104,7   | 4,49       | 118,6   | 4,70       |
| 7  | vrták - KSEM               | Držák Weldon se dvěma šrouby                             | 0,0625 | 150,6   | 6,08       | 163,5   | 5,99       |

## II-3 Kapacitní výpočet

### Kapacitní výpočet

Závěrečná podkapitola tohoto experimentu je věnována výpočtu pracnosti, vytíženosti a potřebného počtu seřizovačů. U všech tří výpočtů bude vycházeno ze zjištěné hodnoty týdenní zátěže 292 nástrojů. Z toho důvodu, zde bude pracnost, vytíženost i potřebný počet seřizovačů vyjádřen jako skalár bez predikce hodnot pro další týdny.

#### A) Objem práce (Pracnost)

Celkový týdenní objem práce v hodinách je dán součtem požadovaného počtu pseudonáhodných čísel (očekávané časy v sekundách), který je roznásoben přírážkovým koeficientem a převeden na hodiny. Rovnice pro výpočet pracnosti společně se spočtenou hodnotu pro tento experiment je dána vztahem (II-1).

$$T = \frac{A}{3600} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N \cdot p_j)} t_{i,j} = 28,6 \text{ hodin} \quad (\text{II-1})$$

Kde  $t_{i,j}$  je  $i$ -tý vygenerovaný čas  $j$ -té činnosti v sekundách,  $m$  je počet sledovaných činností,  $N_h$  je počet požadavků práce/týden a  $p_j$  je poměrné četnostní zastoupení  $j$ -té činnosti.

### B) Vytíženost

Procentuální vytíženost stávajícího jednoho seřizovače lze spočítat ze vztahu (II-2). Při týdenním časovém fondu seřizovače  $TF = 37,5 \text{ hod}$  výpočet ukazuje vytíženost seřizovače 76,3 %.

$$P = 100 \cdot \frac{T}{TF} = \frac{A}{36 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N \cdot p_j)} t_{i,j} = 76,3\% \quad (\text{II-2})$$

### C) Kapacity

V tomto případě, kdy je na pracovišti pouze jeden seřizovač, jehož vytíženost vychází 76 % je zřejmé, že kapacitní výpočet potvrdí potřebnost 0,76, tedy jednoho seřizovače. Pro úplnost zde ovšem tento výpočet bude uveden. Potřebný počet seřizovačů je tedy dán vztahem (16).

$$K = \frac{T}{TF} = \frac{A}{36 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N \cdot p_j)} t_{i,j} = 0,76 \quad (\text{II-3})$$

Vypočtená vytíženost a kapacita do značné míry koresponduje a upřesňuje prvotní zjištění 19% plýtvání a nevytíženost a 81% vytížení pracovníka, které bylo zjištěno snímkováním pracovního dne.

## Příloha III: Příloha k experimentu C

### III-1 Náplň práce technologů

Práce technologů spočívá především v přípravě technologických postupů a programů pro výrobu obrobků na obráběcích CNC centrech. Podle stavu zavedení daného dílce do výroby lze práci technologů rozdělit na tvorbu nabídek, přípravu nové výroby, úpravu postupů pro již zaběhlou výrobu a další činnosti. Tyto hlavní skupiny prací v sobě obsahují další dílčí úkoly. Přehled zjištěných činností technologů představuje následující souhrn.

#### Tvorba nabídek

Tvorba nabídek v sobě zahrnuje všechny potřebné úkoly, které jsou potřeba udělat pro stanovení ceny, za kterou je podnik schopný odběrateli zakázku dodat. Počet nabídek zpravidla roste s klesajícím počtem nové, nebo opakované výroby. Zpracování nabídky obsahuje následující dílčí úkoly:

- tvorba technologických postupů a jejich založení do systému SAP,
- výpočet normy spotřeby času,
- ověření dostupnosti materiálu, příp. jeho poptávka,
- ověření případné kooperace včetně ocenění,
- ověření dostupnosti speciálního a komunálního nářadí včetně jeho ocenění,
- výpočet ceny dílců a schválení nabídky (ověření správnosti technologie, a správnosti nákupních cen).

#### Příprava nové výroby

Příprava nové výroby v sobě zahrnuje veškeré úkoly, které je potřeba ze strany oddělení TPV provést k uvedení zakázky do výroby. Mezi tyto úkoly patří:

- založení artiklu do systému SAP,
- upřesnění technologického postupu (doplnění textu, kontrolních činností, předpisu měření, speciálního nářadí),
- převod technologického postupu včetně kusovníku do systému SAP,
- tvorba programu,
- tvorba seřizovacího listu, normalizace (sjednocení) řezných nástrojů,
- dokončení programu u stroje.

#### Převod výroby z kooperace

Jedná se o převzetí zakázek od obchodního partnera do vlastní výroby. S převodem výroby z kooperace jsou pro oddělení TPV spojeny stejné úkoly jako při přípravě nové výroby.

#### Kapacitní převody

Jde o převedení výroby na jiný stroj. To nastává nejčastěji z kapacitních důvodů, kde je potřeba na stávajícím stroji vyrábět jinou zakázku, nebo z důvodů odstávky stroje způsobené poruchou. U kapacitních převodů jsou zpracovávány následující úkoly:

- tvorba programu,
- tvorba seřizovacího listu pro jiný stroj (možné změny v řezném nářadí),
- dokončení programu u stroje,
- možné změny sledu operací a apod. (v tomto případě jako u přípravy nové výroby).

#### Technické změny

Jde o tvorbu technologických postupů, programů a dalších činností jako u přípravy nové výroby. Tyto technologické změny jsou prováděny na základě požadavku na technické změny výrobku.

### Obsluha výroby

Jedná se o operativní řešení problémů ve výrobě, nejčastěji jde o:

- změny technologie, sledu operací apod. (racionalizace),
- technologické zkoušky např. nových řezných nástrojů,
- ověření norem spotřeby času.

### Zvyšování kvalifikace

Mezi další činnosti technologů patří konzultace a zvyšování kvalifikace. Pro fungování kooperace mezi odděleními jsou nutné konzultace konstruktérů s technologi (technologičnost konstrukce přípravků) a na druhé straně konzultace technologů se seřizovači nástrojů a obsluhou stroje (volba vhodných nástrojů a řezných podmínek).

## III-2 Struktura práce technologů

**Tab. III-1** *Struktura práce technologů – všechny snímky (7 dnů)*

| technolog     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | TPV    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>náměrů</b> |       |       |       |       |       |       |       |        |
| VA            | 798   | 1045  | 1016  | 1066  | 816   | 785   | 331   | 5857   |
| NVA           | 123   | 73    | 180   | 155   | 166   | 236   | 129   | 1062   |
| AVA           | 535   | 381   | 320   | 225   | 302   | 410   | 340   | 2513   |
| W             | 81    | 40    | 33    | 77    | 102   | 46    | 34    | 413    |
| PB            | 17    | 15    | 5     | 29    | 107   | 16    | 39    | 228    |
| celkem        | 1554  | 1554  | 1554  | 1552  | 1493  | 1493  | 873   | 10073  |
| <b>hh:mm</b>  |       |       |       |       |       |       |       |        |
| VA            | 26:36 | 34:50 | 33:52 | 35:32 | 27:12 | 26:10 | 11:02 | 195:14 |
| NVA           | 4:06  | 2:26  | 6:00  | 5:10  | 5:32  | 7:52  | 4:18  | 35:24  |
| AVA           | 17:50 | 12:42 | 10:40 | 7:30  | 10:04 | 13:40 | 11:20 | 83:46  |
| W             | 2:42  | 1:20  | 1:06  | 2:34  | 3:24  | 1:32  | 1:08  | 13:46  |
| PB            | 0:34  | 0:30  | 0:10  | 0:58  | 3:34  | 0:32  | 1:18  | 7:36   |
| celkem        | 51:48 | 51:48 | 51:48 | 51:44 | 49:46 | 49:46 | 29:06 | 335:46 |
| <b>%</b>      |       |       |       |       |       |       |       |        |
| VA            | 51    | 67    | 65    | 69    | 55    | 53    | 38    | 58     |
| NVA           | 8     | 5     | 12    | 10    | 11    | 16    | 15    | 11     |
| AVA           | 34    | 25    | 21    | 14    | 20    | 27    | 39    | 25     |
| W             | 5     | 3     | 2     | 5     | 7     | 3     | 4     | 4      |
| PB            | 1     | 1     | 0     | 2     | 7     | 1     | 4     | 2      |
| celkem        | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100    |

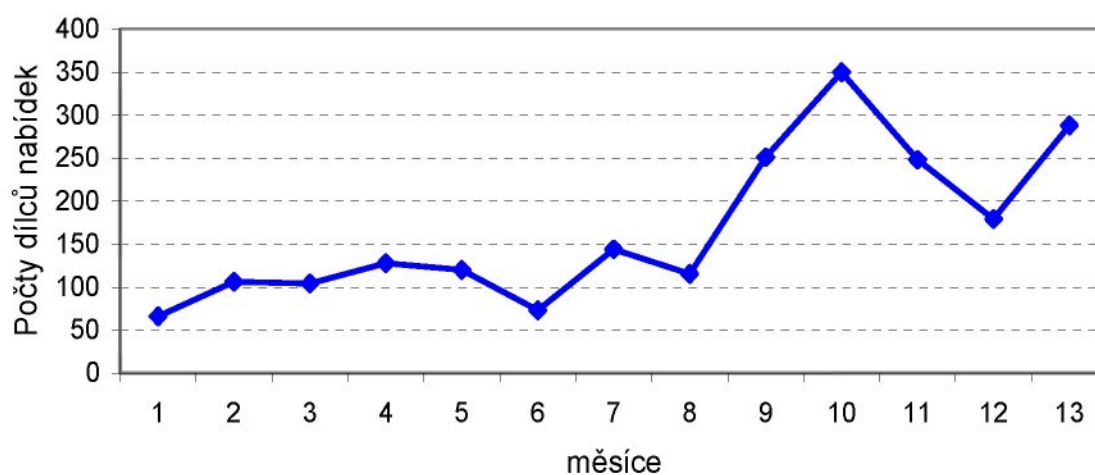
### III-3 Časy činností ve výrobě

Tab. III-2 Časy práce ve výrobě či nástrojárně

| technolog     | T1  | T2  | T3 | T4 | T5 | T6  | T7  |
|---------------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
| časy<br>[min] | 24  | 10  | 4  | 12 | 6  | 8   | 6   |
|               | 28  | 10  | 8  | 24 | 12 | 10  | 8   |
|               | 32  | 14  | 10 | 26 | 12 | 10  | 14  |
|               | 36  | 18  | 12 | 42 | 16 | 12  | 16  |
|               | 38  | 20  | 14 | 44 | 16 | 12  | 20  |
|               | 46  | 20  | 14 | 48 | 18 | 20  | 24  |
|               | 46  | 22  | 16 | 70 | 22 | 22  | 32  |
|               | 50  | 22  | 20 | 92 | 24 | 22  | 32  |
|               | 56  | 24  | 22 | 94 | 32 | 24  | 36  |
|               | 60  | 24  | 22 |    | 34 | 24  | 38  |
|               | 66  | 26  | 24 |    | 38 | 26  | 44  |
|               | 76  | 26  | 26 |    | 38 | 28  | 56  |
|               | 90  | 28  | 28 |    | 42 | 28  | 74  |
|               | 98  | 36  | 28 |    | 42 | 40  | 74  |
|               | 150 | 36  | 30 |    | 44 | 44  | 76  |
|               | 164 | 58  | 36 |    | 46 | 48  | 124 |
|               |     | 70  | 38 |    | 46 | 60  |     |
|               |     | 74  | 40 |    | 54 | 72  |     |
|               |     | 88  | 42 |    | 74 | 86  |     |
|               |     | 132 | 54 |    |    | 108 |     |
|               |     |     | 66 |    |    | 216 |     |
|               |     |     | 84 |    |    |     |     |
| průměr        | 66  | 38  | 29 | 50 | 32 | 44  | 42  |
| sm.odch.      | 40  | 30  | 19 | 28 | 17 | 46  | 31  |

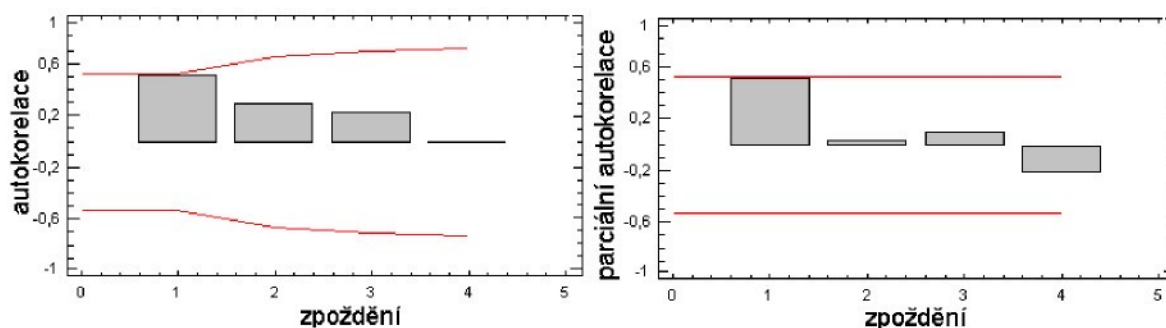
### III-4 Analýza a predikce časových řad zátěže

#### III-4.1 Analýza časové řady počtů nabídek



Obr. III-1 Časová řada počtů nabídek





a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

**Obr. III-2** Autokorelační a parciální autokorelační funkce čas. řady počtů dílců nabídek**Tab. III-3** Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,526491                  | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 2        | 0,300151                  | 0,345786         | -0,67773                     | 0,67773                      |
| 3        | 0,239609                  | 0,365278         | -0,715933                    | 0,715933                     |
| 4        | 0,00518022                | 0,377175         | -0,73925                     | 0,73925                      |

**Tab. III-4** Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,526491                  | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 2        | 0,0317628                 | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 3        | 0,096775                  | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 4        | -0,226342                 | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |

**Tab. III-5** Testy náhodnosti časové řady ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost čas. řady)

| Test                        | $P$ -hodnota |
|-----------------------------|--------------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,13007      |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,90592      |
| Box-Pierceův                | 0,237856     |

## III-4.2 Predikce časové řady počtů nabídek

### Testované modely:

(A) Náhodná procházka

(B) Konstantní průběh = 167,077

(C) Lineární trend =  $42,3462 + 17,8187 t$ (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,6326$ (I) Brownovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,3192$ (J) Holtsovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,294$  a  $\beta = 0,2068$ **(M) ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty**

(N) ARIMA(2,1,1) s konstantními koeficienty

(O) ARIMA(0,1,2) s konstantními koeficienty

(P) ARIMA(1,1,1) s konstantními koeficienty

(Q) ARIMA(1,1,2) s konstantními koeficienty

**Tab. III-6** Ukazatele kvality modelů

| Model      | RMSE           | MAE            | MAPE           | ME             | MPE            | AIC            |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| (A)        | 74,8155        | 61,3333        | 36,0476        | 0,0            | -9,00184       | 8,60761        |
| (B)        | 89,2473        | 73,9408        | 53,7182        | 0,0            | -28,0294       | 9,13667        |
| (C)        | 58,6166        | 39,6678        | 27,1757        | 1,3118E-14     | -8,81087       | 8,44973        |
| (H)        | 72,2223        | 53,2064        | 29,8268        | 21,6782        | 4,89478        | 8,71334        |
| (I)        | 76,4479        | 58,2682        | 33,929         | 21,9655        | 9,58209        | 8,82707        |
| (J)        | 71,4793        | 49,4676        | 33,6903        | 8,51054        | -0,799224      | 8,84651        |
| <b>(M)</b> | <b>53,8272</b> | <b>39,2767</b> | <b>27,2618</b> | <b>5,43973</b> | <b>-2,2069</b> | <b>8,27925</b> |
| (N)        | 49,0832        | 34,0455        | 23,5062        | 5,10905        | -1,46726       | 8,40242        |
| (O)        | 53,1983        | 38,8983        | 25,3878        | 6,67205        | -2,49534       | 8,40959        |
| (P)        | 55,7354        | 37,6803        | 25,402         | 6,10863        | -2,59855       | 8,50277        |
| (Q)        | 53,5206        | 35,1015        | 23,7695        | 5,03295        | -2,515         | 8,57552        |

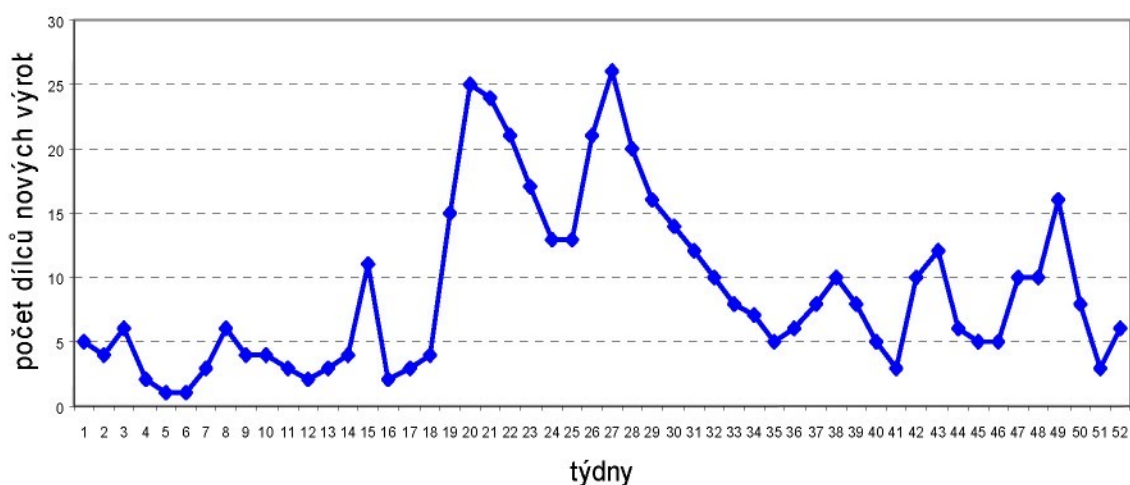
**Tab. III-7** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

| Model      | RMSE           | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)        | 74,8155        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (B)        | 89,2473        | OK        | OK        | OK        | **        | *         |
| (C)        | 58,6166        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (H)        | 72,2223        | OK        | OK        | OK        | OK        | *         |
| (I)        | 76,4479        | OK        | OK        | OK        | OK        | *         |
| (J)        | 71,4793        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| <b>(M)</b> | <b>53,8272</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)        | 49,0832        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)        | 53,1983        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)        | 55,7354        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (Q)        | 53,5206        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

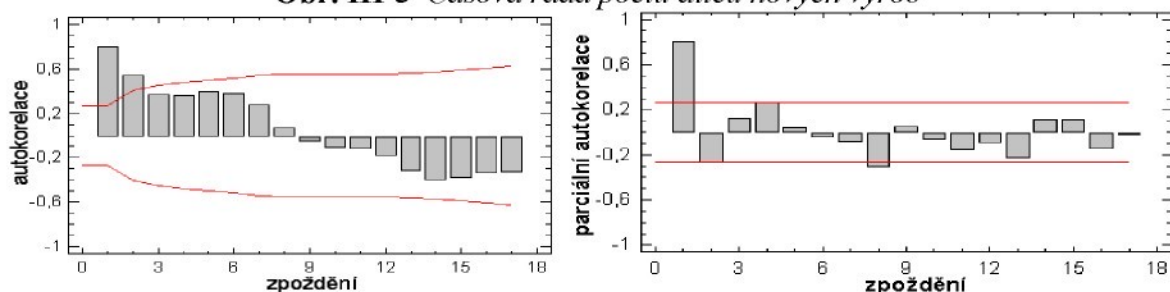
Význam zkratk a symbolů použitých v tabulkách je opět stejný jako při predikci časových řad u experimentu A, viz. příloha I.

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.

### III-4.3 Analýza časové řady počtů nových výrob



Obr. III-3 Časová řada počtů dílců nových výrob



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

Obr. III-4 Autokorelační a parciální autokorelační funkce vstupní časové řady

Tab. III-8 Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,798695                  | 0,137361         | -0,269222                    | 0,269222                     |
| 2        | 0,539287                  | 0,20722          | -0,406145                    | 0,406145                     |
| 3        | 0,370993                  | 0,232196         | -0,455096                    | 0,455096                     |
| 4        | 0,360464                  | 0,243123         | -0,476513                    | 0,476513                     |
| 5        | 0,397256                  | 0,253006         | -0,495883                    | 0,495883                     |
| 6        | 0,37852                   | 0,264513         | -0,518437                    | 0,518437                     |
| 7        | 0,274576                  | 0,274543         | -0,538095                    | 0,538095                     |
| 8        | 0,070731                  | 0,279676         | -0,548156                    | 0,548156                     |
| 9        | -0,0636834                | 0,280013         | -0,548817                    | 0,548817                     |
| 10       | -0,11105                  | 0,280287         | -0,549353                    | 0,549353                     |
| 11       | -0,126275                 | 0,281115         | -0,550977                    | 0,550977                     |
| 12       | -0,184142                 | 0,282184         | -0,553071                    | 0,553071                     |
| 13       | -0,322                    | 0,284442         | -0,557497                    | 0,557497                     |
| 14       | -0,402172                 | 0,291238         | -0,570818                    | 0,570818                     |
| 15       | -0,389841                 | 0,301535         | -0,590998                    | 0,590998                     |
| 16       | -0,341543                 | 0,310899         | -0,609352                    | 0,609352                     |
| 17       | -0,331266                 | 0,3179           | -0,623073                    | 0,623073                     |

Tab. III-9 Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|

|    |            |          |           |          |
|----|------------|----------|-----------|----------|
| 1  | 0,798695   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 2  | -0,272385  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 3  | 0,120804   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 4  | 0,265948   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 5  | 0,0364168  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 6  | -0,0552238 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 7  | -0,0917285 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 8  | -0,312673  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 9  | 0,0510591  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 10 | -0,0716924 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 11 | -0,159744  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 12 | -0,102737  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 13 | -0,230891  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 14 | 0,113524   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 15 | 0,113248   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 16 | -0,148739  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 17 | -0,0301666 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |

**Tab. III-10** Testy náhodnosti časové řady

(P-hodnota &gt; 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 2,2131E-5 |
| Rostoucí-klesající sekvence | 4,5189E-8 |
| Box-Pierceův                | 0         |

Žádná z P-hodnot provedených testů není vyšší než 0,05, můžeme tedy na hladině významnosti 95% zamítnout hypotézu, že je časová řada počtů nových výrob náhodná.

### III-4.4 Predikce časové řady počtů nových výrob

#### Testované modely:

- (A) Náhodná procházka
- (B) Konstantní průběh = 8,92453
- (C) Lineární trend =  $6,76923 + 0,0798258 t$
- (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,9999$
- (I) Brownovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,3604$
- (J) Holtsovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,9957$  a  $\beta = 0,0261$
- (M) ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty**
- (N) ARIMA(2,0,0) s konstantními koeficienty
- (O) ARIMA(1,0,1) s konstantními koeficienty
- (P) ARIMA(1,0,0) s konstantními koeficienty
- (Q) ARIMA(2,1,2)

**Tab. III-11** Ukazatele kvality modelů

| Model      | RMSE    | MAE     | MAPE    | ME          | MPE      | AIC            |
|------------|---------|---------|---------|-------------|----------|----------------|
| (A)        | 4,1515  | 3,09541 | 48,6289 | 3,07446E-16 | -18,0238 | 2,82754        |
| (B)        | 6,52465 | 5,22962 | 111,772 | -2,6813E-16 | -82,9992 | 3,78891        |
| (C)        | 6,46964 | 5,01115 | 99,794  | 1,07252E-15 | -73,1124 | 3,80971        |
| (H)        | 4,11148 | 3,03782 | 47,7643 | -0,0188717  | -18,0745 | 2,8653         |
| (I)        | 4,86062 | 3,73369 | 55,8095 | -0,170529   | -23,0109 | 3,20007        |
| (J)        | 4,23081 | 3,19567 | 52,7195 | -0,473121   | -27,6058 | 2,96026        |
| <b>(M)</b> | 3,81613 | 2,80778 | 56,8184 | -0,0203435  | -33,7823 | <b>2,79168</b> |
| (N)        | 3,84227 | 2,61356 | 50,9061 | 0,00980215  | -29,7676 | 2,80533        |



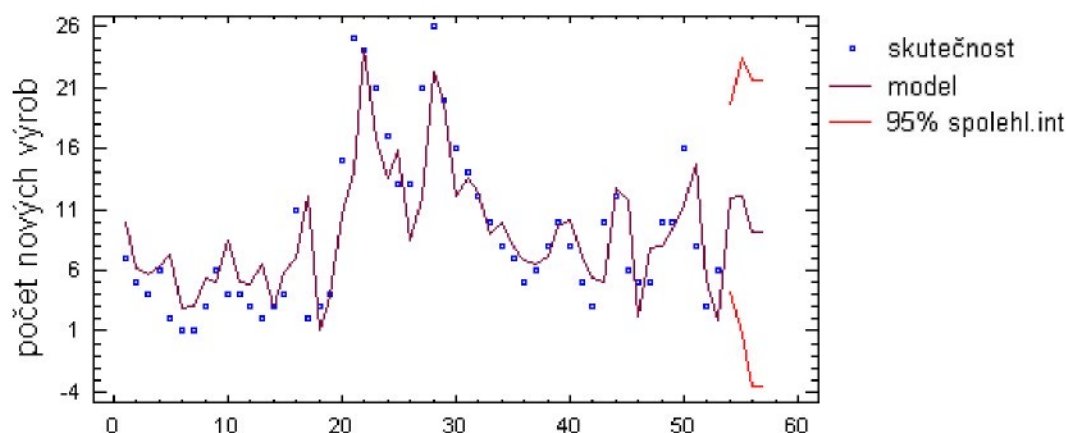
|     |         |         |         |            |          |         |
|-----|---------|---------|---------|------------|----------|---------|
| (O) | 3,84416 | 2,64011 | 50,7518 | 0,0126392  | -29,064  | 2,80632 |
| (P) | 3,94271 | 2,79426 | 51,1938 | 0,00759777 | -30,4515 | 2,81921 |
| (Q) | 3,8057  | 2,76664 | 46,5697 | 0,0505652  | -15,7569 | 2,82394 |

**Tab. III-12** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

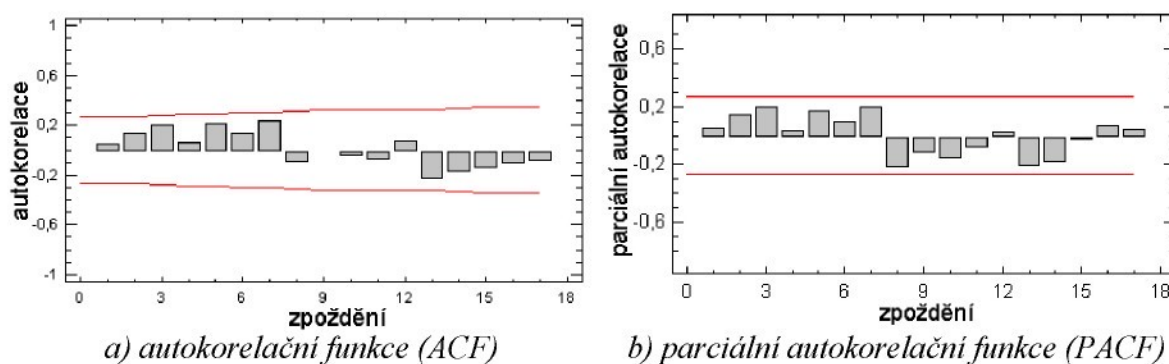
| Model | RMSE           | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|-------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)   | 4,1515         | ***       | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (B)   | 6,52465        | ***       | ***       | ***       | OK        | OK        |
| (C)   | 6,46964        | ***       | **        | ***       | OK        | OK        |
| (H)   | 4,11148        | ***       | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (I)   | 4,86062        | ***       | OK        | **        | OK        | OK        |
| (J)   | 4,23081        | **        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (M)   | <b>3,81613</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)   | 3,84227        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)   | 3,84416        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)   | 3,94271        | **        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (Q)   | 3,8057         | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

Význam zkratk a symbolů použitých v tabulkách je stejný jako při predikci časových řad u experimentu A, viz. příloha I.

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.



**Obr. III-5** Predikční model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty



**Obr. III-6** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty



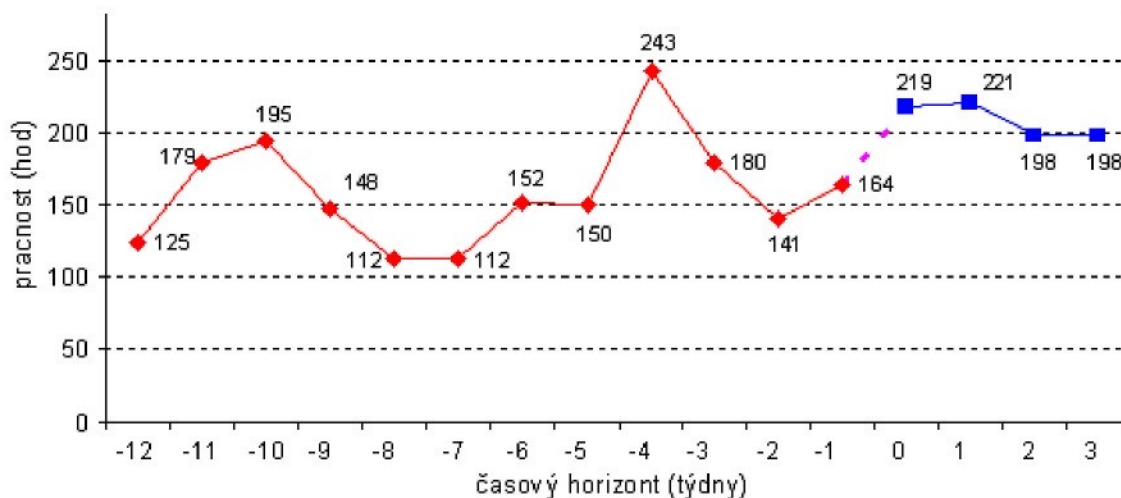
**Tab. III-13** Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost časové řady reziduí)

| Test                        | $P$ -hodnota |
|-----------------------------|--------------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,20749      |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,245951     |
| Box-Pierceův                | 0,247478     |

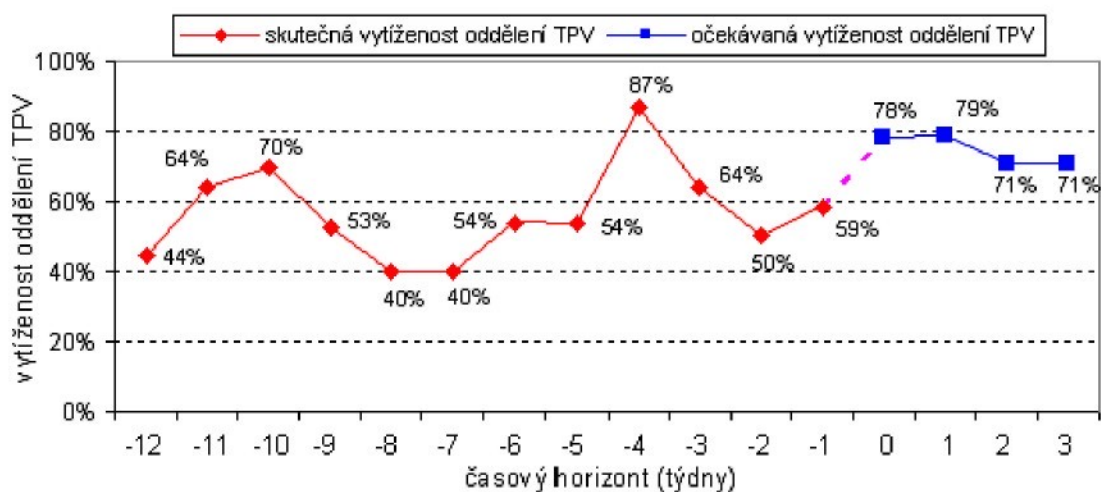
**Tab. III-14** Predikované hodnoty časové řady

| Týden | Predikované počty nových výrob | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 54,0  | 11,9111                        | 4,24275                      | 19,5794                      |
| 55,0  | 12,0234                        | 0,721918                     | 23,3249                      |
| 56,0  | 9,06872                        | -3,50835                     | 21,6458                      |
| 57,0  | 9,06872                        | -3,50835                     | 21,6458                      |

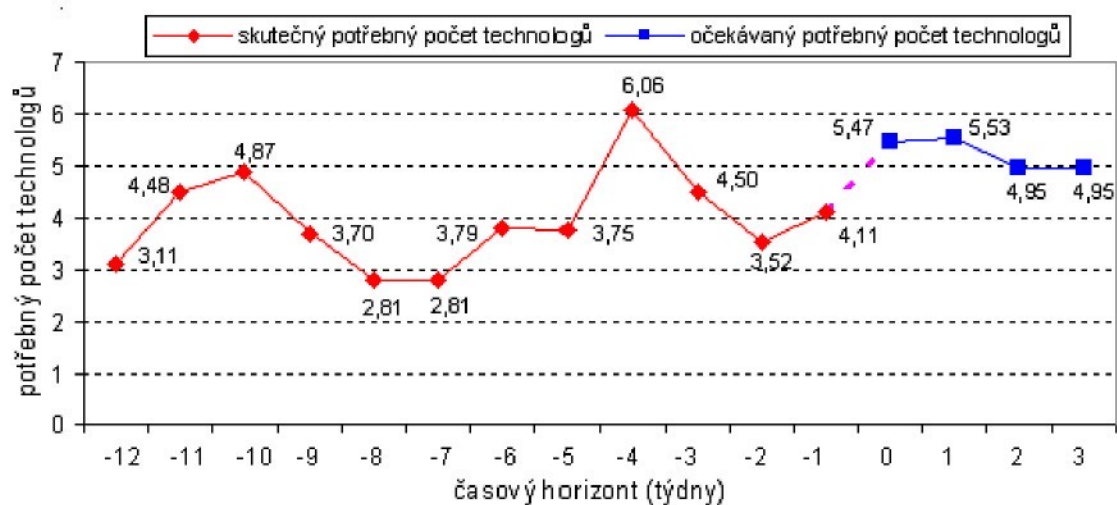
### III-5 Kapacitní výpočet



**Obr. III-7** Skutečná a očekávaná pracnost (objem práce)



**Obr. III-8** Skutečná a očekávaná vytíženost



Obr. III-9 Potřebný počet technologů

Tab. III-15 Výsledky kapacitního výpočtu

| horizont (týden) | pracnost (hod) | vytíženost oddělení TPV (7 technologů) | potřebný počet technologů | reálnizovatelný potřebný počet technologů |
|------------------|----------------|----------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| -12              | 125            | 44%                                    | 3,11                      | 4                                         |
| -11              | 179            | 64%                                    | 4,48                      | 5                                         |
| -10              | 195            | 70%                                    | 4,87                      | 5                                         |
| -9               | 148            | 53%                                    | 3,70                      | 4                                         |
| -8               | 112            | 40%                                    | 2,81                      | 3                                         |
| -7               | 112            | 40%                                    | 2,81                      | 3                                         |
| -6               | 152            | 54%                                    | 3,79                      | 4                                         |
| -5               | 150            | 54%                                    | 3,75                      | 4                                         |
| -4               | 243            | 87%                                    | 6,06                      | 6                                         |
| -3               | 180            | 64%                                    | 4,50                      | 5                                         |
| -2               | 141            | 50%                                    | 3,52                      | 4                                         |
| -1               | 164            | 59%                                    | 4,11                      | 5                                         |
| 0                | 219            | 78%                                    | 5,47                      | 6                                         |
| 1                | 221            | 79%                                    | 5,53                      | 6                                         |
| 2                | 198            | 71%                                    | 4,95                      | 5                                         |
| 3                | 198            | 71%                                    | 4,95                      | 5                                         |

## PŘÍLOHA IV – Příloha k 6. kapitole

### IV-1 Odvození důkazu rostoucího rozptylu

V případě výskytu sériových chyb (zpoždění) stejného nebo různých typů dochází k růstu hodnoty rozptylu každého dalšího lokálního maxima. V této podkapitole bude věnována pozornost odvození vztahů mezi parametry dílčích rozdělení sériových chyb.

Časy dílčích operací (zpoždění) označme  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ . Tyto časy jsou složkami náhodného vektoru  $\vec{w}$ , pro který budeme uvažovat  $n$ -rozměrné normální (Gaussovo) rozdělení s hustotou pravděpodobnosti  $f(\vec{x})$ , popsanou vztahem (1).

$$\vec{w}: f(\vec{x}) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \cdot \sqrt{|S|}} \cdot e^{-\frac{1}{2}(\vec{x}-\vec{\mu})^T \cdot S^{-1} \cdot (\vec{x}-\vec{\mu})} \quad (1)$$

U vztahu (1) si lze všimnout jisté analogie s předpisem funkce hustoty pravděpodobnosti pro jednorozměrné normální rozdělení. Místo rozptylu se zde ovšem vyskytuje kovariační matice. Tu lze obecně popsat vztahem (2).

$$S\vec{w} = E(\vec{w} - E\vec{w}) \cdot (\vec{w} - E\vec{w})^T \quad (2)$$

Po rozepsání tohoto tvaru na složky dostáváme rovnost (3).

$$S\vec{w} = E \begin{pmatrix} w_1 - Ew_1 \\ w_2 - Ew_2 \\ w_3 - Ew_3 \\ \vdots \\ w_n - Ew_n \end{pmatrix} \cdot (w_1 - Ew_1, w_2 - Ew_2, w_3 - Ew_3, \dots, w_n - Ew_n) \quad (3)$$

Z té pak, při respektování vztahů pro dílčí rozptyly (4) a kovariance (5), kde  $i, j = 1 \dots n$ , lze již napsat konečnou podobu kovariační matice (6).

$$\sigma_i^2 = E(w_i - Ew_i)^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{ij} = E(w_i - Ew_i) \cdot (w_j - Ew_j) \quad (5)$$

$$S\vec{w} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \cdot \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \cdot & \cdot & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Pravděpodobnostní rozdělení náhodného vektoru  $\vec{w}$  lze pak zapsat ve tvaru (7).

$$\bar{w} : N(E\bar{w}, S\bar{w}) \quad (7)$$

Pro nalezení požadovaného rozdělení součtu časů dílčích operací je nejprve třeba úlohu zobecnit a postavit ji na hledání parametrů rozdělení vektoru  $\bar{q}$ , tedy na hledání  $E\bar{q}$  a  $S\bar{q}$ . Zmiňovaný vektor  $\bar{q}$  je popsán vztahem (8), kde  $\mathbf{B}$  je konstantní matice.

$$\bar{q} = \mathbf{B} \cdot \bar{w} \quad (8)$$

Střední hodnotu vektoru  $\bar{q}$  lze s respektováním vlastností střední hodnoty a vztahu (8) popsat vztahem (9).

$$E\bar{q} = E(\mathbf{B} \cdot \bar{w}) = \mathbf{B} \cdot E\bar{w} \quad (9)$$

Při hledání druhého z parametrů, tedy kovariační matice  $S\bar{q}$ , je vycházeno z obecného vztahu pro výpočet kovariační matice (10). S respektováním vztahu (8) lze po úpravách vyjádřit konečný tvar kovariační matice  $S\bar{q}$ , vztahem (11).

$$S\bar{q} = E(\bar{q} - E\bar{q}) \cdot (\bar{q} - E\bar{q})^T \quad (10)$$

$$S\bar{q} = \mathbf{B} \cdot E(\bar{w} - E\bar{w}) \cdot (\bar{w} - E\bar{w})^T \cdot \mathbf{B}^T = \mathbf{B} \cdot S\bar{w} \cdot \mathbf{B}^T \quad (11)$$

V tuto chvíli tedy máme odvozeny parametry normálního rozdělení pro obecné zobrazení. Lze tedy napsat vztah (12), vyjadřující rozdělení náhodného vektoru  $\bar{q}$ .

$$\bar{q} : N(\mathbf{B} \cdot E\bar{w}, \mathbf{B} \cdot S\bar{w} \cdot \mathbf{B}) \quad (12)$$

Po tomto zobecnění je možno přistoupit k požadovanému vyjádření celkového rozdělení součtu časů všech dílčích operací. Náhodná veličina tohoto součtu je vyjádřena vztahem (13). Pro zobrazení součtu složek vektoru  $\bar{w}$ , bude mít matice  $\mathbf{B}$  podobu (14).

$$s = \sum_{i=1}^n w_i \quad (13)$$

$$\mathbf{B} = (1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \quad (14)$$

Jelikož se jedná o konkrétní případ předchozího obecného zobrazení, musí být zachována platnost obecného vztahu (12). S respektováním vztahů (6), (9), (11) a (12), lze pak vyjádřit vztahem (15) celkové pravděpodobnostní rozdělení doby přeseřízení.

$$s : N \left( (1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \cdot E\bar{w}, (1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \cdot \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \cdot & \cdot & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \right) \quad (15)$$

Po roznásobení lze výraz v maticovém tvaru (15) zapsat ve skalární podobě (16).

$$s: N \left( \sum_{i=1}^n Ew_i, \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} \right) \quad (16)$$

Vzhledem k tomu, že se v parametrech  $Es$  a  $Ss$  rozdělení náhodné veličiny  $s$ , vyskytují náhodné veličiny  $w_i$  u kterých nelze parametry  $Ew_i$ ,  $\rho_i^2$  a  $\rho_{ij}$  spočítat přímo, je třeba pro jejich spočtení použít bodových odhadů. Bodové odhady lze sestavit na základě skutečně naměřených délek trvání dílčích operací přeseřizení. Tyto hodnoty pak budou tvořit výběrový soubor rozsahu  $m$  s výběrovými veličinami  $v_k$ , kde  $k = 1 \dots m$ .

Pro odhad střední hodnoty  $Ew_i$  je vhodné využít výběrového průměru (17). Pro odhad rozptylu  $\rho_i^2$  lze s výhodou využít výběrového rozptylu (18) a pro odhad kovariance  $\rho_{ij}$  lze využít vztahu (19), vyjadřující výběrovou kovarianci.

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{k=1}^m v_{ik}}{m} \quad (17)$$

$$s_i^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (v_{ik} - \bar{v}_i)^2}{m-1} \quad (18)$$

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (v_{ik} - \bar{v}_i) \cdot (v_{jk} - \bar{v}_j)}{m-1} \quad (19)$$

Jelikož výše uvedené bodové odhady charakteristik náhodné veličiny jsou sami o sobě také náhodnými veličinami, obsahují jistou míru nepřesnosti, nespolehlivosti a to zvláště pro malý rozsah výběru. Z tohoto důvodu je vhodné pro vymezení spolehlivosti bodových odhadů zkonstruovat intervalové odhady. Ty pak udávají interval, který se stanovenou pravděpodobností blízkou jedničce pokrývá odhadovanou charakteristiku.

Nyní bude pozornost věnována zkoumání vzájemných závislostí jednotlivých operací. Ve vztahu (6), který popisuje podobu kovariační matice  $S\bar{w}$ , si lze všimnout jedné důležité vlastnosti. Je-li  $S\bar{w}$  diagonální, znamená to, že složky vektoru  $\bar{w}$  jsou nekorelované. Potom je také  $S\bar{w}^{-1}$  diagonální a v exponentu frekvenční fce (1) bude součet čtverců. Pak lze předpis pro  $f(\bar{x})$  vyjádřit součinem jednorozměrných normálních frekvenčních funkcí, z čehož vyplývá nezávislost složek vektoru, resp. nezávislost dílčích operací. V takovém případě, by předpis pravděpodobnostního rozdělení součtu dílčích operací  $s$ , původně popsaný vztahem (16), měl podobu (20).

$$s: N \left( \sum_{i=1}^n Ew_i, \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right) \quad (20)$$

Ze vztahu (20) je již patrný růst rozptylu každého dalšího lokálního maxima při výskytu sériových chyb v seřizování.



## IV-2 Problematika stanovení vhodného počtu tříd histogramu

V předchozích kapitolách byly k zachycení rozložení časů seřízení používány histogramy. Pokud jsou časy přeseřízení strojů pořizeny z IS, nemáme informaci o výskytech abnormalit (chyb) při seřizování. I v takovémto případě je možno chyby odhalit. Pro odhalení chyby a s ní spojené vícemodality je nutné zvolit vhodný počet tříd histogramu.

$$k = \frac{\max x - \min x}{h} \quad (21)$$

Pro stanovení počtu tříd histogramu existuje více pravidel, obecně však ani pro jednodálání rozdělení nelze určit univerzální nejvhodnější pravidlo. Mezi nejznámější pravidla určování vhodného počtu tříd histogramu patří:

- Sturgesovo pravidlo  $k = 1 + 3,322 \cdot \log_{10} n$  [38] (22)

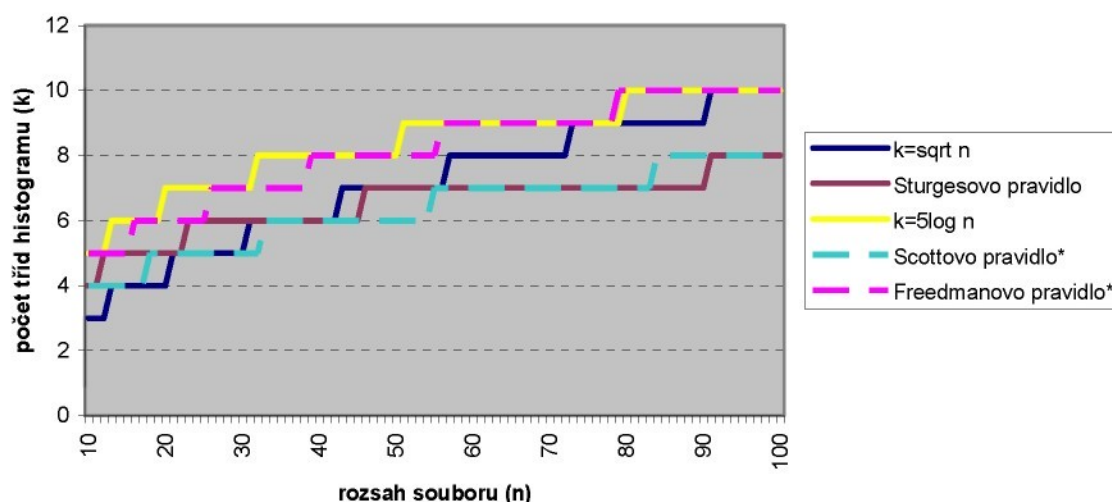
$$k = 1 + \log_2 n \quad [111] \quad (23)$$

- Scottovo pravidlo  $h = 3,49 \frac{\sigma}{\sqrt[3]{n}}$  [35] [30] (24)

- Freedmanovo pravidlo  $h = 2 \cdot \frac{IQR(x)}{\sqrt[3]{n}}$  [26] [115] (25)

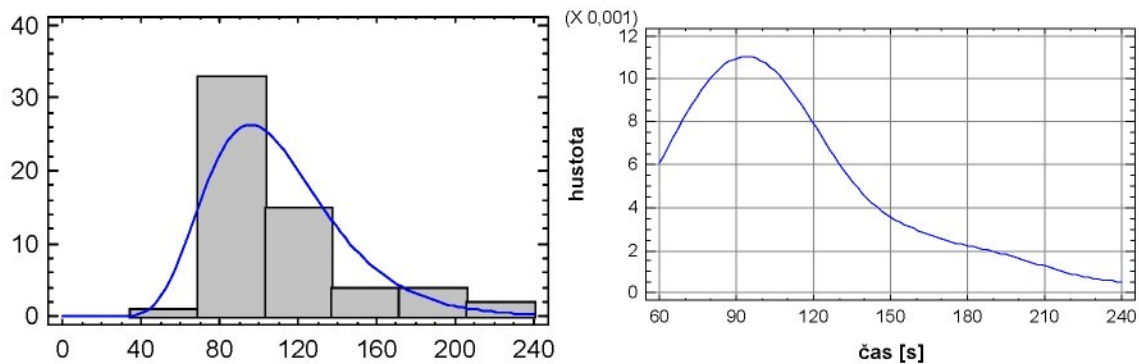
- Další autoři  $k = \sqrt{n}$   
 $k \leq 5 \cdot \log_{10} n$  [32] (26)

Někteří odborníci (teoretici) prezentují optimalizační algoritmy pro stanovení velikosti šířky intervalu, jako např. SHIMAZAKI [105]. Mimo zmíněných poměrně známých vztahů byly provedeny pokusy o stanovení optimálního počtu tříd histogramu na základě využití hustoty výskytu případů. [6] Porovnání základních pravidel volby počtu tříd histogramu je uveden na obr. 1. \*Kde bylo u Scottova a Freedmanova pravidla uvažováno  $R = 6\sigma$  a  $\sigma = 1$ .

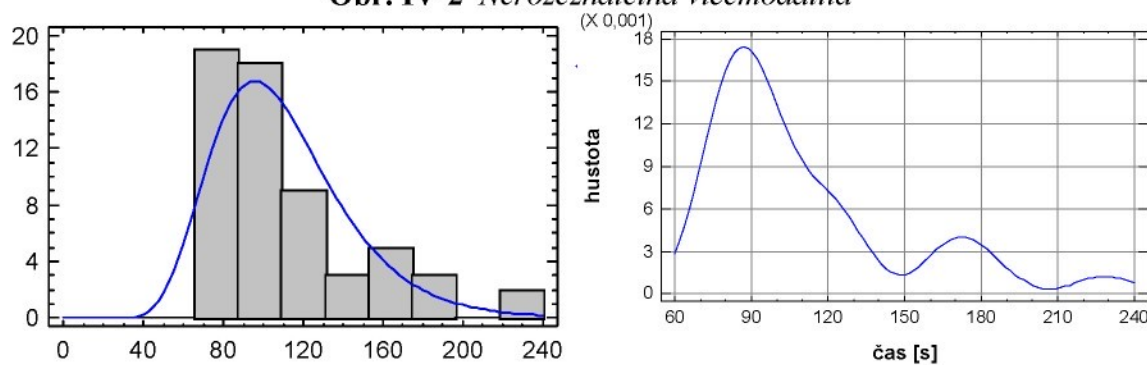


Obr. IV-1 Porovnání pravidel pro stanovení vhodného počtu tříd histogramu

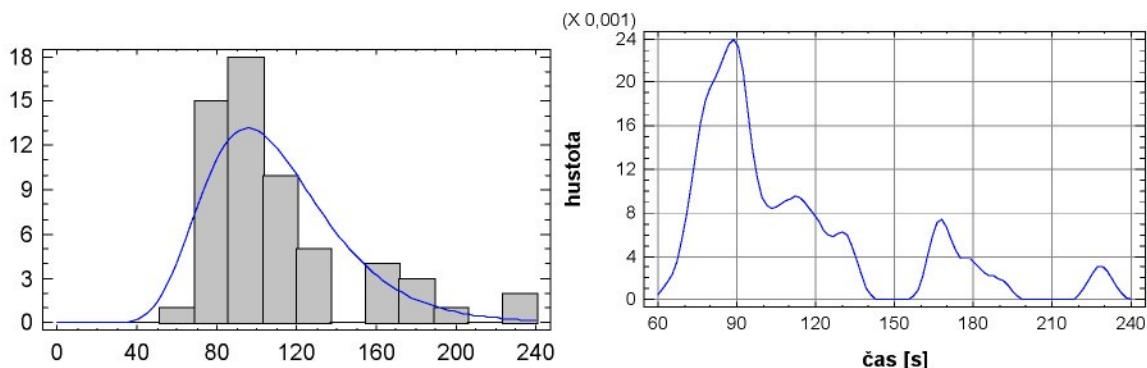
Vliv volby vhodného počtu intervalů histogramu na odhalení abnormality je patrný z obr. 2 až 4. Tyto histogramy a křivky hustot výskytu případů pocházejí ze stejného souboru dat.



**Obr. IV-2** Nerozeznatelná vícemodalita



**Obr. IV-3** Rozeznatelná vícemodalita

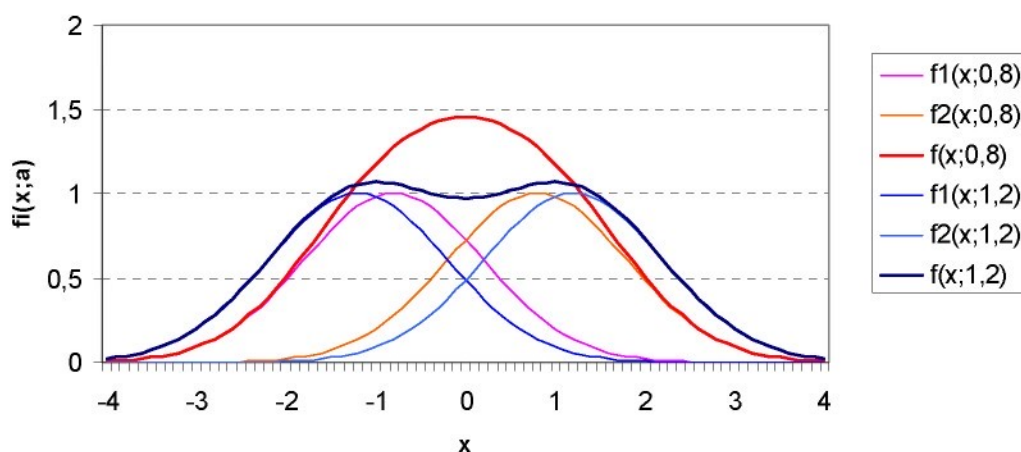


**Obr. IV-4** Rozeznatelná vícemodalita s možností separace dat

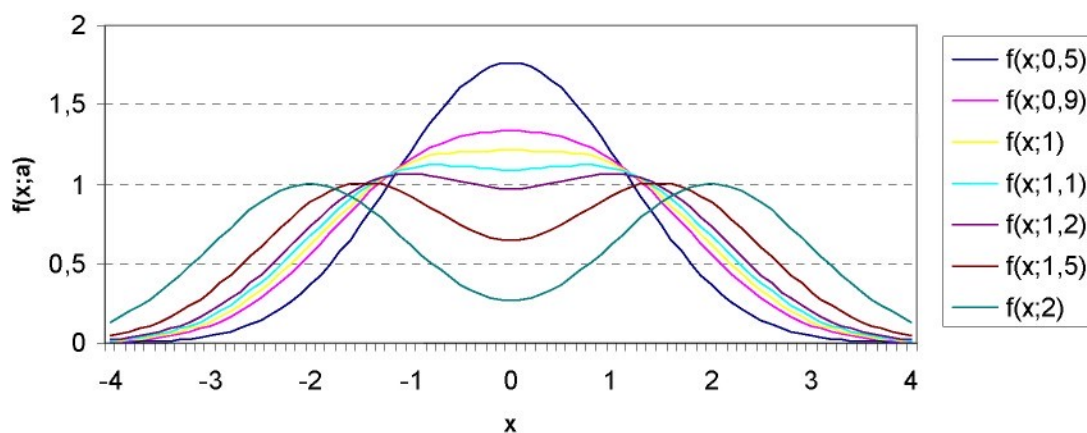
Z provedených experimentů vyplývá, že je vhodné vždy vyzkoušet více možných variant počtů tříd histogramu. Vyvinutá počítačová aplikace i jiné komerční statistické aplikace tuto možnost nabízejí. Pro dvoumodální rozdělení se ukazuje být vhodným prvotním odhadem počtu tříd histogramu přibližně dvojnásobek výše uvedených konvenčních pravidel.

### IV-3 Ověření stability numerického algoritmu pro výpočet parametrů dvoumodální funkce hustoty pravděpodobnosti

$$f(x) = e^{-\frac{1}{2}(x+a)^2} + e^{-\frac{1}{2}(x-a)^2} \quad (27)$$



Obr. IV-5 Porovnání funkcí hustot pravděpodobnosti  $f(x; a)$  v závislosti na posunutí  $a$  I



Obr. IV-6 Porovnání funkcí hustot pravděpodobnosti  $f(x; a)$  v závislosti na posunutí  $a$  II

Zde je  $p=0,5$ , v reálných případech, kde je  $p$  zpravidla menší než  $0,3$  se algoritmus chová stabilněji.

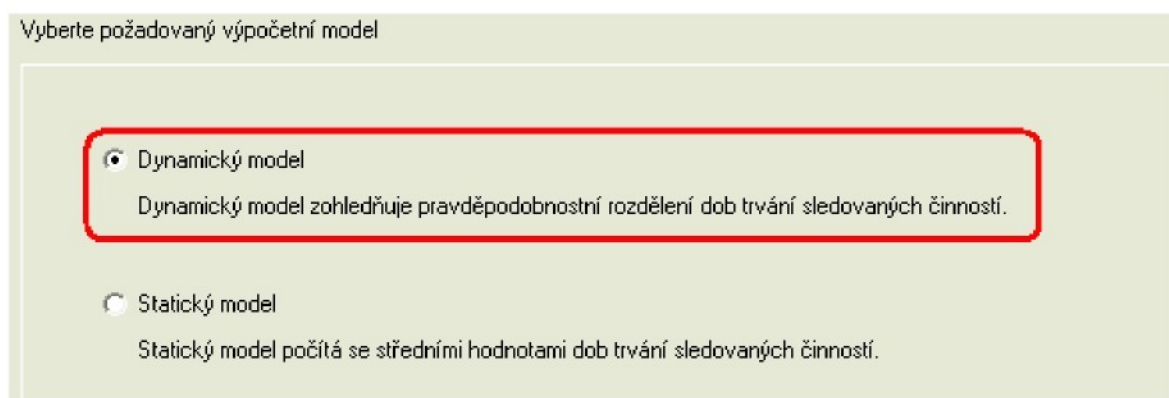
## Příloha V – Návod k použití vytvořené počítačové aplikace

Postup práce s aplikací bude ukázán na příkladě, pro dynamický model.

### Úloha:

- 6 seřizovačů vstřikolisů / 1 směna (3 směnný provoz) => 18 seřizovačů
- Týdenní fond jednoho pracovníka je  $5 \times 7,5 \text{ hod} = 37,5 \text{ hod}$
- 5 typových úkolů (časy načteme ze souboru *casy-serizeni.txt*)
- 1 časová řada (počty všech seřízení v jednotlivých týdnech na všech 3 směnách, (načteno ze souboru *rada-serizeni.txt*)
- Poměry činností jsou rovnoměrné =>  $p_1$  až  $p_5 = 0,2$
- Struktura: Sledované 51%, Nesledované 32%, Plýtvání 17%

Po spuštění aplikace *Project3.exe* se zobrazí první okno, ve kterém zvolíme Dynamický model, viz. obr. V-1.



**Obr. V-1** Volba požadovaného modelu

### Dále postupujeme dle následujícího postupu:

- 1) Nahrajeme vstupní data časů přeseřízení ze souboru *casy-serizeni.txt*
- 2) Nahrajeme časovou řadu počtů seřízení ze souboru *rada-serizeni.txt*
- 3) Zadáme poměrné zastoupení typových činností v časových řadách. Zastoupení je rovnoměrné, činností je pět, proto vyplníme ve všech polích hodnotu 0,2 a potvrdíme tlačítkem *Použít*, (kroky 1 až 3, viz. obr. V-2).
- 4) Zadání struktury práce, vyplníme dle zadání: sledované činnosti: 51, nesledované činnosti: 32, plýtvání: 17. Po zadání hodnot stiskneme tlačítko *Vykreslit diagram*. Tím dojde k vykreslení struktury práce a vypočtení přírážkového koeficientu.
- 5) Zadání týdenního časového fondu jednoho pracovníka (37,5hod) a počtu sledovaných pracovníků na všech třech směnách (18 seřizovačů). Vstupní data potvrdíme tlačítkem *Použít*, (kroky 4 a 5, viz. obr. V-3).



**Form1**

Volba modelu Vstupní data

Struktura časového fondu Naměřené doby trvání činností

Naměřené doby trvání sledovaných činností

Importujte naměřené doby trvání sledovaných činností **Otevřít** **1**

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 22,48     | 32,69     | 15,81     | 47,69     | 53,86     |
| 23,09     | 35,23     | 16,82     | 50,23     | 55,24     |
| 23,49     | 36,91     | 16,96     | 51,91     | 55,31     |
| 24,35     | 37,07     | 17,71     | 52,07     | 55,39     |
| 25,7      | 37,25     | 17,72     | 52,25     | 56,14     |
| 26,31     | 38,05     | 17,92     | 53,05     | 56,82     |
| 26,47     | 39,1      | 18,47     | 54,1      | 56,83     |
| 27,41     | 39,77     | 18,53     | 54,77     | 57        |
| 27,43     | 40,04     | 18,85     | 55,04     | 57,02     |
| 28,22     | 40,05     | 18,9      | 55,05     | 57,54     |
| 28,34     | 40,13     | 18,92     | 55,13     | 58        |
| 28,38     | 40,2      | 19,01     | 55,2      | 59,32     |
| 28,65     | 41,07     | 19,04     | 56,07     | 59,34     |
| 28,66     | 41,17     | 19,14     | 56,17     | 59,55     |
| 28,74     | 41,24     | 19,29     | 56,24     | 60        |

Sřední hodnoty dob trvání jednotlivých činností:

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 30,76     | 49,76     | 20,62     | 64,76     | 63,96     |

Zjištěná časová řada výskytů činností

Importujte časovou řadu **Otevřít** **2**

Uvedte poměrné zastoupení činností **3**

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,2       | 0,2       | 0,2       | 0,2       | 0,2       |

Použít

Procentuální zastoupení jednotlivých sledovaných činností

0,2 0,2 0,2 0,2 0,2

Obr. V-2 Zadávání vstupních dat – časy, řada

**Form1**

Volba modelu Vstupní data Pravděpodobnostní modely dob trvání činností

Struktura časového fondu Naměřené doby trvání činností

Struktura časového fondu

Uvedte zjištěné časové, četnostní, nebo procentuální zastoupení následujících činností:

Sledované činnosti: 51 **4**

Nesledované činnosti: 32

Přijetí: 17

Vykreslit diagram

Struktura časového fondu

51 % 32 % 17 %

51 32 17

Časový fond a současná kapacita

Vyplňte následující položky:

Týdenní časový fond jednoho pracovníka: 37,5 hodin

Současný počet pracovníků sledovaného pracoviště: 18

Použít **5**

Výpočet přírůžkového koeficientu A (allowance)

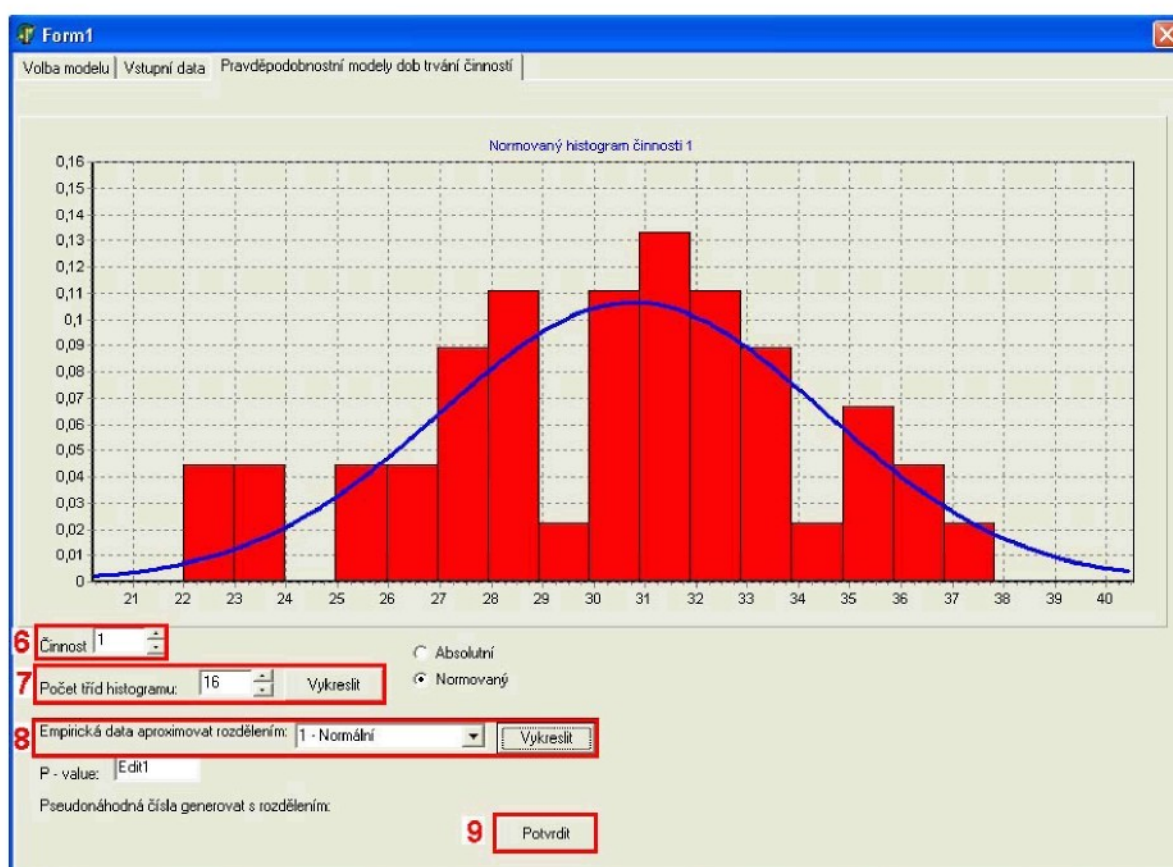
$A = (\text{sledované} + \text{nesledované}) / (\text{sledované}) = 1,63$

Obr. V-3 Zadávání vstupních dat – struktura, časový fond, počet seřizovačů



Po zadání vstupních dat následuje generování histogramů pro jednotlivé typové činnosti a výběr vhodného teoretického pravděpodobnostního rozdělení.

- 6) Pod číslem 6 je pole pro přepínání mezi činnostmi
- 7) Pod polem 7 je možno volit požadovaný počet tříd histogramu
- 8) Pod polem 8 uživatel volí vhodné teoretické rozdělení, aplikace nabízí 3 nejčastěji vyskytující se rozdělení v oblasti seřizování strojů, jsou jimi:
  - Normální rozdělení,
  - Lognormální rozdělení
  - Dvoumodální rozdělení tvořené směsí dvou normálních rozdělení.
- 9) Po vybrání rozdělení pro všech pět typových činností potvrdíme tlačítkem *Potvrdit* v poli 9, (kroky 6 až 9, viz. obr. V-4).



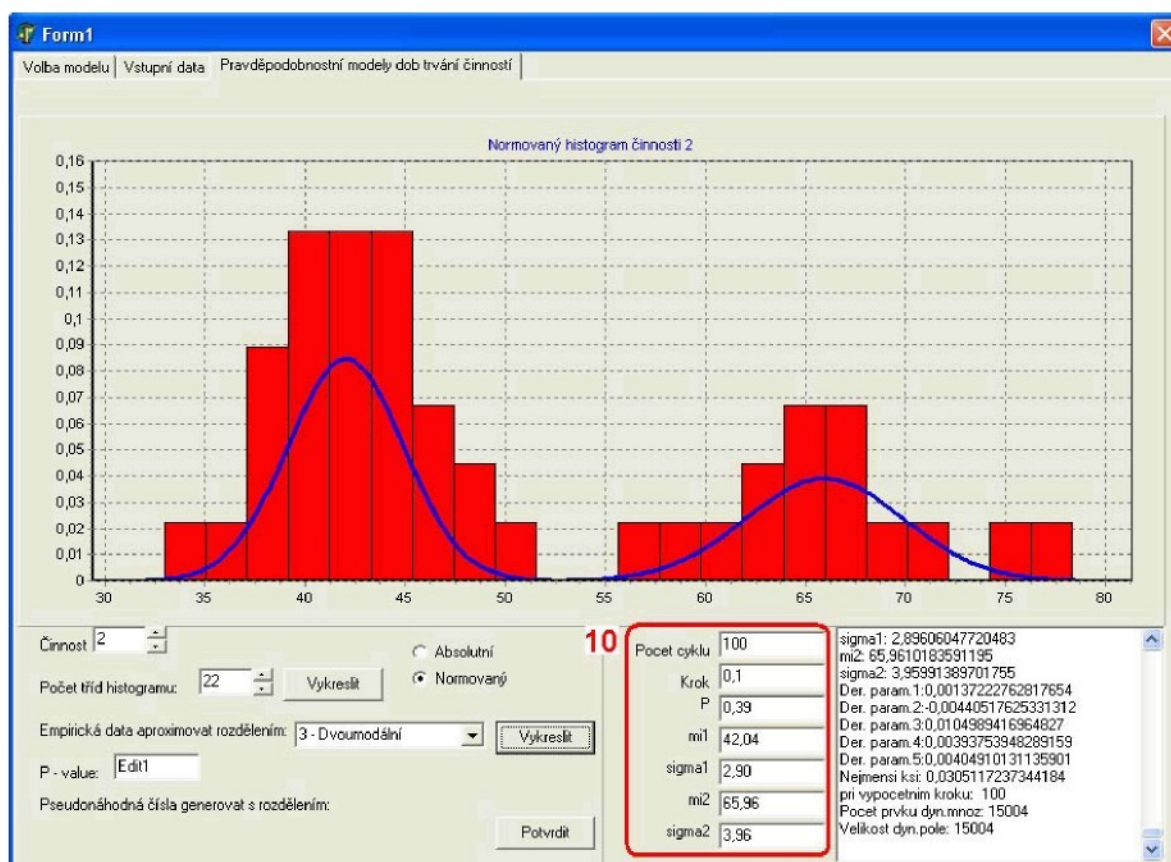
**Obr. V-4** Generování histogramu a výběr rozdělení – činnost 1

- 10) Pokud je voleno dvoumodální rozdělení, jehož funkce je počítána numericky, je potřeba zadat počáteční odhad parametrů rozdělení. Pro počáteční odhad využíváme histogramu, ze kterého jsou patrné obě střední hodnoty, obě směrodatné odchylky a poměr obou skupin dat.

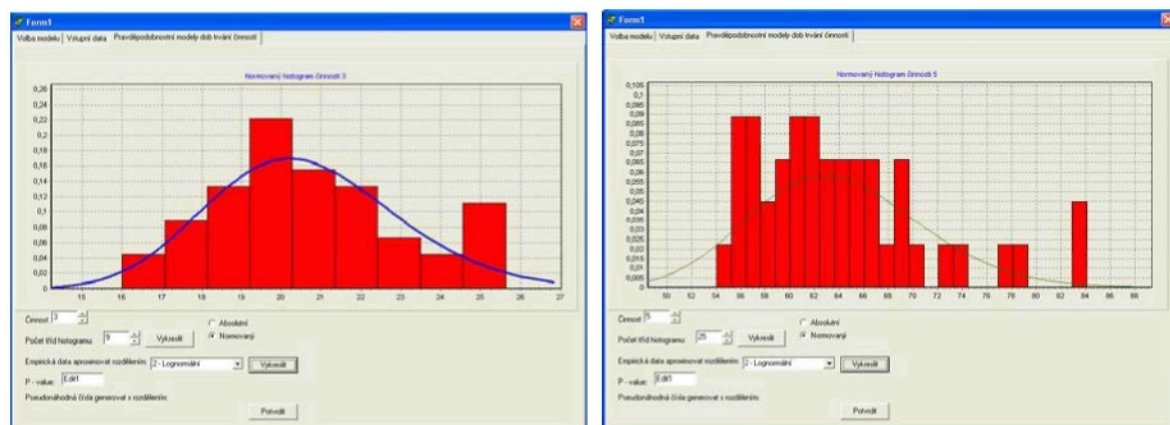
Pro tento příklad je vhodné počty tříd histogramů, teoretická rozdělení a parametry volit následovně:

- Činnost 1: počet tříd histogramu = 16, Normální rozdělení, (viz. obr. V-4),
- Činnost 2: počet tříd histogramu = 22, Dvoumodální rozdělení s počátečním odhadem:  $P=0,5$  ;  $m_{11}=44$  ;  $\sigma_{11}=3$  ;  $m_{12}=64$  ;  $\sigma_{12}=4$ . Po 100 iteračních

- krocích proběhne nalezení hledaných parametrů, se kterými bude dále počítáno při generování pseudonáhodných čísel, (viz. obr. V-5),
- Činnost 3: počet tříd histogramu = 9, Lognormální, (viz. obr. V-6a),,
  - Činnost 4: počet tříd histogramu = 23, Dvoumodální rozdělení s počátečním odhadem:  $P=0,5$  ;  $mi1=56$  ;  $\sigma1=3$  ;  $mi2=80$  ;  $\sigma2=4$ . Po 100 iteračních krocích proběhne nalezení hledaných parametrů, se kterými bude dále počítáno při generování pseudonáhodných čísel, (viz. obr. V-7),
  - Činnost 5: počet tříd histogramu = 25, Lognormální, (viz. obr. V-6b).



Obr. V-5 Generování histogramu a výběr rozdělení – činnost 2

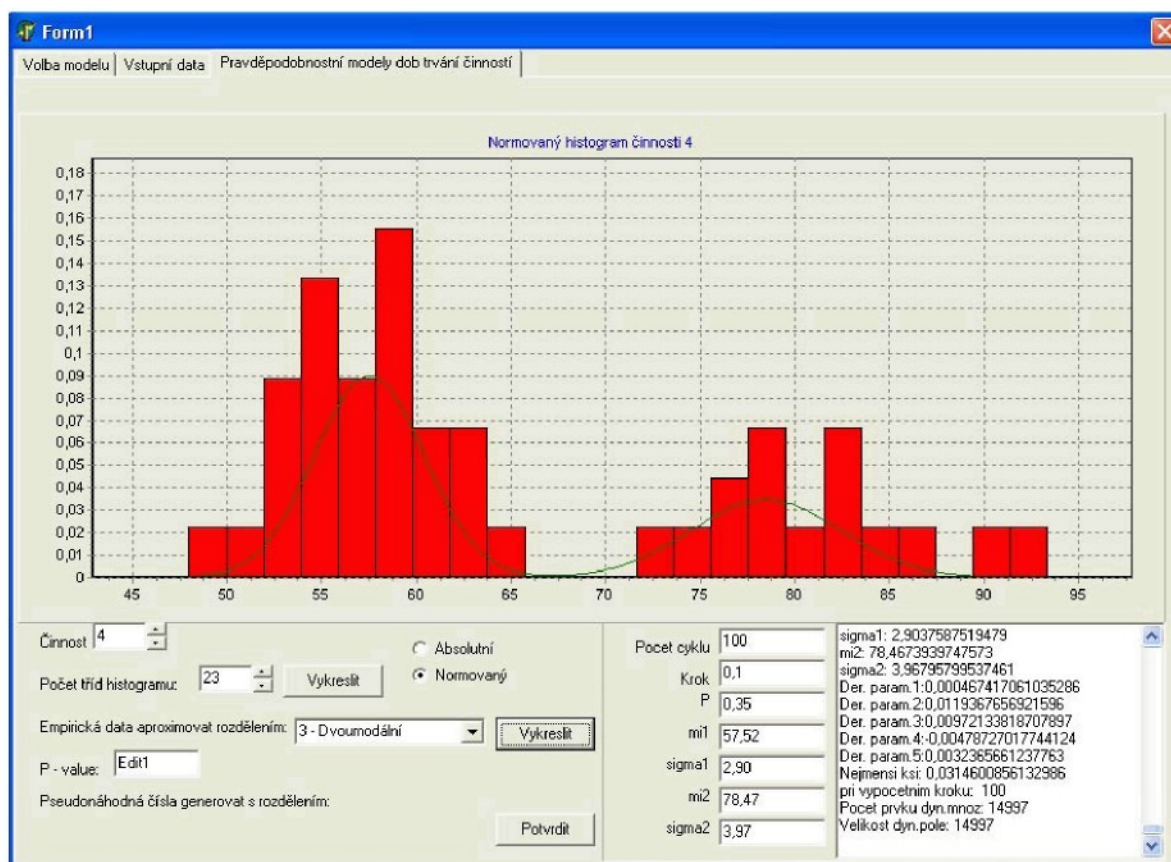


a) činnost 3

b) činnost 5

Obr. V-6 Generování histogramu a výběr rozdělení – činnosti 3 a 5





**Obr. V-7** Generování histogramu a výběr rozdělení – činnost 4

- 11) Po vybrání teoretických rozdělení následuje fáze modelování a predikce časové řady počtů seřízení. Aplikace nabízí možnost modelovat řadu pomocí:

- Lineární regrese
- Kvadratická regrese
- Proložení polynomem 3.stupně
- Proložení průměrnou hodnotou za poslední měsíc
- Přímé využití hodnot za poslední měsíc

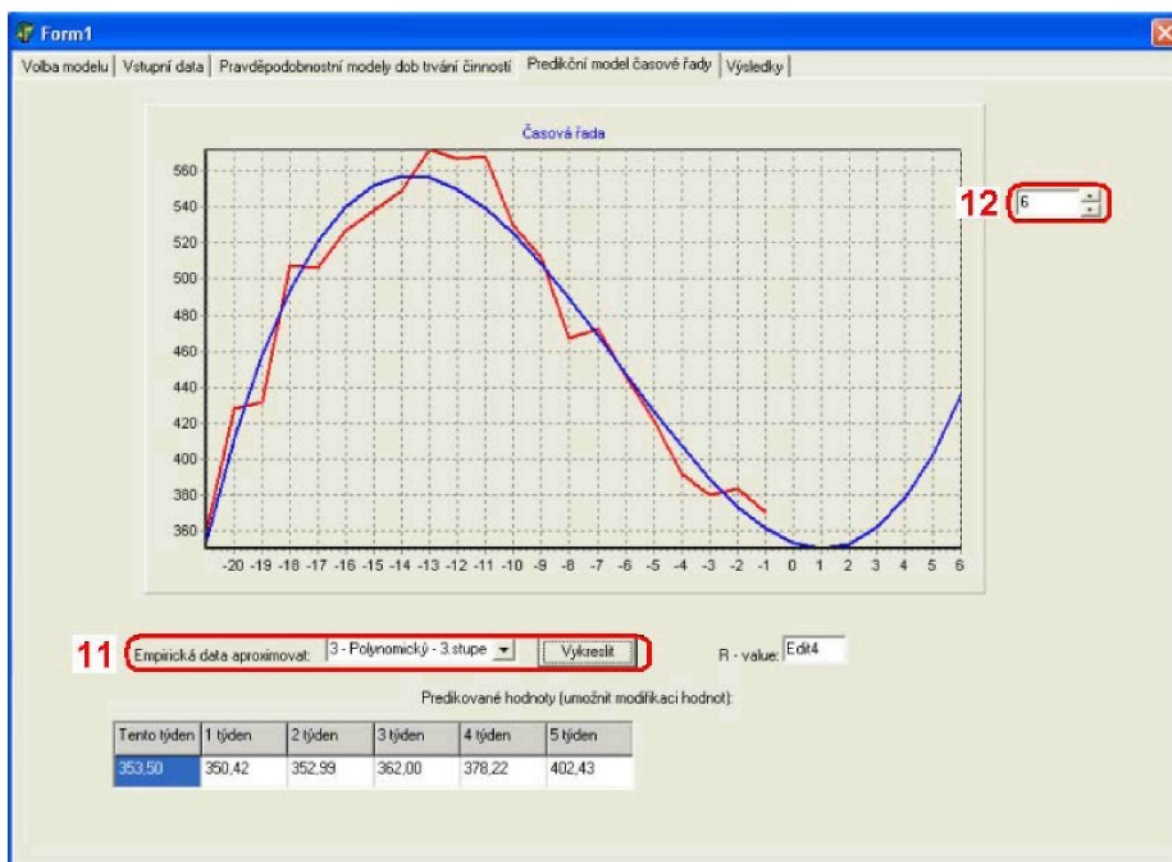
Po vybrání požadovaného proložení potvrdíme výběr tlačítkem *Vykreslit*.

- 12) Velikost predikčního horizontu (počtu týdnů predikce a kapacitního výpočtu) je možno volit pod polem 12, (kroky 11 a 12, viz. obr. V-8).

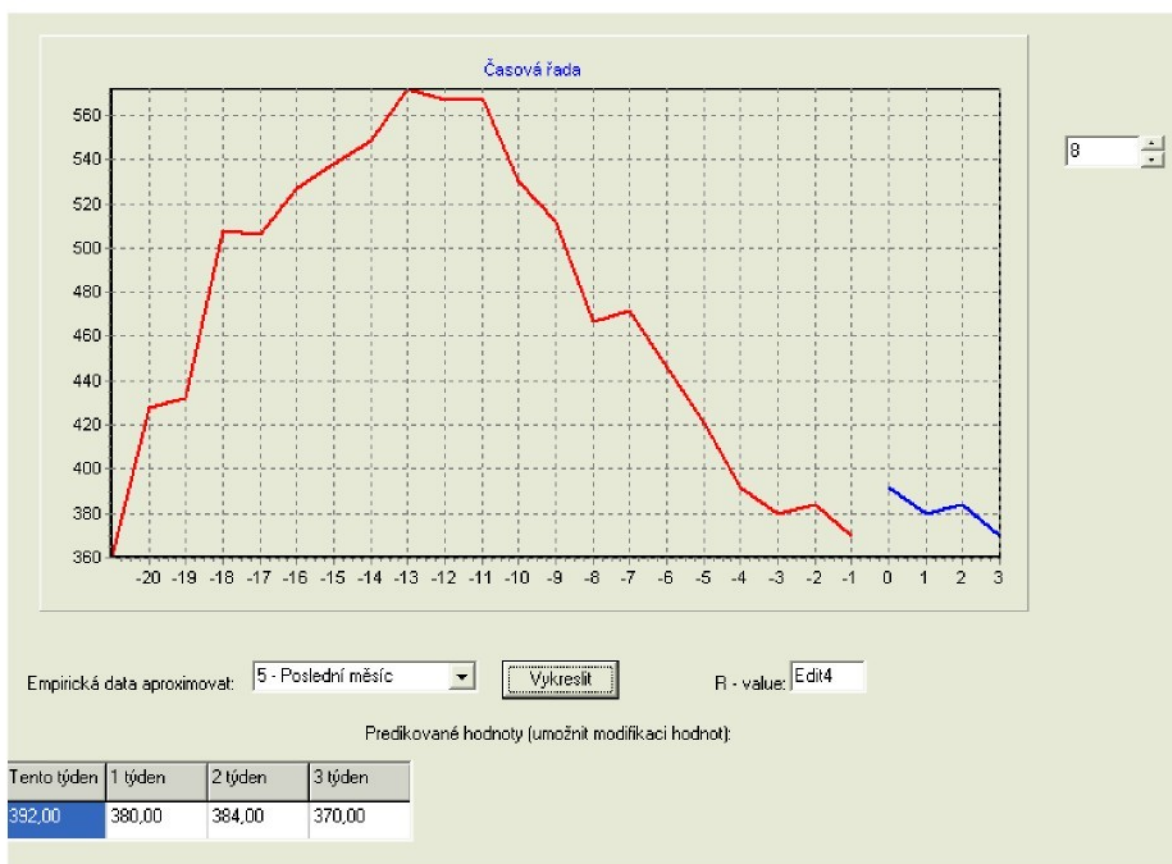
Pro náš příklad je řadu vhodné proložit polynomem 3.stupně, (viz. obr. V-8). Jako alternativa se nabízí také využití hodnot z předchozího měsíce, který byl nakonec pro kapacitní výpočet vybrán, (viz. obr. V-9).

Po provedení výše popsaných kroků, aplikace nabídne záložku *Výsledky*, kde jsou pomocí tabulek a sloupcových grafů ve třech dalších záložkách zobrazeny spočtené týdenní pracovní, vytíženosti a potřebné počty seřizovačů, (viz. obr. V-10 až V-12).

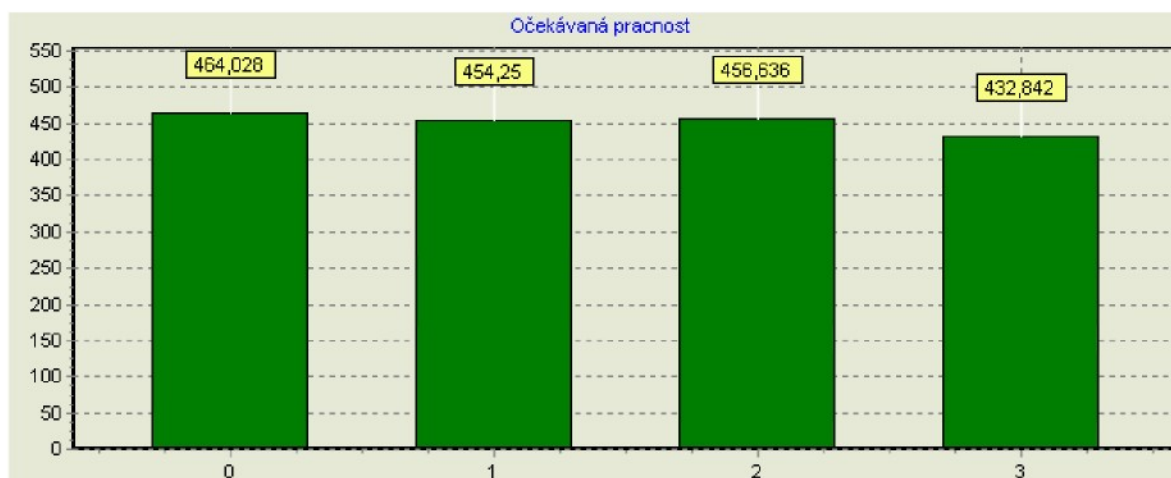
Pro náš příklad vychází pracovní v následujících čtyřech týdnech 464hod, 454hod, 456hod a 432hod. Očekávané vytíženosti 18-ti seřizovačů vycházejí: 68%, 66%, 67% a 63%. Spočtený očekávaný potřebný počet seřizovačů je pak 13, 12, 12, 12 seřizovačů, což znamená při původních 18-ti seřizovačích úsporu dvou seřizovačů na každé směně.



Obr. V-8 Aproximace časové řady polynomem 3. stupně



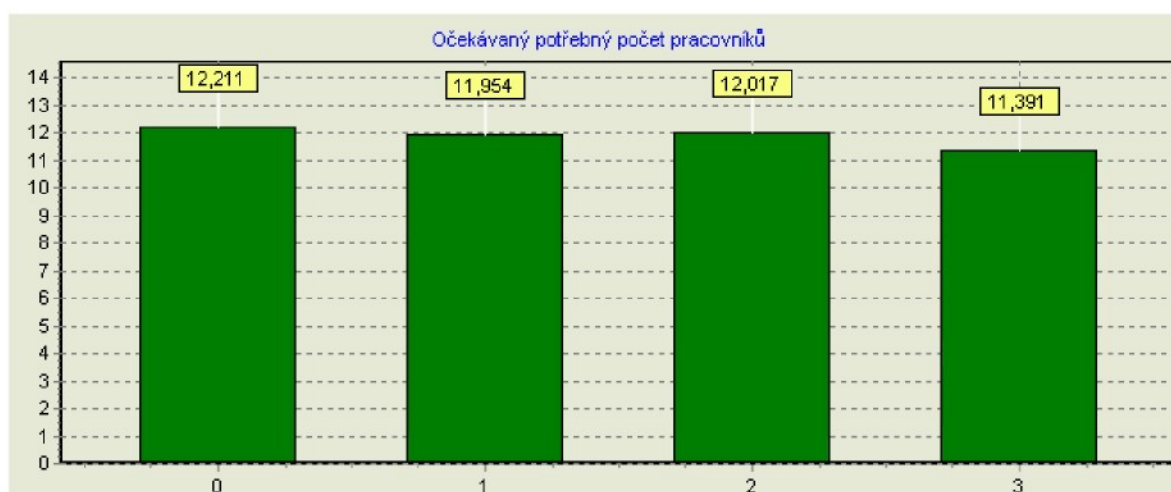
Obr. V-9 Využití hodnot časové z předchozího měsíce



Obr. V-10 Spočtená pracnost v hodinách



Obr. V-11 Procentuální vytížení všech seřizovačů



Obr. V-12 Spočtený očekávaný potřebný počet seřizovačů



## Instrukce pro použití aplikace – specifika, omezení

**Časy nahrávat ze souboru ve formátu .txt, data musí mít následující charakter:**

- Časy **zapsat do prvních sloupců sešitu xls**
- Sloupce časových náměrů musí být **stejně dlouhé**
- Časy v každém sloupci **vzestupně seřadit**
- Pokud jsou používána reálná čísla, použít **k oddělení desetinných míst tečku** (v excelu je možné změnu provést označením buňek, pak pomocí dialogu nástroje-možnosti-mezinárodní)
- Soubor je poté nutno **uložit ve formátu txt**

## Příloha VI: Zdrojový kód vytvořené počítačové aplikace

```
unit start_01;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, Buttons, ComCtrls, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine,  
Chart, ValEdit, Grids, DB, ImgList, Mask, Series, _Math, GanttCh, Math;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)  
  RadioButton1: TRadioButton;  
  RadioButton2: TRadioButton;  
  OK: TBitBtn;  
  StaticText1: TStaticText;  
  StaticText2: TStaticText;  
  Model: TPageControl;  
  TabSheet1: TTabSheet;  
  OpenDialog1: TOpenDialog;  
  TabSheet2: TTabSheet;  
  StaticText3: TStaticText;  
  OpenDialog2: TOpenDialog;  
  TabSheet3: TTabSheet;  
  TabSheet5: TTabSheet;  
  Chart3: TChart;  
  StaticText16: TStaticText;  
  Button5: TButton;  
  StaticText17: TStaticText;  
  Edit4: TEdit;  
  StaticText18: TStaticText;  
  StringGrid3: TStringGrid;  
  TabSheet8: TTabSheet;  
  PageControl4: TPageControl;  
  TabSheet9: TTabSheet;  
  TabSheet10: TTabSheet;  
  TabSheet11: TTabSheet;  
  StaticText19: TStaticText;  
  RadioButton3: TRadioButton;  
  StaticText20: TStaticText;  
  RadioButton4: TRadioButton;  
  StaticText22: TStaticText;  
  TabSheet12: TTabSheet;  
  Chart4: TChart;  
  BarSeries2: TBarSeries;  
  StringGrid4: TStringGrid;  
  PageControl1: TPageControl;  
  TabSheet23: TTabSheet;  
  TabSheet24: TTabSheet;  
  GroupBox4: TGroupBox;
```

```
StaticText11: TStaticText;  
StaticText5: TStaticText;  
StaticText6: TStaticText;  
Edit2: TEdit;  
Edit3: TEdit;  
GroupBox3: TGroupBox;  
StaticText7: TStaticText;  
StaticText8: TStaticText;  
StaticText9: TStaticText;  
StaticText10: TStaticText;  
GroupBox1: TGroupBox;  
StaticText12: TStaticText;  
StringGrid1: TStringGrid;  
Button1: TButton;  
StaticText23: TStaticText;  
GroupBox5: TGroupBox;  
Chart1: TChart;  
Series1: TPieSeries;  
StaticText25: TStaticText;  
Edit5: TEdit;  
Button8: TButton;  
Button9: TButton;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
StaticText24: TStaticText;  
StaticText26: TStaticText;  
StaticText27: TStaticText;  
StaticText28: TStaticText;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
GroupBox2: TGroupBox;  
StaticText31: TStaticText;  
StaticText32: TStaticText;  
StringGrid6: TStringGrid;  
StringGrid5: TStringGrid;  
StaticText21: TStaticText;  
Panel1: TPanel;  
Panel2: TPanel;  
Button2: TButton;  
ComboBox1: TComboBox;  
Series3: TLineSeries;  
Series4: TLineSeries;  
Chart5: TChart;  
BarSeries1: TBarSeries;  
StringGrid7: TStringGrid;  
Chart6: TChart;  
BarSeries3: TBarSeries;  
StringGrid8: TStringGrid;
```

```
Chart7: TChart;  
Series5: TPieSeries;  
StaticText29: TStaticText;  
Edit15: TEdit;  
UpDown2: TUpDown;  
ValueListEditor1: TValueListEditor;  
Button6: TButton;  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
StaticText4: TStaticText;  
StaticText13: TStaticText;  
UpDown1: TUpDown;  
Button3: TButton;  
StaticText14: TStaticText;  
Edit1: TEdit;  
StaticText15: TStaticText;  
Button4: TButton;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
UpDown3: TUpDown;  
Chart8: TChart;  
Series15: TAreaSeries;  
Series2: TAreaSeries;  
Series6: TAreaSeries;  
Series7: TAreaSeries;  
Series8: TAreaSeries;  
Series9: TAreaSeries;  
Series10: TAreaSeries;  
Series11: TAreaSeries;  
Series12: TAreaSeries;  
Series13: TAreaSeries;  
ComboBox2: TComboBox;  
Button7: TButton;  
Series14: TLineSeries;  
Series16: TLineSeries;  
Series17: TLineSeries;  
Series18: TLineSeries;  
Series19: TLineSeries;  
Series20: TLineSeries;  
Series21: TLineSeries;  
Series22: TLineSeries;  
Series23: TLineSeries;  
Series24: TLineSeries;  
Series26: TAreaSeries;  
Series27: TAreaSeries;  
Series28: TAreaSeries;  
Series29: TAreaSeries;  
Series30: TAreaSeries;  
Series31: TAreaSeries;
```

```

Series32: TAreaSeries;
Series33: TAreaSeries;
Series34: TAreaSeries;
Series25: TAreaSeries;
ColorDialog1: TColorDialog;
RadioButton5: TRadioButton;
RadioButton6: TRadioButton;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Edit14: TEdit;
Edit21: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Memo1: TMemo;
Panel3: TPanel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure OKClick(Sender: TObject);
procedure Edit15Change(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Edit13Change(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Chart8ClickSeries(Sender: TCustomChart; Series: TChartSeries;
  ValueIndex: Integer; Button: TMouseButton; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure RadioButton5Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
const maxcetnost = 50;
const maxsloupcu = 10;
const mnoz_max = 3000;

```



```

type tpocty = array [1..10] of double;
type tsloupec = array [1..10] of double;
type tcasrada = array [1..100] of double;
type tdoatrvani = array [1..100] of real;
type tdoatrvani_r = array [1..100] of double;
type thistogram = array [1..100,1..2] of double;
type tcetnost = array [1..maxcetnost] of double;
type tdpole = array [0..0] of double;
type troz2 = array [1..5] of double;
type ppole = ^tdpole;
tretezec=string[6];
var DobaTrvani : array [1..10] of tdoatrvani;
roz2,pdroz2, roz2n : troz2;
dmnoz : ppole;
x, he : array [1..50] of double;
cetnost, cetnost_n : array [1..maxsloupcu] of tcetnost;
maxc : array [1..maxsloupcu] of double;
prirustek : array [1..maxsloupcu] of double;
prirustekp, zac, allowance, ksi, ksin, prirvyp : double;
ksi_p : array [1..3000] of real;
param_p : array [1..3000] of troz2;
mnozina : array of double;
minim, maxim : tsloupec;
prumery,pomer : tsloupec;
histimage:TImage;
graphnorm : boolean;
casovarada : array [1..100] of integer;
mi, sigma : tsloupec;
casovaradad,koef : _Math.TMatice;
primka1,primka2 : _Math.Tprimka;
chyba: extended;
pocetsloupcu,pocetradek,velcasrada, konecrady, ncyklu, nmnoz : integer;
tridah, roz : array [1..maxsloupcu] of integer;
prumer,fond, pocet_prac,sledovane_cinnosti, nesledovane_cinnosti, plytvani : double;
predik_pocty, pracnost, vytiz_skup, ocek_pocet_prac : tpocty;

var
  Form1: TForm1;

implementation
function suma (p : tdoatrvani_r; vel : integer) : double;
var i : integer;
    poms : double;
begin
    poms := 0;
    for i := 1 to vel do
        poms := poms + p[i];
    suma := poms;
end;

```

```

function suma2pole (p,t:tsloupec) : tpocty;
var i,j:integer;
    suma:double;
    pom : tpocty;
begin
suma := 0;
for j := 1 to 4 do
begin
    for i := 1 to pocetsloupcu do
        suma := suma + p[i]*t[i];
    pom[j] := suma;
end;
result := pom;
end;
{$R *.dfm}
function f_prumer( p : tdoatrvani; vel : integer) : double;
var i : integer;
    pom : double;
begin
pom := 0;
for i := 1 to vel do
    pom := pom + p[i];
pom := pom / vel;

f_prumer := pom;
end;

function funkce (xi,pmi,psigma : double) : double;

begin
    funkce :=(1/(psigma*sqrt(2*pi)))*exp(sqr((xi-pmi)/psigma)*(-0.5));
end;

function ft (xi : double; proz2 : troz2) : double;
begin
    ft := (1 - proz2[1])*funkce(xi,proz2[2],proz2[3]) +
proz2[1]*funkce(xi,proz2[3],proz2[4]);
end;

function f_prumer_ln( p : tdoatrvani; vel : integer) : double;
var i : integer;
    pom : double;
begin
pom := 0;
for i := 1 to vel do
    pom := pom + ln(p[i]);
pom := pom / vel;

```

```

f_prumer_ln := pom;
end;

function realstring(e:double):treetzec;
var realnacist:string[10];
    celacist:string[10];
    i:byte;
    rc:double;

begin
    //for i:=1 to 10 do
    realnacist:="";
    celacist:= inttostr(round(int(e)));
    rc := abs(frac(e));
    if round(100*abs(frac(e))) = 100 then begin celacist := inttostr(round(int(e+1))) ;
                                                realnacist := '00';
                                            end
    else
    begin
        if (10*rc < 1) then
            realnacist:='0'+inttostr(round(100*(abs(frac(e)))))
        else
            // if rc < 1 and (rc >= 0.1) then
            realnacist:=inttostr(round(100*rc))
            //else
            //realnacist:='0'+inttostr(round(100*(abs(frac(e)))))

            //if abs(frac(e))<0.01 then
            //realnacist:='00'+inttostr(round(100*(abs(frac(e)))))
        end;

        realstring:=celacist+', '+realnacist;
    end;

end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var f:textfile;
    i,j:integer;
    jmenosouboru: string;
    app : boolean;
begin
    opendialog1.Execute;
    jmenosouboru := opendialog1.filename;
    assignfile(f,jmenosouboru);
    reset(f);
    pocetloupce := 0;
    pocetradek := 0;
    i := 0; j := 0;
    while not eof(f) do
        begin

```

```

j := j + 1;
while not eoln(f) do
begin
    i := i + 1;
    read(f, dobatrvani[i,j]);

end;
if (pocetsloupce = 0) then pocetsloupce := i;
i := 0;
readln(f);

end;
//stringgrid1.Cells[1,1] := inttostr(dobatrvani[1,1]);
pocetradek := j;
stringgrid1.ColCount := pocetsloupce;
stringgrid1.RowCount := pocetradek + 1;
updown3.Max := pocetsloupce;

stringgrid1.Width := 68 + 65*(pocetsloupce - 1) + 17;
stringgrid5.Width := 68 + 65*(pocetsloupce - 1);

stringgrid1.ScrollBars := ssVertical;
//stringgrid5.ScrollBars := ssVertical;
stringgrid5.Height := 54;

//valuelisteditor1.RowCount := 1;

if pocetsloupce > 6 then begin
    stringgrid1.Width := 68 + 65*(5);
    stringgrid5.Width := 68 + 65*(5);
    stringgrid1.ScrollBars := ssBoth;
    stringgrid5.ScrollBars := sshorizontal;
    stringgrid5.Height := 54 + 17;
end;

for j := 1 to pocetradek do
for i := 0 to pocetsloupce-1 do
    stringgrid1.Cells[i,j] := floattostr(dobatrvani[i+1,j]);
for i := 0 to pocetsloupce-1 do
begin
stringgrid1.Cells[i,0] := 'Činnost ' + inttostr(i+1);
stringgrid5.Cells[i,0] := 'Činnost ' + inttostr(i+1);
valuelisteditor1.InsertRow('Činnost ' + inttostr(i+1), '0,33', True);

//valuelisteditor1.cells[0,i] := 'Činnost ' + inttostr(i+1);
end;

//***** vypocet strednich hodnot

```

```

stringgrid5.RowCount := 2;
stringgrid5.ColCount := pocetsloupce;

strtofloat(valuelisteditor1.cells[1,0]);

for i := 1 to pocetsloupce do begin
  prumery[i] := 0;
end;

//valuelisteditor1.Strings.Add('Činnost');

for i := 1 to pocetsloupce do
begin
  for j := 1 to pocetradek do
    begin
      prumery[i] := dobatrvani[i,j] + prumery[i];
    end;
    prumery[i] := prumery[i]/pocetradek;
    stringgrid5.Cells[i-1,1] := realstring(prumery[i]);
  end;

stringgrid1.Visible := true;
stringgrid5.Visible := true;

end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var p : real;
    hs: array [1..10] of thistogram;
    h : thistogram;
    i : integer;
begin
  chart8.BackColor := clDefault;

  roz2[1] := 0.4; // P
  roz2[2] := 21.66; // m1
  roz2[3] := 1.955; // sigma1
  roz2[4] := 37.08; // m2
  roz2[5] := 1.76; // sigma2

  edit16.text := realstring(roz2[1]);
  edit17.text := realstring(roz2[2]);
  edit18.text := realstring(roz2[3]);
  edit19.text := realstring(roz2[4]);
  edit20.text := realstring(roz2[5]);

```



```

for i := 1 to maxsloupcu do begin
    minim[i] := 0;
    maxim[i] := 1;
    roz[i] := 0;
    tridah[i] := 10;
end;
graphnorm := false;

model.ActivePageIndex := 0;
tabsheet2.PageControl.Pages[1].TabVisible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[2].TabVisible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[3].TabVisible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[4].TabVisible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[5].TabVisible := false;
//tabsheet2.PageControl.Pages[6].TabVisible := false;

for i := 0 to 9 do
    chart8.series[i].Active := false;

combobox1.ItemIndex := 0;
combobox2.ItemIndex := 0;

p := exp(1/2);

hs[1] := h;
{stringgrid3.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid3.Cells[1,0] := '1 týden';
stringgrid3.Cells[2,0] := '2 týden';
stringgrid3.Cells[3,0] := '3 týden';

stringgrid4.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid4.Cells[1,0] := '1 týden';
stringgrid4.Cells[2,0] := '2 týden';
stringgrid4.Cells[3,0] := '3 týden';

stringgrid7.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid7.Cells[1,0] := '1 týden';
stringgrid7.Cells[2,0] := '2 týden';
stringgrid7.Cells[3,0] := '3 týden';}

stringgrid1.Cells[0,0] := 'Činnost i';
stringgrid1.Cells[1,0] := 'Činnost i';
stringgrid1.Cells[2,0] := 'Činnost i';

{pomer[1] := 0.25;
pomer[2] := 0.3;
pomer[3] := 0.45;}

{fond := 32;

```

```
pocet_prac := 6;}
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var f:textfile;
    i:integer;
    jmenosouboru: string;

begin
    opendialog1.Execute;
    jmenosouboru := opendialog1.filename;
    assignfile(f,jmenosouboru);
    reset(f);
    velcasrada := 0;
    i := 0;
    while not eof(f) do
    begin
        i := i + 1;
        read(f,casovarada[i]);
    end;
    velcasrada := i-1;
    stringgrid6.RowCount := velcasrada;
    SetLength(casovaradad, velcasrada, 2);
    for i := 0 to velcasrada-1 do begin
        stringgrid6.Cells[0,i] := inttostr(casovarada[i+1]);
        casovaradad[i,0] := -velcasrada+i;
        casovaradad[i,1] := casovarada[i+1];
    end;
    stringgrid6.Visible := true;

    for i := 0 to velcasrada-1 do
        chart3.series[0].AddXY(-velcasrada+i,casovarada[i+1]);

end;

procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
    sledovane_cinnosti := strtoint(edit9.text);
    nesledovane_cinnosti := strtoint(edit10.text);
    plytvani := strtoint(edit11.text);

    chart1.Series[0].clear;

    { chart1.Series[0].AddX(sledovane_cinnosti);
    chart1.Series[0].AddX(nesledovane_cinnosti);
    chart1.Series[0].AddX(plytvani);}

    chart1.Series[0].Addy(sledovane_cinnosti);
    chart1.Series[0].Addy(nesledovane_cinnosti);
    chart1.Series[0].Addy(plytvani);
```

```

edit6.Text :=
inttostr(round(100*sledovane_cinnosti/(sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti+plytvani)));
edit7.Text :=
inttostr(round(100*nesledovane_cinnosti/(sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti+plytvani)));
edit8.Text :=
inttostr(round(100*plytvani/(sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti+plytvani)));
allowance := (sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti)/sledovane_cinnosti;
edit5.Text := realstring(allowance);
// chart1.series[0].LegendString(1,'Sledované činnosti');
end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
var i,j,l : integer;
    pom : tpocty;
    pomd, pomprac: double;

begin
//statictext16.Caption:= inttostr(combobox1.ItemIndex);

tabsheet1.PageControl.Pages[4].TabVisible := true;
model.ActivePage := TabSheet9;

stringgrid3.ScrollBars := ssNone;
stringgrid4.ScrollBars := ssNone;
stringgrid7.ScrollBars := ssNone;
stringgrid8.ScrollBars := ssNone;

stringgrid3.Width := 68;
stringgrid4.Width := 68;
stringgrid7.Width := 68;
stringgrid8.Width := 68;

konecrady := strtoint(edit15.text);

chart3.Series[1].Clear;

case combobox1.ItemIndex of
0 : begin
    _Math.PrimkaNejmCtv(casovaradad,primka1,primka2,chyba);
    primka1 := primka1;
    chart3.Series[1].AddXY(-velcasrada,(primka1.A*(-velcasrada)+primka1.C));
    chart3.Series[1].AddXY(konecrady,(primka1.A*(konecrady)+primka1.C));

```

```

    for i := 0 to konecrady do
      predik_pocty[i+1] := primka1.A*(i)+primka1.C;
    end;

1: begin
  SetLength(koef, 3, 1);
  _Math.PolynomialNejmCtv(casovarada,koef);
  for i := -velcasrada to konecrady do begin
    chart3.Series[1].AddXY(i,koef[2,0]*i*i+koef[1,0]*i + koef[0,0]);
  end;
  for i := 0 to konecrady do
    predik_pocty[i+1] := koef[2,0]*i*i+koef[1,0]*i + koef[0,0];

  end;
2: begin
  SetLength(koef, 4, 1);
  _Math.PolynomialNejmCtv(casovarada,koef);
  for i := -velcasrada to konecrady do begin
    chart3.Series[1].AddXY(i,koef[3,0]*i*i*i+koef[2,0]*i*i + koef[1,0]*i +
koef[0,0]);
  end;
  for i := 0 to konecrady do
    predik_pocty[i+1] := koef[3,0]*i*i*i+koef[2,0]*i*i + koef[1,0]*i + koef[0,0];

  end;
3: begin
  predik_pocty[1] := (casovarada[velcasrada]+casovarada[velcasrada-
1]+casovarada[velcasrada-2]+casovarada[velcasrada-3])/4;
  predik_pocty[2] := predik_pocty[1];
  predik_pocty[3] := predik_pocty[1];
  predik_pocty[4] := predik_pocty[1];
  konecrady := 4;
  chart3.Series[1].AddXY(0,predik_pocty[1]);
  chart3.Series[1].AddXY(4,predik_pocty[1]);

  end;

4: begin
  for i := 1 to 4 do begin
    predik_pocty[i] := casovarada[velcasrada - 3 + i - 1];
    chart3.Series[1].AddXY(i-1,predik_pocty[i]);
    konecrady := 4;
  end;

end;
end;
end;

chart4.series[0].Clear;
chart5.series[0].Clear;

```

```

chart6.series[0].Clear;

for i := 1 to konecrady do begin
  pomprac := 0;
  for j := 1 to pocetsloupcu do begin
    for l := 1 to round(predik_pocty[i]*pomer[j]) do begin
      case roz[j] of
        0: begin
          pomprac := pomprac + randg(mi[j],sigma[j]);
        end;
        1: begin
          pomprac := pomprac + exp(randg(mi[j],sigma[j]));
        end;
        2: begin
          //randomize;
          pomd := randomfrom(mnozina);
          memo1.Lines.Add('RandomFrom: ' + floattostr(pomd));
          pomprac := pomprac + pomd;
        end;
      end;
    end;

    end;
  end;
  pracnost[i] := pomprac * allowance / 60;
  vytiz_skup[i] := 100*pracnost[i]/(pocet_prac * fond);
  ocek_pocet_prac[i] := pracnost[i]/fond;
  chart4.series[0].AddY(pracnost[i]);
  chart5.series[0].AddY(vytiz_skup[i]); //vytizeni pracovni skupiny
  chart6.series[0].AddY(ocek_pocet_prac[i]); // potrebny pocet pracovníku

```

```

end;

```

```

stringgrid3.colcount := konecrady;
stringgrid4.colcount := konecrady;
stringgrid7.colcount := konecrady;
stringgrid8.colcount := konecrady;

```

```

stringgrid3.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;
stringgrid4.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;
stringgrid7.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;
stringgrid8.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;

```

```

{prumer := (casovarada[velcasrada]+casovarada[velcasrada-1]+casovarada[velcasrada-
2]+casovarada[velcasrada-3])/4;

```

```

stringgrid3.Cells[0,1] := realstring(prumer);
stringgrid3.Cells[1,1] := realstring(prumer);
stringgrid3.Cells[2,1] := realstring(prumer);

```



```

stringgrid3.Cells[3,1] := realstring(prumer);}

stringgrid3.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid4.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid7.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid8.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid3.Cells[0,1] := realstring(predik_pocty[1]);
stringgrid4.Cells[0,1] := realstring(pracnost[1]);
stringgrid7.Cells[0,1] := realstring(vytiz_skup[1]);
stringgrid8.Cells[0,1] := realstring(ocek_pocet_prac[1]);

for i := 1 to konecrady-1 do begin
stringgrid3.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid3.Cells[i,1] := realstring(predik_pocty[i+1]);

stringgrid4.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid4.Cells[i,1] := realstring(pracnost[i+1]);

stringgrid7.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid7.Cells[i,1] := realstring(vytiz_skup[i+1]);

stringgrid8.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid8.Cells[i,1] := realstring(ocek_pocet_prac[i+1]);
end;

{ chart3.Series[1].AddXY(0,prumer),
chart3.Series[1].AddXY(1,prumer);
chart3.Series[1].AddXY(2,prumer);
chart3.Series[1].AddXY(3,prumer);
pom := suma2pole(pomer,prumery);
for i := 1 to 4 do
begin
    predik_pocty[i] := prumer;
    pracnost[i] := predik_pocty[i]*pom[i]/60;
    chart4.Series[0].AddXY(i,pracnost[i]);
    chart5.series[0].AddXY(i,100*pracnost[i]/(fond*pocet_prac));
    stringgrid4.Cells[i-1,1] := realstring(pracnost[i]);
    stringgrid7.Cells[i-1,1] := realstring(pracnost[i]/(fond*pocet_prac));
end;}

end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var i : integer;
begin
chart7.Series[0].Clear;
for i := 1 to pocetsloupcu do begin
pomer[i] := strtofloat(valuelisteditor1.cells[1,i-1]);

```

```

chart7.Series[0].Addy(pomer[i]);
end;
pagecontrol1.Pages[0].TabVisible := true;
//pagecontrol1.ActivePageIndex := 0;

end;

procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
var i,j,cetnost : integer;
    prirustek,prirustekp : real;
begin
pocet_prac := strtoint(edit3.text);
fond := strtoint(edit2.text);
if (radiobutton2.Checked = true) then begin
tabsheet1.PageControl.Pages[3].TabVisible := true;
tabsheet1.PageControl.Pages[2].TabVisible := true;
model.ActivePage := TabSheet3;
end

else
begin
tabsheet1.PageControl.Pages[2].TabVisible := true;
pagecontrol1.ActivePage := TabSheet5;
end;

//myhist := TIntHistogramm.create(101,0,100,image1);
//for i := 1 to 50 do
//    myhist.addvalue(5);
//myhist.movetomemo(memo1);    // get the numbers as list
//myhist.destroy;
//myhist.display;

{tridah := strtoint(edit12.text);
cetnost := 0;

//for i := 1 to pocetsloupcu do
//for i := 1 to 1 do
i := 1;
begin
    minim[i] := dobatrvani[i,1];
    maxim[i] := dobatrvani[i,pocetradek];
    prirustek := (maxim[i] - minim[i])/tridah;
    prirustekp := prirustek;
    for j := 1 to pocetradek do begin
        if (dobatrvani[i,j] < (minim[i] + prirustekp)) then cetnost := cetnost + 1
        else begin
            prirustekp := prirustekp + prirustek;
            chart2.Series[0].AddY(cetnost);
            cetnost := 1;

```

```

        end;
    end;
end;}

end;

procedure TForm1.OKClick(Sender: TObject);
begin
    tabsheet1.PageControl.Pages[1].TabVisible := true;
    model.ActivePageIndex := 1;
    pagecontrol1.ActivePage := TabSheet24;
    pagecontrol1.Pages[0].TabVisible := false;

end;

procedure TForm1.Edit15Change(Sender: TObject);
    var i,konecrady : integer;
begin

end;

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var i,j,k: integer;
    suma : double;

label posledni;
begin

    radiobutton5.Checked := true;
    i := strtoint(edit13.text);
    tridah[i] := strtoint(edit12.text);
    chart8.series[i-1].clear;
    chart8.series[i-1 + 20].clear;

    graphnorm := false;
    chart8.Title.Text.Clear;
    chart8.Title.Text.Add('Histogram činnosti ' + edit13.text);

    //cetnost := 0;
    //for i := 1 to maxsloupcu do
    maxc[i]:= 0;
    k := 1;
    //for i := 1 to maxsloupcu do
    for j := 1 to maxcetnost do
        cetnost[i,j] := 0;

    //for i := 1 to pocetsloupcu do
    //i := 1;

```

```

//while (i <= pocetsloupcu) do
//for i := 1 to 1 do
//i := 1;
begin
  minim[i] := dobatrvani[i,1];
  maxim[i] := dobatrvani[i,pocetradek];
  prirustek[i] := (maxim[i] - minim[i])/tridah[i];
  prirustekp := prirustek[i];
  zac := round(minim[i]);
  j := 1;
  k := 1;
  while (j <= pocetradek) do begin
    if (j = pocetradek) and (k = tridah[i]) then begin cetnost[i,k] := cetnost[i,k] + 1;
      inc(j);
      goto posledni;
    end;
    if (dobatrvani[i,j] <= (minim[i] + prirustekp)) then
      begin
        cetnost[i,k] := cetnost[i,k] + 1;

        if (j = pocetradek) then goto posledni;
        j := j + 1;
      end
    else
      begin
        //if (j = pocetradek) and (k = tridah) then j := j + 1;
        prirustekp := prirustekp + prirustek[i];
        posledni :=
        if maxc[i] < cetnost[i,k] then maxc[i] := cetnost[i,k];
        cetnost_n[i,k] := cetnost[i,k]/pocetradek;
        chart8.Series[i-1 + 20].AddXY(zac,cetnost[i,k]);
        chart8.Series[i-1 + 20].AddXY(zac + prirustek[i],cetnost[i,k]);
        chart8.Series[i-1 ].AddXY(zac,cetnost_n[i,k]);
        chart8.Series[i-1 ].AddXY(zac + prirustek[i],cetnost_n[i,k]);

        k := k + 1;
        //cetnost := 0;
        zac := zac + prirustek[i];
        if (tridah[i] = k) then prirustekp := prirustekp + 0.1;

      end;

end;

end;
suma := 0;
for k := 1 to maxcetnost do
  suma := suma + cetnost[i,k];

```

```

label1.Caption := realstring(suma);

{ for j := 1 to pocetradek do begin
    if (dobatrvani[i,j] <= (minim[i] + prirustekp)) and (j <> pocetradek) then
cetnost := cetnost + 1
    else
    begin
        prirustekp := prirustekp + prirustek;
        if maxc < cetnost then maxc := cetnost;
        if (j = pocetradek) then cetnost := cetnost + 1;
        chart2.Series[0].AddXY(zac,cetnost);
        chart2.Series[0].AddXY(zac + prirustek,cetnost);
        //chart2.Series[0].XLabel[0] := inttostr(j) + '789';
        cetnost := 0;
        if (dobatrvani[i,j] <= (minim[i] + prirustekp)) and (j <> pocetradek) then
cetnost := cetnost + 1;
        zac := zac + prirustek;
    end;}

//end;
i := i + 1;

end;

for i := 0 to 29 do
    chart8.Series[i].Active := false;

i := strtoint(edit13.Text);
prirustek[i] := (maxim[i] - minim[i])/tridah[i];
prirustekp := prirustek[i];
zac := round(minim[i]);

chart8.Series[i-1 + 20].Active := True;
//for k := 1 to tridah do
k := 1;
{ while (k <= tridah) do
begin
    chart8.Series[i-1].AddXY(zac,cetnost[i,k]);
    chart8.Series[i-1].AddXY(zac + prirustek[i],cetnost[i,k]);
    zac := zac + prirustek[i];
    inc(k);
end;}
chart8.LeftAxis.Maximum := maxc[i] + 0.2*maxc[i];
chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
//chart2.Repaint;
chart8.Refresh;

```



```

end;

procedure TForm1.Edit13Change(Sender: TObject);
var i : integer;
begin
  for i := 0 to 29 do
    chart8.Series[i].Active := false;

  chart8.Title.Text.Clear;

  i := strtoint(edit13.Text);
  edit12.Text := inttostr(tridah[i]);
  if graphnorm then begin
    chart8.Title.Text.Add('Normovaný histogram činnosti ' + edit13.text);
    chart8.Series[i-1 + 10].Active := true;
    chart8.Series[i-1].Active := true;
    chart8.LeftAxis.Maximum := (maxc[i] + 0.2*maxc[i])/pocetradek;
    chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
    if (chart8.BottomAxis.Maximum < (minim[i] - 0.1*minim[i])) then
      chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
    chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
    chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
    end else begin
      chart8.Title.Text.Add('Histogram činnosti ' + edit13.text);
      chart8.Series[i-1 + 20].Active := true;
      chart8.LeftAxis.Maximum := maxc[i] + 0.2*maxc[i];
      chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
      if (chart8.BottomAxis.Maximum < (minim[i] - 0.1*minim[i])) then
        chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
      chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
      chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
    end;
  combobox2.ItemIndex := roz[i];
  chart8.Refresh;
end;

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
var i,j,k, n,l, nc, pos_minksi, m, startd: integer;
    prum_x, suma_x, xt, pconst, fx: double;
    pp,pmi1,pmi2,psigma1,psigma2,pksi,xmax : real;
    pomc : tdoatrvani_r;
label n_grad;
label n_param;
label konec;
begin

radiobutton6.Checked := true;
graphnorm := true;
chart8.Title.Text.Clear;

```

```

chart8.Title.Text.Add('Normovaný histogram činnosti ' + edit13.text);

i := strtoint(edit13.Text);

for k := 0 to 29 do
    chart8.series[k].Active := false;

chart8.Series[i-1 ].Active := true;
chart8.Series[i-1 + 10].Active := true;
chart8.LeftAxis.Maximum := (maxc[i] + 0.2*maxc[i])/pocetradek;
xt := minim[i] - 0.1*minim[i];
chart8.series[i-1 + 10].Clear;

roz[i] := combobox2.ItemIndex;

case combobox2.ItemIndex of

0: begin
    prum_x := f_prumer(dobatrvani[i],pocetradek);
    for k := 1 to pocetradek do
        pomc[k] := sqr((dobatrvani[i,k]) - prum_x);
    suma_x := suma (pomc,pocetradek);
    sigma[i] := sqrt(suma_x/(pocetradek-1));
    mi[i] := prum_x;
    pconst := 1/(sigma[i]*sqrt(2*pi));
    while (xt <= maxim[i] + 0.1*minim[i]) do begin
        fx := pconst*exp(sqr((xt-mi[i])/sigma[i])*(-0.5));
        chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
        xt := xt + 0.2;
    end;
    roz[i] := 0;
end;

1: begin
    prum_x := f_prumer_ln(dobatrvani[i],pocetradek);
    for k := 1 to pocetradek do
        pomc[k] := sqr(ln(dobatrvani[i,k]) - prum_x);
    suma_x := suma (pomc,pocetradek);
    sigma[i] := sqrt(suma_x/(pocetradek-1));
    mi[i] := prum_x;

    while (xt <= maxim[i] + 0.1*minim[i]) do begin
        pconst := 1/(xt*sigma[i]*sqrt(2*pi));
        fx := pconst*exp(sqr((ln(xt)-mi[i])/sigma[i])*(-0.5));
        chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
        xt := xt + 0.2;
    end;
    roz[i] := 1;
end;

2: begin

```

```

memo1.Lines.Clear;
//prirvyp := 0.1;
roz2[1] := 0;
roz2[2] := 0;
roz2[3] := 0;
roz2[4] := 0;
roz2[5] := 0;

for l := 1 to length(ksi_p) do begin
    ksi_p[l] := 0;
    param_p[l] := roz2;
end;

prirvyp := strtoint(edit21.text);

ncyklu := strtoint(edit14.Text);
nc := 1;

//edit16.Text := realstring(roz2[1]); // P

roz2[1] := strtoint(edit16.text); // P
roz2[2] := strtoint(edit17.text); // mi1
roz2[3] := strtoint(edit18.text); // sigma1
roz2[4] := strtoint(edit19.text); // mi2
roz2[5] := strtoint(edit20.text); // sigma2

param_p[1] := roz2;

{ roz2[2] := 3.3; // mi1
roz2[3] := 0.3; // sigma1
roz2[4] := 4.5; // mi2
roz2[5] := 0.3; // sigma2}

n := round(chart8.Series[i-1].Count/2);

n_grad;
pp := 0; pmi1 := 0; pmi2 := 0; psigma1 := 0; psigma2 := 0;
//vypocet parc.der. podle P
//vypocet parc.der. podle mi1
//vypocet parc.der. podle sigma1
//vypocet parc.der. podle mi2
//vypocet parc.der. podle sigma2

for l := 1 to n do begin
    x[l] := chart8.series[i-1].XValue[2*l-1] - (prirustek[i]/2);
    he[l] := chart8.series[i-1].YValue[2*l-1];
    pp := pp + (he[l] - ft(x[l], roz2))*(funkce(x[l],roz2[2],roz2[3]) -
funkce(x[l],roz2[4],roz2[5]));

```

```

    pmi1 := pmi1 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[2],roz2[3])*(x[l] - roz2[2]));
    psigma1 := psigma1 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[2],roz2[3])*(1-((x[l] -
roz2[2])/sqr(roz2[3]))));
    pmi2 := pmi2 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[4],roz2[5])*(x[l] - roz2[4]));
    psigma2 := psigma2 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[4],roz2[5])*(1 - ((x[l] -
roz2[4])/sqr(roz2[5]))));

end;
pdroz2[1] := pp * (2);
pdroz2[2] := (-1) * pmi1 * 2 * (1 - roz2[1]) / sqr(roz2[3]);
pdroz2[3] := psigma1 * 2 * (1 - roz2[1]) / roz2[3];
pdroz2[4] := (-1) * pmi2 * 2 * roz2[1] / sqr(roz2[5]);
pdroz2[5] := psigma2 * 2 * roz2[1] / roz2[5];

n_param;
//vypocet ksi
pksi := 0;
for l := 1 to n do begin
    pksi := pksi + sqr(he[l] - ft(x[l], roz2));
end;
ksi := pksi;
memo1.Lines.Add('Cyklus : ' + inttostr(nc));
memo1.Lines.Add('ksi : ' + floattostr(ksi));
ksi_p[nc] := ksi;

//vypocet novych parametru
for l := 1 to 5 do
    roz2n[l] := roz2[l] - prirvyp * pdroz2[l];

//zobrazeni parametru a parc.deerivaci
memo1.Lines.Add('P: ' + floattostr(roz2[1]));
memo1.Lines.Add('mi1: ' + floattostr(roz2[2]));
memo1.Lines.Add('sigma1: ' + floattostr(roz2[3]));
memo1.Lines.Add('mi2: ' + floattostr(roz2[4]));
memo1.Lines.Add('sigma2: ' + floattostr(roz2[5]));

for l := 1 to 5 do
    memo1.Lines.Add('Der. param.' + inttostr(l) + ' : ' + floattostr(pdroz2[l]));

//vypocet noveho ksi
pksi := 0;
for l := 1 to n do begin
    pksi := pksi + sqr(he[l] - ft(x[l], roz2n));
end;
ksin := pksi;

```

```

inc(nc);

//xt := minim[i] - 0.1*minim[i];
//xmax := maxim[i] + 0.1*minim[i];

if (nc > ncyklu) then goto konec;

//predani novych parametru
for l := 1 to 5 do
    roz2[l] := roz2n[l];

param_p[nc] := roz2;

if (ksin > ksi) then goto n_grad else goto n_param;

konec;

pos_minksi := 1;
ksin := ksi_p[1];
for l := 2 to ncyklu do
    if (ksi_p[l] < ksin) then begin ksin := ksi_p[l]; pos_minksi := l; end;

roz2 := param_p[pos_minksi];

edit16.text := realstring(roz2[1]);
edit17.text := realstring(roz2[2]);
edit18.text := realstring(roz2[3]);
edit19.text := realstring(roz2[4]);
edit20.text := realstring(roz2[5]);

memo1.Lines.Add('Nejmensi ksi: ' + floattostr(ksi_p[pos_minksi]));
memo1.Lines.Add('pri vypocetnim kroku: ' + inttostr(pos_minksi));

chart8.series[i-1 + 10].Clear;
xt := -50;
xmax := 200;
nmnoz := 0;
while (xt <= xmax) do begin
    //fx := ft(xt, roz2);
    fx := (1 - roz2[1])*funkce(xt,roz2[2],roz2[3]) +
roz2[1]*funkce(xt,roz2[4],roz2[5]);
    nmnoz := nmnoz + round(fx*mnoz_max);
    chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
    xt := xt + 0.2;
end;
memo1.Lines.Add('Pocet prvku dyn.mnoz: ' + inttostr(nmnoz));

```

```

reallocmem(dmnoz, nmnoz * sizeof(real));
setlength(mnozina,nmnoz);

xt := -50;
xmax := 200;
//nmnoz := 0;
l := 0;
startd := 0 ;
while (xt <= xmax) do begin
    //fx := ft(xt, roz2);
    fx := (1 - roz2[1])*funkce(xt,roz2[2],roz2[3]) +
roz2[1]*funkce(xt,roz2[4],roz2[5]);
    nmnoz := round(fx*mnoz_max);
    if nmnoz > 0 then
        for m := startd to startd+nmnoz-1 do begin
            dmnoz^[m] := xt;
            mnozina[m] := xt;
            //memo1.Lines.Add(floattostr(dmnoz^[m]));
            end;
            startd := startd + nmnoz;
            //chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
            xt := xt + 0.2;
        end;
        memo1.lines.add('Velikost dyn.pole: '+ inttostr(startd));

        roz[i] := 2;
    end;
end;
//xt := xt + 1;
end;

```

```

procedure TForm1.Chart8ClickSeries(Sender: TCustomChart;
Series: TChartSeries; ValueIndex: Integer; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
var i,ends: integer;
    temp:array [1..1000] of double;
begin
colordialog1.Execute;
ends := series.YValues.Count;
for i:=0 to ends-1 do
series.ValueColor[i] :=colordialog1.color;
series.seriesColor := colordialog1.color;
end;

```

```

procedure TForm1.RadioButton5Click(Sender: TObject);
var i : integer;
begin
if radiobutton5.Checked then graphnorm := false else graphnorm := true;
for i := 0 to 29 do

```



```
chart8.Series[i].Active := false;

chart8.Title.Text.Clear;

i := strtoint(edit13.Text);

if graphnorm then begin
  chart8.Title.Text.Add('Normovaný histogram činnosti ' + edit13.text);
  chart8.Series[i-1 + 10].Active := true;
  chart8.Series[i-1].Active := true;
  chart8.LeftAxis.Maximum := (maxc[i] + 0.2*maxc[i])/pocetradek;
  chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
  chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
  chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
end else begin
  chart8.Title.Text.Add('Histogram činnosti ' + edit13.text);
  chart8.Series[i-1 + 20].Active := true;
  chart8.LeftAxis.Maximum := maxc[i] + 0.2*maxc[i];
  chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
  chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
  chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
end;

chart8.Refresh;

end;

procedure TForm1.ComboBox2Change(Sender: TObject);
begin
  if combobox2.ItemIndex = 2 then panel3.Visible := true else panel3.Visible := false;
end;

end.
```

# PŘÍLOHY

## Seznam příloh:

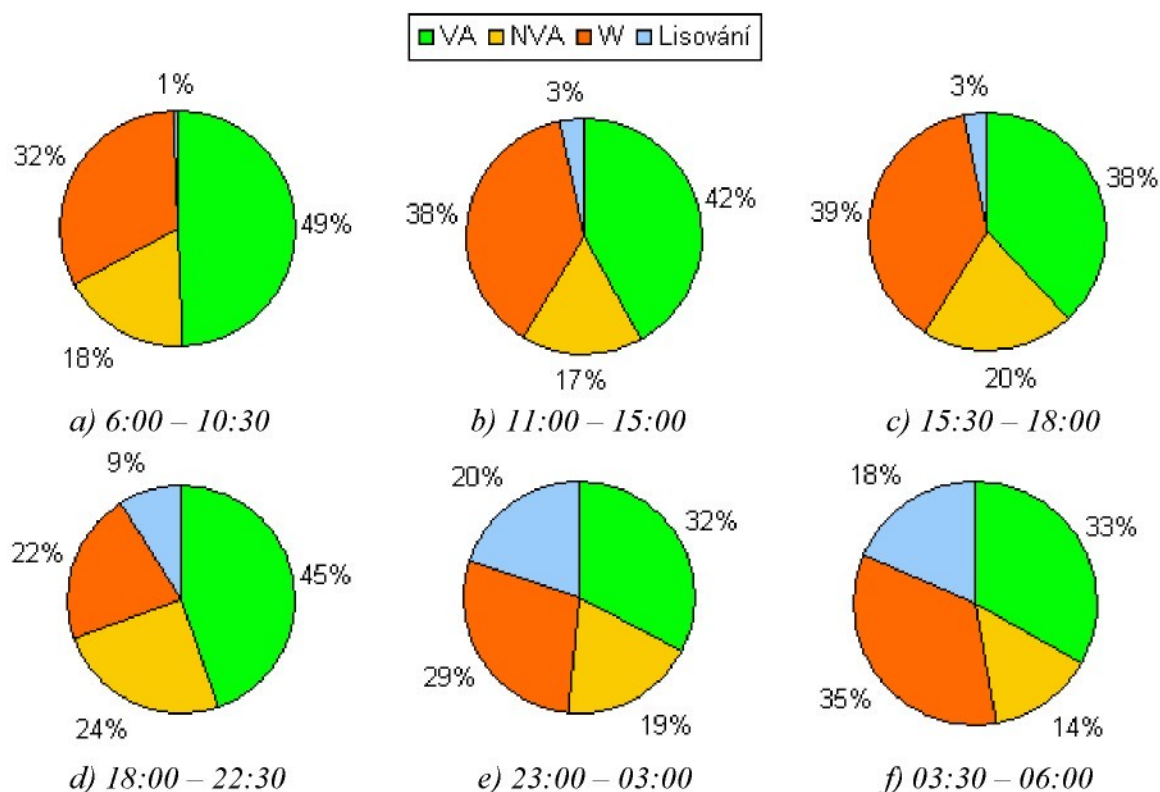
|             |                                                    |
|-------------|----------------------------------------------------|
| Příloha I   | Příloha k experimentu A                            |
| Příloha II  | Příloha k experimentu B                            |
| Příloha III | Příloha k experimentu C                            |
| Příloha IV  | Příloha k 6. kapitole                              |
| Příloha V   | Uživatelský manuál k vytvořené počítačové aplikaci |

## Příloha I: Příloha k experimentu A

### I-1 Struktura práce seřizovačů

Tab. I-1 Četnosti výskytů jednotlivých činností ve všech fázích pracovního dne

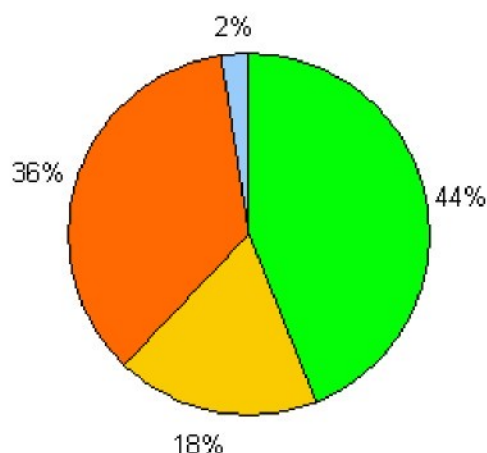
| Fáze směny                                           | VA   | NVA  | W    | Lisování | Počet záznamů |
|------------------------------------------------------|------|------|------|----------|---------------|
| <b>Denní směny (měřeno na šesti denních směnách)</b> |      |      |      |          |               |
| 06:00 – 10:00                                        | 1588 | 583  | 1037 | 32       | 3240          |
| 10:30 – 15:00                                        | 1209 | 490  | 1094 | 87       | 2880          |
| 15:30 – 18:00                                        | 684  | 360  | 702  | 54       | 1800          |
| celé denní směny                                     | 3481 | 1433 | 2833 | 173      | 7920          |
| <b>Noční směny (měřeno na dvou nočních směnách)</b>  |      |      |      |          |               |
| 18:00 – 22:30                                        | 486  | 258  | 238  | 98       | 1080          |
| 23:00 – 03:00                                        | 308  | 182  | 278  | 192      | 960           |
| 03:30 – 06:00                                        | 198  | 84   | 210  | 108      | 600           |
| celé noční směny                                     | 992  | 524  | 726  | 398      | 2640          |



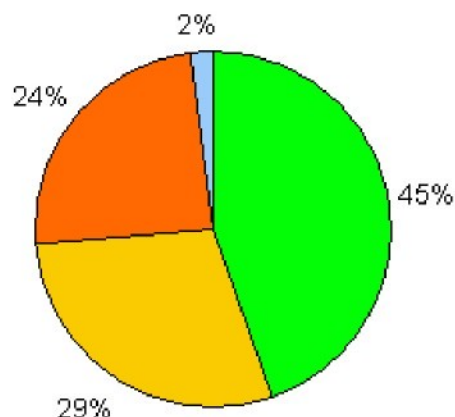
Obr. I-1 Dílčí struktury časového fondu seřizovačů lisů

Tab. I-2 Porovnání zjištěné struktury pomocí rozdílných metod

| Metoda sběru dat          | VA   | NVA  | W    | Lisování | Počet záznamů |
|---------------------------|------|------|------|----------|---------------|
| Snímkování pracovního dne | 3481 | 1433 | 2833 | 173      | 7920          |
| Momentové pozorování      | 326  | 216  | 178  | 15       | 735           |



a) Zjištěno snímkováním pracovního dne



b) Zjištěno momentovým pozorováním

**Obr. I-2** Porovnání zjištěné struktury pomocí rozdílných metod**I-2 Časové studie****Tab. I-3 (1/3)** Časy přeseřízení lisů

Tab. P5 (P5) Easy prescriber use

| L1    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M12   |       |       | M3    |       |       | N12   |       |       |       | N3    | P12   | P3    |
| 21:25 | 19:06 | 21:30 | 19:24 | 23:25 | 28:42 | 39:55 | 43:20 | 47:14 | 54:10 | 53:35 | 68:38 | 59:03 |
| 17:53 | 22:32 | 20:43 | 19:58 | 23:59 | 28:53 | 40:28 | 43:54 | 48:04 | 55:44 | 46:58 | 58:20 | 65:47 |
| 19:45 | 20:32 | 19:32 | 20:17 | 24:10 | 29:10 | 41:10 | 44:07 | 49:33 | 55:55 | 54:56 | 58:21 | 79:57 |
| 21:07 | 19:34 | 23:29 | 20:39 | 24:29 | 31:08 | 41:26 | 44:17 | 50:22 | 56:13 | 49:03 | 47:44 | 58:24 |
| 20:57 | 20:41 | 23:14 | 21:32 | 25:21 | 31:54 | 41:41 | 44:38 | 50:28 | 57:48 | 49:45 | 48:25 | 65:05 |
| 20:36 | 20:11 | 17:48 | 22:07 | 25:29 | 31:54 | 42:15 | 45:11 | 50:54 | 63:08 | 48:24 | 56:53 | 63:18 |
| 22:00 | 21:59 | 21:25 | 22:09 | 25:47 | 32:39 | 42:46 | 45:25 | 51:12 |       | 65:35 | 63:01 | 57:48 |
| 21:15 | 21:13 | 23:35 | 22:11 | 26:13 | 33:17 | 42:50 | 45:48 | 51:31 |       | 53:56 | 49:17 | 69:08 |
| 19:53 | 20:03 | 23:17 | 22:15 | 26:50 | 34:13 | 42:09 | 46:18 | 52:23 |       | 43:39 | 54:46 | 61:24 |
| 23:05 | 23:22 | 21:51 | 23:08 | 27:39 | 35:29 | 43:36 | 46:34 | 53:63 |       | 74:35 | 51:33 | 58:40 |

**Tab. I-3 (2/3)** Časy přeseřízení lisů

| L3    |       |       |       |       |       |       |       |       | L1,2  |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M12   | M3    | N12   |       |       |       | N3    | P12   | P3    | ZK    |       |       |
| 26:05 | 23:37 | 25:37 | 30:50 | 33:49 | 43:05 | 36:23 | 40:59 | 46:12 | 76:42 | 76:15 | 73:14 |
| 23:23 | 35:33 | 27:06 | 30:55 | 34:10 | 44:12 | 37:40 | 41:12 | 48:19 | 73:26 | 79:26 | 72:57 |
| 22:07 | 19:40 | 27:50 | 31:11 | 34:35 | 45:37 | 38:13 | 43:29 | 49:03 | 77:50 | 65:17 | 74:56 |
| 24:26 | 25:35 | 28:22 | 31:18 | 35:16 |       | 38:57 | 43:36 | 49:41 | 69:48 | 69:33 | 66:21 |
| 22:09 | 24:11 | 28:43 | 31:31 | 36:10 |       | 41:30 | 44:22 | 50:54 | 76:00 | 72:24 | 75:14 |
| 23:12 | 32:53 | 29:03 | 31:54 | 37:59 |       | 43:20 | 45:49 | 52:44 | 78:31 | 76:30 | 70:42 |
| 25:05 | 23:38 | 29:11 | 32:35 | 40:24 |       | 44:17 | 46:33 | 56:00 | 70:24 | 76:48 | 72:23 |
| 23:33 | 26:47 | 29:46 | 32:45 | 41:15 |       | 47:38 | 52:08 | 60:11 | 80:16 | 74:27 | 72:04 |
| 23:27 | 28:01 | 30:17 | 33:13 | 41:53 |       | 48:48 | 54:05 | 62:26 | 74:15 | 65:52 | 74:40 |
| 22:44 | 32:40 | 30:34 | 33:30 | 42:22 |       | 52:39 | 57:38 | 68:04 | 72:40 | 78:57 | 75:21 |

**Tab. I-3 (3/3) Časy přeseřžení lisů**

| L2    |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| M12   | M3    | N12   | N3    | P12   | P3    |
| 26:01 | 22:17 | 49:55 | 60:15 | 66:38 | 69:23 |
| 23:55 | 25:03 | 22:42 | 50:26 | 62:48 | 74:54 |
| 21:26 | 21:24 | 2:06  | 57:21 | 72:82 | 78:57 |
| 21:25 | 24:52 | 23:45 | 69:12 | 61:35 | 79:59 |
| 25:39 | 26:46 | 57:19 | 50:07 | 58:22 | 63:34 |
| 22:30 | 34:09 | 58:07 | 63:38 | 70:48 | 95:33 |
| 22:03 | 28:22 | 46:52 | 53:37 | 74:00 | 64:34 |
| 22:16 | 22:07 | 49:39 | 50:03 | 58:06 | 64:14 |
| 19:40 | 31:25 | 49:24 | 58:52 | 64:19 | 68:01 |
| 23:37 | 23:36 | 52:55 | 49:29 | 62:23 | 69:42 |

## I-2.1 Výměna materiálu na skupině lisů L1 pro VBD typu 1 a 2

**Tab. I-4 Základní statistické charakteristiky**

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 30        |
| Průměr              | 21,251    |
| Směrodatná odchylka | 1,68492   |
| Variační koeficient | 7,92865%  |
| Minimum             | 17,8      |
| Maximum             | 24,6      |
| Variační rozpětí    | 6,8       |
| Koef. šikmosti      | -0,219678 |
| Koef. špičatosti    | -0,385636 |

**Tab. I-5 Frekvenční tabulka**

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | na nebo pod    | 17,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 17,0           | 18,3333        | 17,6667      | 2              | 0,0667           | 2                  | 0,0667               |
| 2            | 18,3333        | 19,6667        | 19,0         | 3              | 0,1000           | 5                  | 0,1667               |
| 3            | 19,6667        | 21,0           | 20,3333      | 8              | 0,2667           | 13                 | 0,4333               |
| 4            | 21,0           | 22,3333        | 21,6667      | 9              | 0,3000           | 22                 | 0,7333               |
| 5            | 22,3333        | 23,6667        | 23,0         | 7              | 0,2333           | 29                 | 0,9667               |
| 6            | 23,6667        | 25,0           | 24,3333      | 1              | 0,0333           | 30                 | 1,0000               |
|              | above          | 25,0           |              | 0              | 0,0000           | 30                 | 1,0000               |

Střední hodnota = 21,251 Směrodatná odchylka = 1,68492

**Tab. I-6 Výsledky Pearsonova chí-kvadrát testu dobré shody pro normální rozdělení**

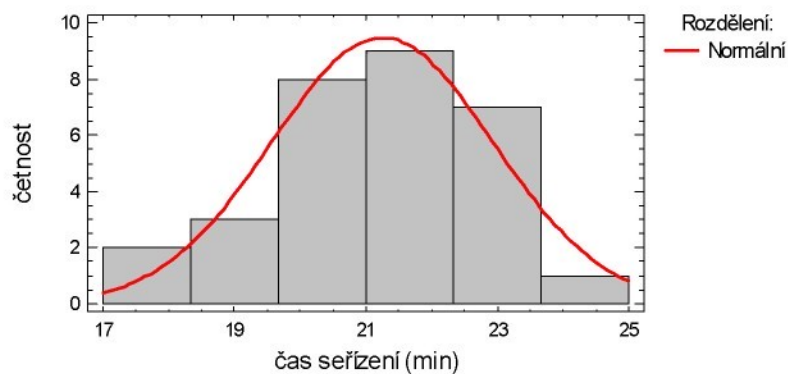
|             | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   | <i>pozorovaná</i> | <i>očekávaná</i> |                    |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|
|             | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>četnost</i>    | <i>četnost</i>   | <i>Chi-kvadrát</i> |
| na nebo pod |                | 19,3794        | 3                 | 4,00             | 0,25               |
|             | 19,3794        | 20,2014        | 6                 | 4,00             | 1,00               |
|             | 20,2014        | 20,8241        | 3                 | 4,00             | 0,25               |
|             | 20,8241        | 21,3919        | 4                 | 4,00             | 0,00               |
|             | 21,3919        | 21,9767        | 4                 | 4,00             | 0,00               |

|     |         |         |   |      |      |
|-----|---------|---------|---|------|------|
|     | 21,9767 | 22,6691 | 3 | 4,00 | 0,25 |
| nad | 22,6691 |         | 7 | 6,00 | 0,17 |

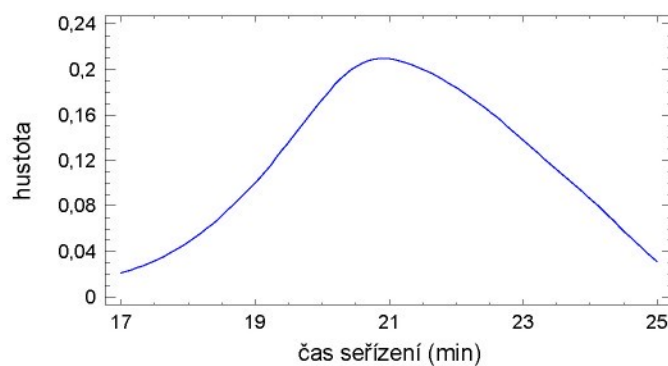
Chí-kvadrát = 1,91669 se 4 stupni volnosti, P-hodnota = 0,751079

**Tab. I-7** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody pro normální rozdělení

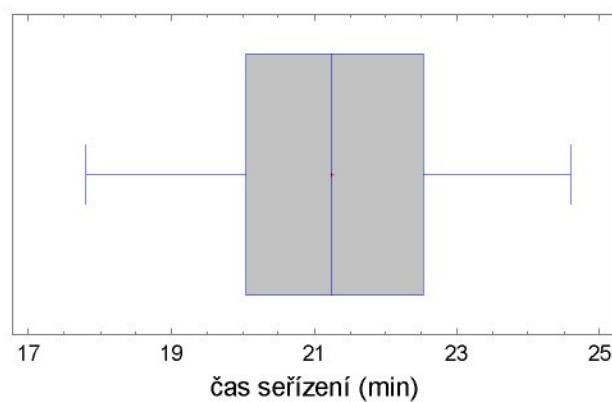
|           |           |
|-----------|-----------|
|           | Normalní  |
| DPLUS     | 0,0745884 |
| DMINUS    | 0,0944866 |
| DN        | 0,0944866 |
| P-hodnota | 0,951617  |



**Obr. I-3** Histogram proložený normálním rozdělením



**Obr. I-4** Křivka hustoty výskytu prvků souboru



**Obr. I-5** Krabicový diagram



## I-2.2 Výměna materiálu na skupině lisů L1 pro VBD typu 3

**Tab. I-8** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 30       |
| Průměr              | 26,1413  |
| Směrodatná odchylka | 4,63409  |
| Variační koeficient | 17,727%  |
| Minimum             | 19,4     |
| Maximum             | 35,48    |
| Variační rozpětí    | 16,08    |
| Koef. šikmosti      | 1,0061   |
| Koef. špičatosti    | -1,02568 |

**Tab. I-9** Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |         |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed   | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | Na nebo pod | 18,0    |         | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 18,0        | 20,8571 | 19,4286 | 4       | 0,1333    | 4           | 0,1333        |
| 2     | 20,8571     | 23,7143 | 22,2857 | 7       | 0,2333    | 11          | 0,3667        |
| 3     | 23,7143     | 26,5714 | 25,1429 | 7       | 0,2333    | 18          | 0,6000        |
| 4     | 26,5714     | 29,4286 | 28,0    | 5       | 0,1667    | 23          | 0,7667        |
| 5     | 29,4286     | 32,2857 | 30,8571 | 3       | 0,1000    | 26          | 0,8667        |
| 6     | 32,2857     | 35,1429 | 33,7143 | 3       | 0,1000    | 29          | 0,9667        |
| 7     | 35,1429     | 38,0    | 36,5714 | 1       | 0,0333    | 30          | 1,0000        |
|       | nad         | 38,0    |         | 0       | 0,0000    | 30          | 1,0000        |

Střední hodnota = 26,1413 Směrodatná odchylka = 4,63409

**Tab. I-10** Porovnání výsledků chi-kvadrát testů dobré shody pro lognormální a normální rozdělení

|                 | Lognormální | Normální |
|-----------------|-------------|----------|
| Chi-kvadrát     | 3,33342     | 5,33344  |
| Stupňů volnosti | 7           | 7        |
| P-hodnota       | 0,852541    | 0,619343 |

**Tab. I-11** Výsledky Pearsonova chi-kvadrát testu dobré shody pro lognormální rozdělení

|             | dolní   | horní   | pozorovaná | očekávaná |             |
|-------------|---------|---------|------------|-----------|-------------|
|             | hranice | hranice | četnost    | četnost   | Chi-kvadrát |
| na nebo pod |         | 20,5918 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 20,5918 | 22,2358 | 5          | 3,00      | 1,33        |
|             | 22,2358 | 23,5021 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 23,5021 | 24,6411 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 24,6411 | 25,7556 | 2          | 3,00      | 0,33        |
|             | 25,7556 | 26,9204 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 26,9204 | 28,2251 | 1          | 3,00      | 1,33        |
|             | 28,2251 | 29,8325 | 3          | 3,00      | 0,00        |
|             | 29,8325 | 32,2142 | 3          | 3,00      | 0,00        |
| nad         | 32,2142 |         | 4          | 3,00      | 0,33        |

Chi-kvadrát = 3,33342 se 7 stupni volnosti P-hodnota = 0,852541

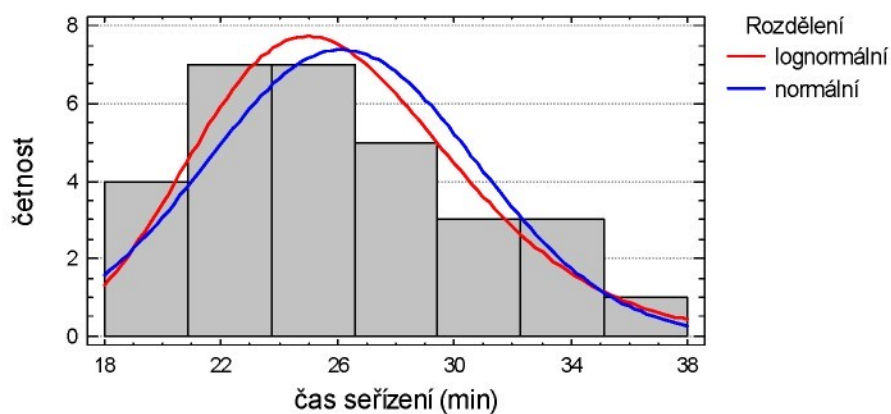
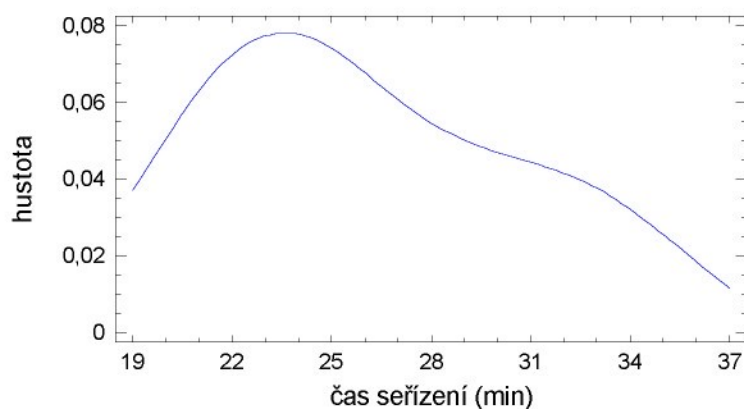
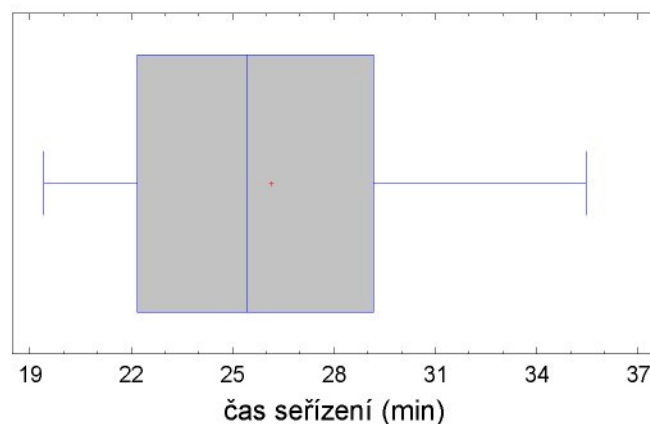
**Tab. I-12** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|       | Lognormální | Normální |
|-------|-------------|----------|
| DPLUS | 0,0989778   | 0,106685 |

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| DMINUS    | 0,0944767 | 0,0930067 |
| DN        | 0,0989778 | 0,106685  |
| P-hodnota | 0,930506  | 0,884317  |

**Tab. I-13** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 26,1511  |
| směrodatná odchylka                         | 4,60097  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,24865  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,174599 |

**Obr. I-6** Histogram proložený lognormálním a normálním rozdělením**Obr. I-7** Křivka hustoty výskytu prvků souboru**Obr. I-8** Krabicový diagram

## I-2.3 Výměna nástroje na skupině lisů L3 pro VBD typu 1 a 2

### 1) Analýza celého souboru dat

**Tab. I-14** Základní statistické charakteristiky

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 33        |
| Průměr              | 33,8409   |
| Směrodatná odchylka | 5,37965   |
| Variační koeficient | 15,8969 % |
| Minimum             | 25,62     |
| Maximum             | 45,62     |
| Variační rozpětí    | 20,0      |
| Koef. šikmosti      | 1,8051    |
| Koef. špičatosti    | -0,491061 |

**Tab. I-15** Frekvenční tabulka

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | na nebo pod    | 25,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 25,0           | 27,0           | 26,0         | 1              | 0,0303           | 1                  | 0,0303               |
| 2            | 27,0           | 29,0           | 28,0         | 4              | 0,1212           | 5                  | 0,1515               |
| 3            | 29,0           | 31,0           | 30,0         | 7              | 0,2121           | 12                 | 0,3636               |
| 4            | 31,0           | 33,0           | 32,0         | 6              | 0,1818           | 18                 | 0,5455               |
| 5            | 33,0           | 35,0           | 34,0         | 5              | 0,1515           | 23                 | 0,6970               |
| 6            | 35,0           | 37,0           | 36,0         | 2              | 0,0606           | 25                 | 0,7576               |
| 7            | 37,0           | 39,0           | 38,0         | 1              | 0,0303           | 26                 | 0,7879               |
| 8            | 39,0           | 41,0           | 40,0         | 1              | 0,0303           | 27                 | 0,8182               |
| 9            | 41,0           | 43,0           | 42,0         | 3              | 0,0909           | 30                 | 0,9091               |
| 10           | 43,0           | 45,0           | 44,0         | 2              | 0,0606           | 32                 | 0,9697               |
| 11           | 45,0           | 47,0           | 46,0         | 1              | 0,0303           | 33                 | 1,0000               |
|              | nad            | 47,0           |              | 0              | 0,0000           | 33                 | 1,0000               |

Střední hodnota = 33,8409 Směrodatná odchylka = 5,37965

**Tab. I-16** Porovnání výsledků chi-kvadrát testů dobré shody pro lognormální a normální rozdělení

|                 | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------------|--------------------|-----------------|
| Chi-kvadrát     | 12,0909            | 16,9394         |
| Stupňů volnosti | 13                 | 13              |
| P-hodnota       | 0,520207           | 0,20209         |

**Tab. I-17** Výsledky Pearsonova chí-kvadrát testu dobré shody pro lognormální rozdělení

|             | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   | <i>pozorovaná</i> | <i>očekávaná</i> |                    |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|
|             | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>četnost</i>    | <i>četnost</i>   | <i>Chi-kvadrát</i> |
| na nebo pod |                | 26,4476        | 1                 | 2,06             | 0,55               |
|             | 26,4476        | 28,048         | 2                 | 2,06             | 0,00               |
|             | 28,048         | 29,2013        | 4                 | 2,06             | 1,82               |
|             | 29,2013        | 30,1676        | 1                 | 2,06             | 0,55               |
|             | 30,1676        | 31,0377        | 4                 | 2,06             | 1,82               |
|             | 31,0377        | 31,8567        | 3                 | 2,06             | 0,43               |
|             | 31,8567        | 32,6534        | 2                 | 2,06             | 0,00               |
|             | 32,6534        | 33,4493        | 2                 | 2,06             | 0,00               |
|             | 33,4493        | 34,2647        | 3                 | 2,06             | 0,43               |

|     |         |         |   |      |      |
|-----|---------|---------|---|------|------|
|     | 34,2647 | 35,1215 | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 35,1215 | 36,0484 | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 36,0484 | 37,088  | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 37,088  | 38,3153 | 1 | 2,06 | 0,55 |
|     | 38,3153 | 39,8908 | 0 | 2,06 | 2,06 |
|     | 39,8908 | 42,3047 | 3 | 2,06 | 0,43 |
| nad | 42,3047 |         | 4 | 2,06 | 1,82 |

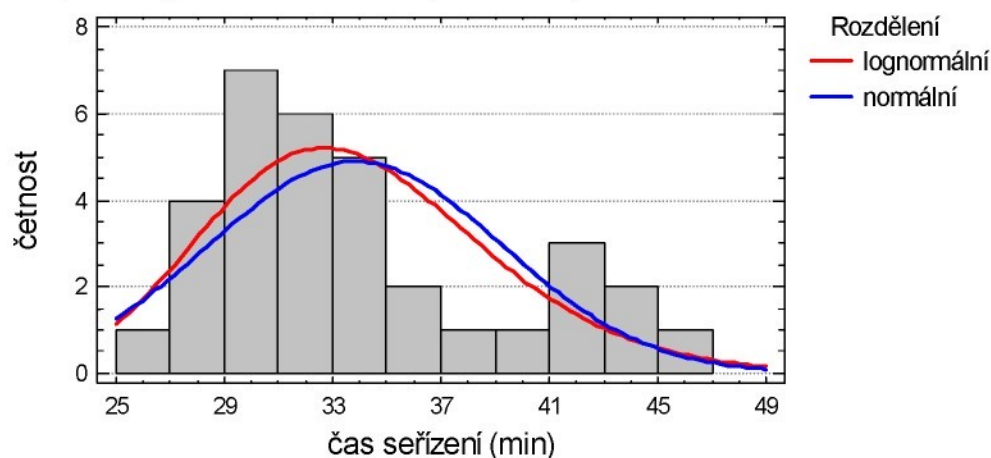
Chi-kvadrát = 12,0909 se 13 stupni volnosti, P-hodnota = 0,520207

**Tab. I-18** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

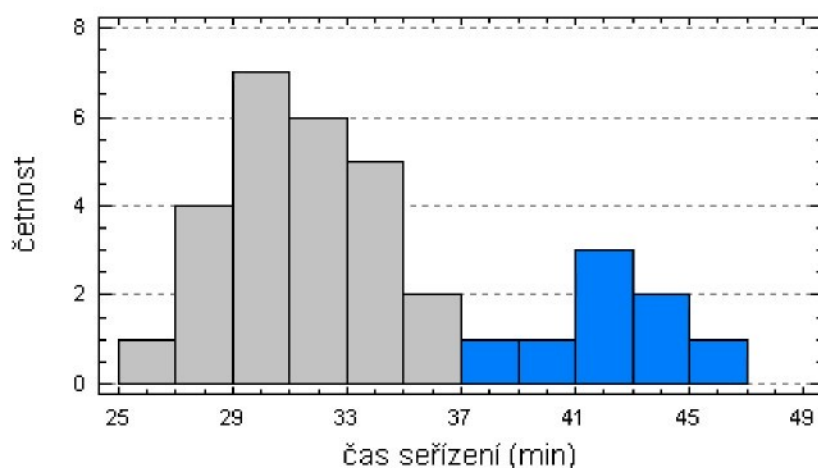
|           | Lognormální | Normální |
|-----------|-------------|----------|
| DPLUS     | 0,111296    | 0,14233  |
| DMINUS    | 0,103372    | 0,100745 |
| DN        | 0,111296    | 0,14233  |
| P-hodnota | 0,80831     | 0,530009 |

**Tab. I-19** Parametry lognormálního rozdělení

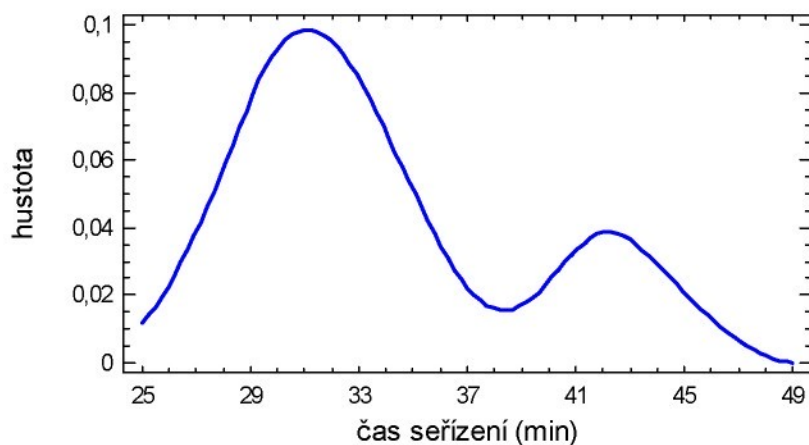
|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 33,8436  |
| směrodatná odchylka                         | 5,21181  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,51003  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,153095 |



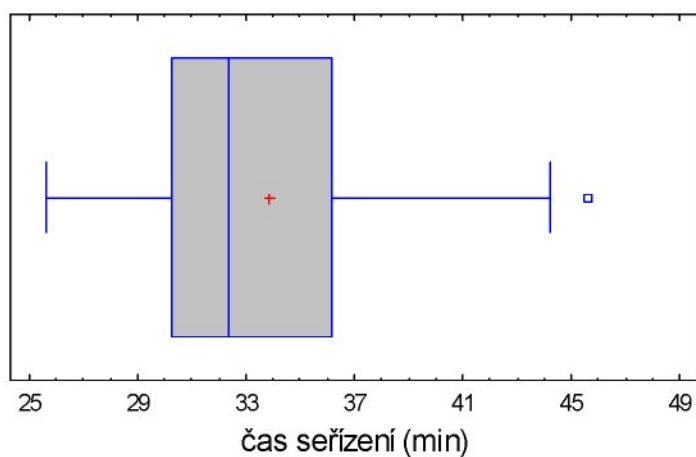
**Obr. I-9** Histogram experimentálně pořizovaných dat



**Obr. I-10** Histogram se znázorněním nehomogenity dat



Obr. I-11 Křivka hustoty výskytu prvků souboru



Obr. I-12 Krabicový diagram

## 2) Analýza dat prvního lokálního maxima (seřízení lisu bez nutnosti opětovného leštění razníku)

Tab. I-20 Základní statistické charakteristiky

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 25        |
| Průměr              | 31,1988   |
| Směrodatná odchylka | 2,64372   |
| Variační koeficient | 8,4738%   |
| Minimum             | 25,62     |
| Maximum             | 36,17     |
| Variační rozpětí    | 10,55     |
| Koef. šikmosti      | -0,207356 |
| Koef. špičatosti    | -0,445637 |

Tab. I-21 Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |       |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|-------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | na nebo pod | 25,0    |       | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 25,0        | 27,0    | 26,0  | 1       | 0,0400    | 1           | 0,0400        |
| 2     | 27,0        | 29,0    | 28,0  | 4       | 0,1600    | 5           | 0,2000        |
| 3     | 29,0        | 31,0    | 30,0  | 7       | 0,2800    | 12          | 0,4800        |
| 4     | 31,0        | 33,0    | 32,0  | 6       | 0,2400    | 18          | 0,7200        |

|   |      |      |      |   |        |    |        |
|---|------|------|------|---|--------|----|--------|
| 5 | 33,0 | 35,0 | 34,0 | 5 | 0,2000 | 23 | 0,9200 |
| 6 | 35,0 | 37,0 | 36,0 | 2 | 0,0800 | 25 | 1,0000 |
|   | nad  | 37,0 |      | 0 | 0,0000 | 25 | 1,0000 |

Střední hodnota = 31,1988 Směrodatná odchylka = 2,64372

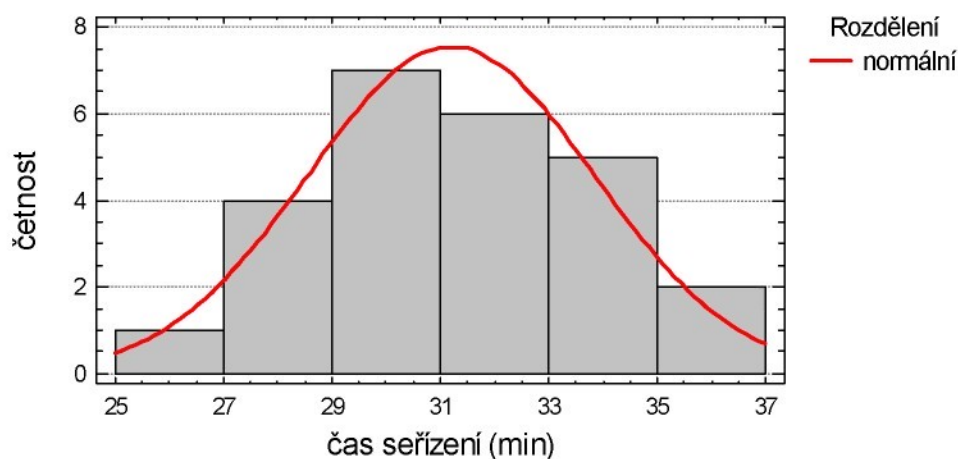
**Tab. I-22** Výsledky Pearsonova chi-kvadrát testu dobré shody pro normální rozdělení

|             | dolní   | horní   | pozorovaná | očekávaná |             |
|-------------|---------|---------|------------|-----------|-------------|
|             | hranice | hranice | četnost    | četnost   | Chi-kvadrát |
| na nebo pod |         | 28,1576 | 3          | 3,12      | 0,00        |
|             | 28,1576 | 29,4156 | 4          | 3,12      | 0,25        |
|             | 29,4156 | 30,3564 | 2          | 3,12      | 0,40        |
|             | 30,3564 | 31,1988 | 4          | 3,13      | 0,24        |
|             | 31,1988 | 32,0412 | 3          | 3,13      | 0,01        |
|             | 32,0412 | 32,982  | 2          | 3,12      | 0,40        |
|             | 32,982  | 34,24   | 4          | 3,12      | 0,25        |
| nad         | 34,24   |         | 3          | 3,12      | 0,00        |

Chi-kvadrát = 1,55997 s 5 stupni volnosti, P-hodnota = 0,906047

**Tab. I-23** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           | Normální  |
|-----------|-----------|
| DPLUS     | 0,0574542 |
| DMINUS    | 0,0577246 |
| DN        | 0,0577246 |
| P-hodnota | 0,9413762 |



**Obr. I-13** Histogram experimentálně pořizovaných dat pro případ bez výskytu chyby

### 3) Analýza dat druhého lokálního maxima (seřizení lisu s opětovným leštěním razníku)

**Tab. I-24** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 8        |
| Průměr              | 42,0975  |
| Směrodatná odchylka | 2,34426  |
| Variační koeficient | 5,56865% |
| Minimum             | 37,98    |
| Maximum             | 45,62    |
| Variační rozpětí    | 7,64     |



|                  |           |
|------------------|-----------|
| Koef. šikmosti   | -0,364454 |
| Koef. špičatosti | 0,256036  |

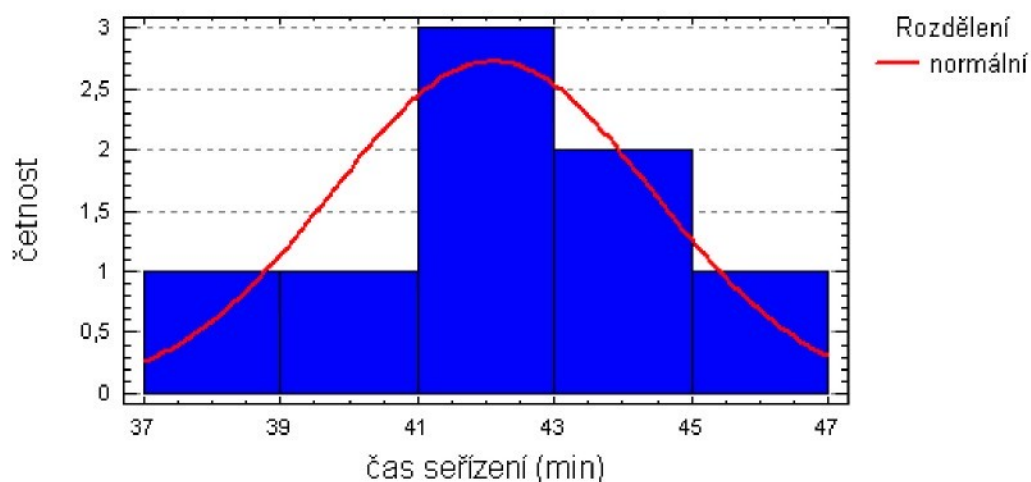
**Tab. I-25** Frekvenční tabulka

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | na nebo pod    | 37,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 37,0           | 39,0           | 38,0         | 1              | 0,1250           | 1                  | 0,1250               |
| 2            | 39,0           | 41,0           | 40,0         | 1              | 0,1250           | 2                  | 0,2500               |
| 3            | 41,0           | 43,0           | 42,0         | 3              | 0,3750           | 5                  | 0,6250               |
| 4            | 43,0           | 45,0           | 44,0         | 2              | 0,2500           | 7                  | 0,8750               |
| 5            | 45,0           | 47,0           | 46,0         | 1              | 0,1250           | 8                  | 1,0000               |
|              | nad            | 47,0           |              | 0              | 0,0000           | 8                  | 1,0000               |

Střední hodnota = 42,0975 Směrodatná odchylka = 2,34426

**Tab. I-26** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           |                 |
|-----------|-----------------|
|           | <i>Normální</i> |
| DPLUS     | 0,0875667       |
| DMINUS    | 0,109498        |
| DN        | 0,109498        |
| P-hodnota | 0,926741        |

**Obr. I-14** Histogram experimentálně pořizovaných dat pro případ výskytu chyby

## I-2.4 Výměna nástroje na skupině lisů L1 pro VBD typu 1 a 2

**Tab. I-27** Základní statistické charakteristiky

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Počet prvků         | 36        |
| Průměr              | 47,6625   |
| Směrodatná odchylka | 5,60687   |
| Variační koeficient | 11,7637%  |
| Minimum             | 39,92     |
| Maximum             | 62,13     |
| Variační rozpětí    | 22,21     |
| Koef. šikmosti      | 1,74942   |
| Koef. špičatosti    | -0,342668 |

**Tab. I-28** Frekvenční tabulka

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | na nebo pod    | 38,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 38,0           | 42,2857        | 40,1429      | 6              | 0,1667           | 6                  | 0,1667               |
| 2            | 42,2857        | 46,5714        | 44,4286      | 14             | 0,3889           | 20                 | 0,5556               |
| 3            | 46,5714        | 50,8571        | 48,7143      | 5              | 0,1389           | 25                 | 0,6944               |
| 4            | 50,8571        | 55,1429        | 53,0         | 6              | 0,1667           | 31                 | 0,8611               |
| 5            | 55,1429        | 59,4286        | 57,2857      | 4              | 0,1111           | 35                 | 0,9722               |
| 6            | 59,4286        | 63,7143        | 61,5714      | 1              | 0,0278           | 36                 | 1,0000               |
| 7            | 63,7143        | 68,0           | 65,8571      | 0              | 0,0000           | 36                 | 1,0000               |
|              | nad            | 68,0           |              | 0              | 0,0000           | 36                 | 1,0000               |

Střední hodnota = 47,6625   Směrodatná odchylka = 5,60687

**Tab. I-29** Porovnání výsledků chi-kvadrát testů dobré shody pro lognorm. a normální rozdělení

|                       | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Chi-kvadrát           | 12,8891            | 13,778          |
| Počet stupňů volnosti | 13                 | 13              |
| P-hodnota             | 0,456415           | 0,389659        |

**Tab. I-30** Výsledky Pearsonova chi-kvadrát testu dobré shody pro lognormální rozdělení

|             | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   | <i>pozorovaná</i> | <i>očekávaná</i> |                    |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|
|             | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>četnost</i>    | <i>četnost</i>   | <i>Chi-kvadrát</i> |
| na nebo pod |                | 39,7339        | 0                 | 2,25             | 2,25               |
|             | 39,7339        | 41,5168        | 4                 | 2,25             | 1,36               |
|             | 41,5168        | 42,7856        | 3                 | 2,25             | 0,25               |
|             | 42,7856        | 43,839         | 4                 | 2,25             | 1,36               |
|             | 43,839         | 44,7802        | 4                 | 2,25             | 1,36               |
|             | 44,7802        | 45,6601        | 2                 | 2,25             | 0,03               |
|             | 45,6601        | 46,5105        | 2                 | 2,25             | 0,03               |
|             | 46,5105        | 47,3549        | 2                 | 2,25             | 0,03               |
|             | 47,3549        | 48,2147        | 1                 | 2,25             | 0,69               |
|             | 48,2147        | 49,1126        | 0                 | 2,25             | 2,25               |
|             | 49,1126        | 50,0776        | 1                 | 2,25             | 0,69               |
|             | 50,0776        | 51,1527        | 3                 | 2,25             | 0,25               |
|             | 51,1527        | 52,4122        | 3                 | 2,25             | 0,25               |
|             | 52,4122        | 54,014         | 1                 | 2,25             | 0,69               |
|             | 54,014         | 56,4377        | 4                 | 2,25             | 1,36               |
| nad         | 56,4377        |                | 2                 | 2,25             | 0,03               |

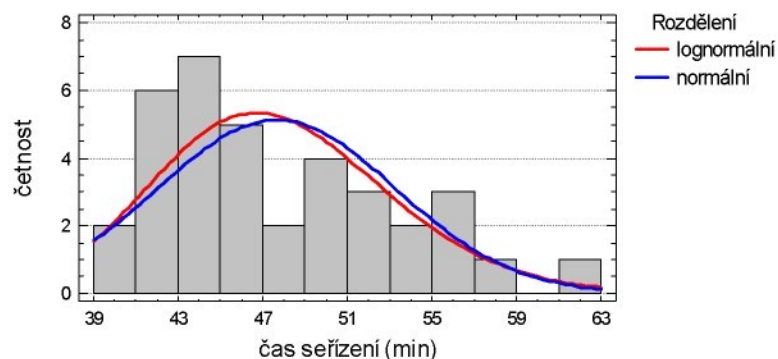
Chi-kvadrát = 12,8891 se 13 stupni volnosti   P-hodnota = 0,456415

**Tab. I-31** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

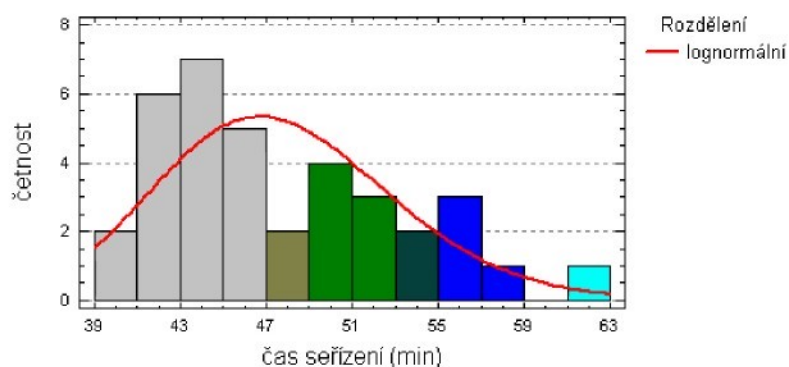
|           | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------|--------------------|-----------------|
| DPLUS     | 0,11482            | 0,132803        |
| DMINUS    | 0,0676843          | 0,0836554       |
| DN        | 0,11482            | 0,132803        |
| P-hodnota | 0,729592           | 0,549331        |

**Tab. I-32** Parametry lognormálního rozdělení

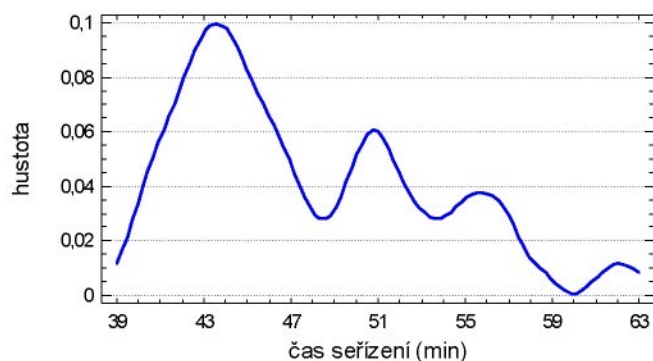
|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 47,6657  |
| směrodatná odchylka                         | 5,46967  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,85767  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,114376 |



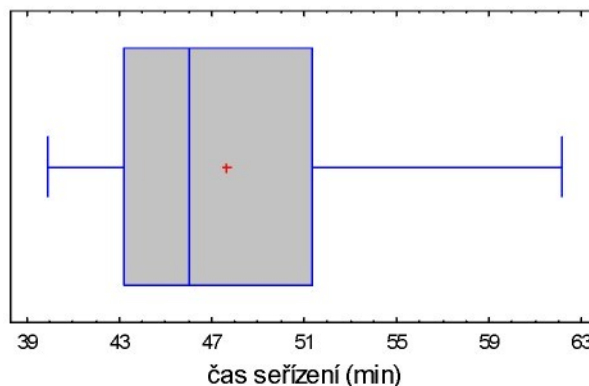
**Obr. I-15** Histogram proložený lognormálním a normálním rozdělením



**Obr. I-16** Histogram se znázorněním jednotlivých typů chyb



**Obr. I-17** Křivka hustoty výskytu prvků



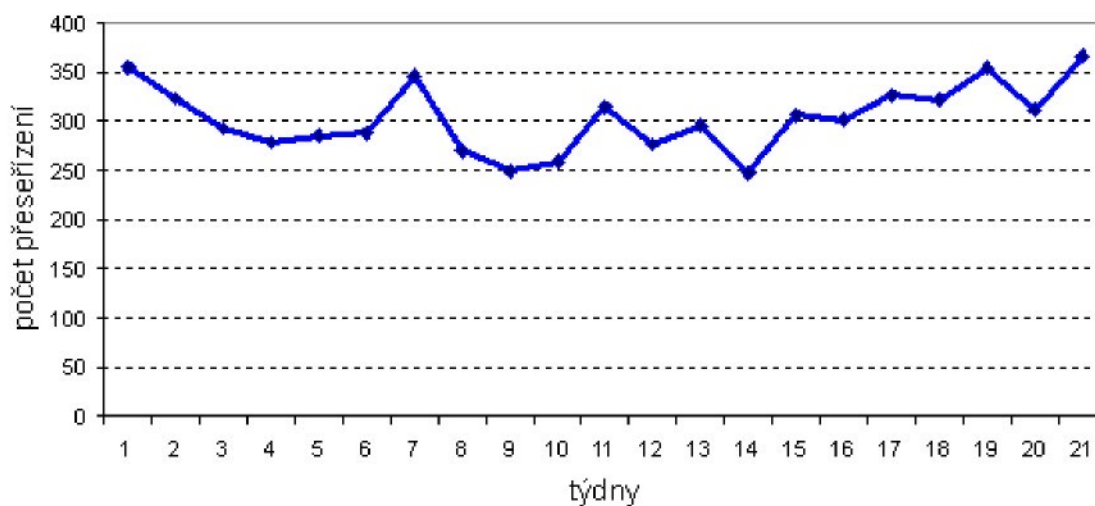
**Obr. I-18** Krabicový diagram

### I-3 Analýza a predikce časových řad zátěže

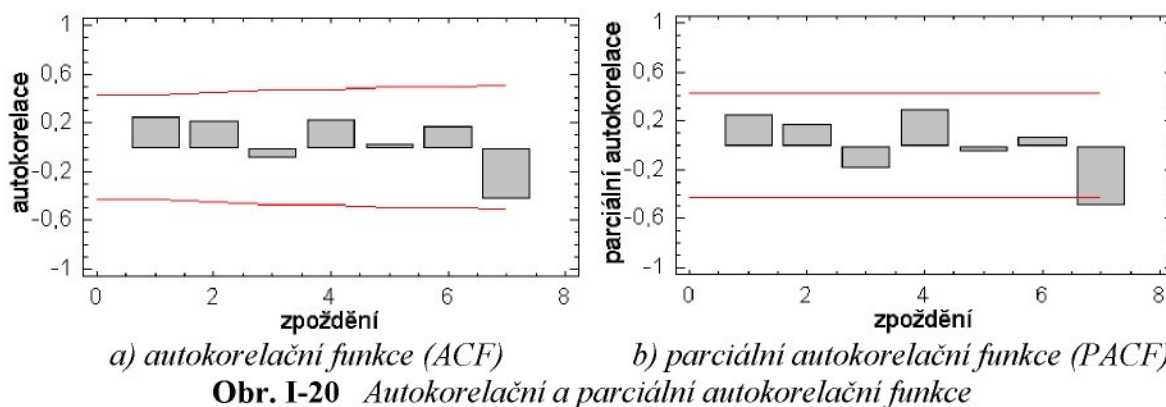
**Tab. I-33** Počty přeseřžení lisů a provedených zkoušek za předchzích 21 týdnů

| Poř.č. | Týdny roku 2008 | Počet přeseřžení | Počet zkoušek | Celkový počet seřizovacích operací |
|--------|-----------------|------------------|---------------|------------------------------------|
| 1      | 15              | 355              | 29            | 384                                |
| 2      | 16              | 323              | 24            | 347                                |
| 3      | 17              | 293              | 10            | 303                                |
| 4      | 18              | 279              | 24            | 303                                |
| 5      | 19              | 285              | 20            | 305                                |
| 6      | 20              | 288              | 15            | 303                                |
| 7      | 21              | 346              | 26            | 372                                |
| 8      | 22              | 270              | 27            | 297                                |
| 9      | 23              | 250              | 35            | 285                                |
| 10     | 24              | 259              | 25            | 284                                |
| 11     | 25              | 314              | 28            | 342                                |
| 12     | 26              | 277              | 17            | 294                                |
| 13     | 27              | 296              | 46            | 342                                |
| 14     | 28              | 248              | 24            | 272                                |
| 15     | 29              | 306              | 41            | 347                                |
| 16     | 33              | 301              | 17            | 318                                |
| 17     | 34              | 326              | 24            | 350                                |
| 18     | 35              | 322              | 22            | 344                                |
| 19     | 36              | 354              | 44            | 398                                |
| 20     | 37              | 311              | 45            | 356                                |
| 21     | 38              | 366              | 36            | 402                                |

#### I-3.1 Analýza časové řady počtů přeseřžení lisů



**Obr. I-19** Časová řada počtů přeseřžení lisů

**Tab. I-34** Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,244598                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,215429                  | 0,230905         | -0,452566                    | 0,452566                     |
| 3        | -0,0946862                | 0,240285         | -0,470951                    | 0,470951                     |
| 4        | 0,229569                  | 0,242055         | -0,474421                    | 0,474421                     |
| 5        | 0,0254267                 | 0,25221          | -0,494324                    | 0,494324                     |
| 6        | 0,17053                   | 0,252332         | -0,494563                    | 0,494563                     |
| 7        | -0,42601                  | 0,257762         | -0,505205                    | 0,505205                     |

**Tab. I-35** Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,244598                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,165503                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 3        | -0,195906                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 4        | 0,290695                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 5        | -0,0524638                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 6        | 0,0684617                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 7        | -0,500463                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |

**Tab. I-36** Testy náhodnosti časové řady ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | $P$ -hodnota |
|-----------------------------|--------------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,107        |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0          |
| Box-Pierceův                | 0,336        |

### I-3.2 Predikce časové řady počtů přeseřžení lisů

#### Testované modely:

- (A) Náhodná procházka
- (B) Konstantní průběh = 303,286
- (C) Lineární trend =  $289,2 + 1,28052 t$
- (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,4033$
- (I) Brownovo lineární exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1788$
- (J) Holtsovo lineární exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1801$  a  $\beta = 0,8563$
- (M) ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty**
- (N) ARIMA(0,2,2) s konstantními koeficienty

(O) ARIMA(2,0,1) s konstantními koeficienty

(P) ARIMA(0,1,1)

(Q) ARIMA(0,2,2)

**Tab. I-37** Ukazatele kvality modelů

| Model | RMSE    | MAE     | MAPE    | ME          | MPE       | AIC            |
|-------|---------|---------|---------|-------------|-----------|----------------|
| (A)   | 38,9108 | 31,45   | 10,4461 | -1,1368E-14 | -0,822221 | 7,27146        |
| (B)   | 34,2186 | 27,6327 | 9,22471 | 8,12049E-15 | -1,22125  | 7,16078        |
| (C)   | 34,148  | 25,6638 | 8,56761 | 8,12049E-15 | -1,15892  | 7,25189        |
| (H)   | 33,3257 | 29,2972 | 9,71581 | 1,8695      | -0,365244 | 7,10789        |
| (I)   | 34,4413 | 30,5921 | 10,1164 | 3,54808     | 0,160923  | 7,17375        |
| (J)   | 32,0606 | 25,3736 | 8,29336 | 8,04734     | 1,89087   | 7,12573        |
| (M)   | 27,2107 | 19,4414 | 6,45838 | -0,245769   | -0,676924 | <b>7,08341</b> |
| (N)   | 30,0313 | 20,5159 | 6,89932 | 0,844933    | -0,35839  | 7,09019        |
| (O)   | 28,8245 | 20,8497 | 7,04848 | -1,59487    | -1,27982  | 7,1034         |
| (P)   | 33,4441 | 29,2028 | 9,76186 | 0,393287    | -0,824719 | 7,11499        |
| (Q)   | 31,9582 | 25,1961 | 8,35288 | 5,88587     | 1,23167   | 7,11934        |

**Legenda:**ME ... střední chyba:  $ME = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t - y_t)$ RMSE ... odmocnina ze střední čtvercové chyby:  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t - y_t)^2}$ MAE ... střední absolutní chyba:  $MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |Y_t - y_t|$ MAPE ... střední absolutní chyba procentuální:  $MAPE = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|Y_t - y_t|}{Y_t}$ MPE ... střední chyba procentuální:  $MPE = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \frac{(Y_t - y_t)}{Y_t}$ Kde  $Y_t$  jsou skutečné hodnoty časové řady,  $y_t$  jsou vyrovnané hodnoty a  $T$  je počet členů časové řady.

AIC ... Akaikeho informativní kritérium

**Tab. I-38** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

| Model | RMSE    | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)   | 38,9108 | OK        | OK        | **        | OK        | OK        |
| (B)   | 34,2186 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (C)   | 34,148  | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (H)   | 33,3257 | OK        | OK        | OK        | *         | OK        |
| (I)   | 34,4413 | OK        | OK        | OK        | *         | OK        |
| (J)   | 32,0606 | OK        | OK        | *         | OK        | OK        |
| (M)   | 27,2107 | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)   | 30,0313 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)   | 28,8245 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)   | 33,4441 | OK        | OK        | OK        | *         | OK        |
| (Q)   | 31,9582 | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |



**Legenda:**

RUNS ... test rostoucích a klesajících sekvencí

RUNM ... test porovnávání s mediánem

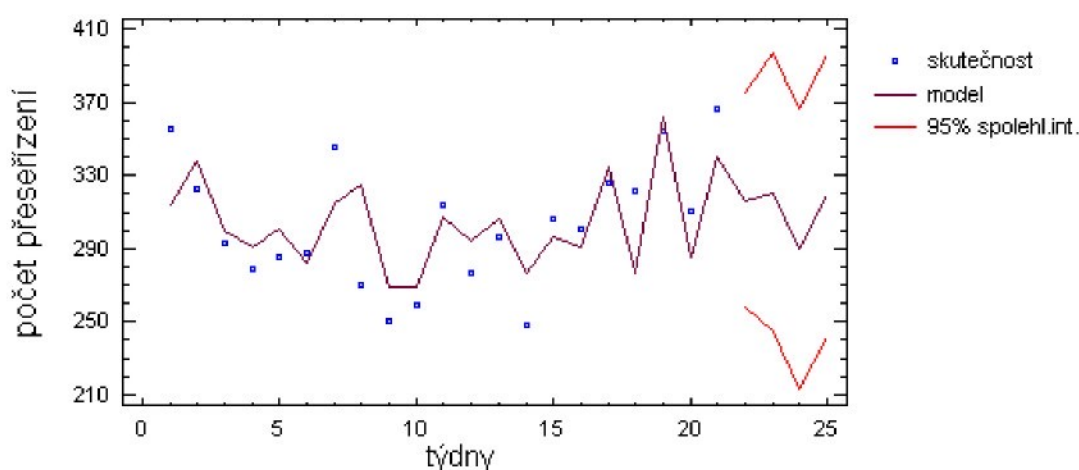
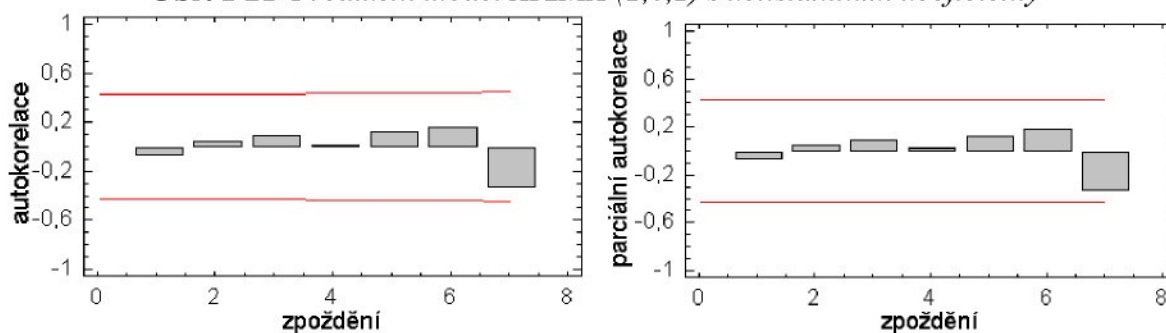
AUTO ... Box-Pierce test pro extrémní autokorelace

MEAN ... test rozdílu střední hodnoty 1. a 2. poloviny řady

VAR ... test rozdílu odchylek v 1. a 2. polovině řady

OK ... model neprošel testem ( $p \geq 0,05$ )\* ... model neprošel testem s 95% mírou spolehlivosti ( $0,01 < p \leq 0,05$ )\*\* ... model neprošel testem s 99% mírou spolehlivosti ( $0,001 < p \leq 0,01$ )\*\*\* ... model neprošel testem s 99,9% mírou spolehlivosti ( $p \leq 0,001$ )

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.

**Obr. I-21** Predikční model ARIMA (2,0,2) s konstantními koeficienty*a) autokorelační funkce (ACF)**b) parciální autokorelační funkce (PACF)***Obr. I-22** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (2,0,2) s konstantními koeficienty**Tab. I-39** Autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konst.koef.

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,0803134                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,0468663                 | 0,219621         | -0,43045                     | 0,43045                      |
| 3        | 0,0859175                 | 0,220097         | -0,431382                    | 0,431382                     |
| 4        | 0,0111259                 | 0,221688         | -0,434501                    | 0,434501                     |
| 5        | 0,12835                   | 0,221715         | -0,434553                    | 0,434553                     |
| 6        | 0,160981                  | 0,225225         | -0,441434                    | 0,441434                     |
| 7        | -0,333429                 | 0,230639         | -0,452045                    | 0,452045                     |

**Tab. I-40** *Parciální autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty*

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,0803134                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,0406784                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 3        | 0,0935526                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 4        | 0,0237401                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 5        | 0,124854                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 6        | 0,178182                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 7        | -0,336484                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |

**Tab. I-41** *Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty (P-hodnota > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady reziduí)*

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 1,0       |
| Rostoucí-klesající sekvence | 1,0       |
| Box-Pierceův                | 0,312549  |

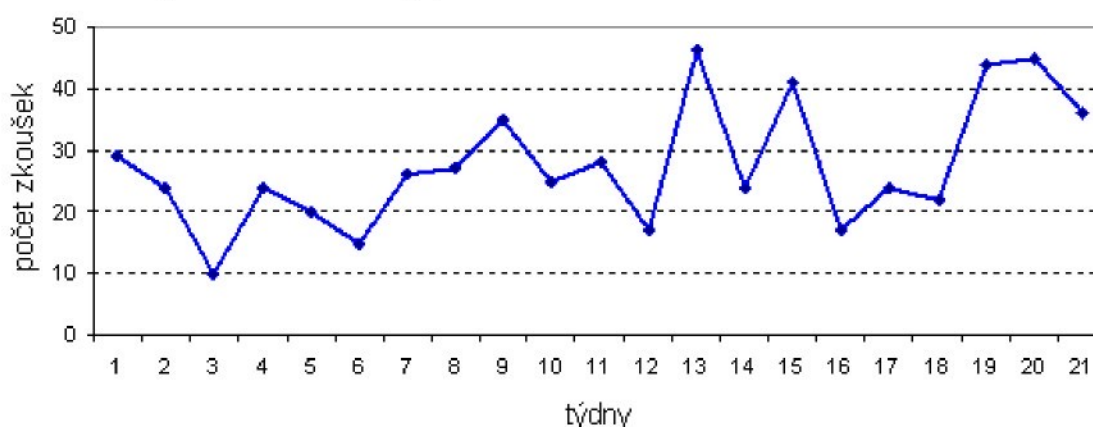
**Tab. I-42** *Hodnoty časové řady modelu ARIMA(2,0,2) s konstantními koeficienty*

| Týden | Skutečnost | Model   | Reziduum |
|-------|------------|---------|----------|
| 1,0   | 355,0      | 314,037 | 40,9632  |
| 2,0   | 323,0      | 338,405 | -15,4047 |
| 3,0   | 293,0      | 299,543 | -6,54304 |
| 4,0   | 279,0      | 290,503 | -11,5028 |
| 5,0   | 285,0      | 300,957 | -15,9569 |
| 6,0   | 288,0      | 281,893 | 6,1068   |
| 7,0   | 346,0      | 314,938 | 31,0623  |
| 8,0   | 270,0      | 325,075 | -55,0755 |
| 9,0   | 250,0      | 268,97  | -18,9705 |
| 10,0  | 259,0      | 269,409 | -10,4094 |
| 11,0  | 314,0      | 307,749 | 6,25089  |
| 12,0  | 277,0      | 293,979 | -16,9794 |
| 13,0  | 296,0      | 306,014 | -10,0135 |
| 14,0  | 248,0      | 277,042 | -29,0424 |
| 15,0  | 306,0      | 295,867 | 10,1327  |
| 16,0  | 301,0      | 290,859 | 10,1411  |
| 17,0  | 326,0      | 334,938 | -8,93847 |
| 18,0  | 322,0      | 276,803 | 45,1969  |
| 19,0  | 354,0      | 361,879 | -7,87902 |
| 20,0  | 311,0      | 285,441 | 25,5595  |
| 21,0  | 366,0      | 339,859 | 26,141   |

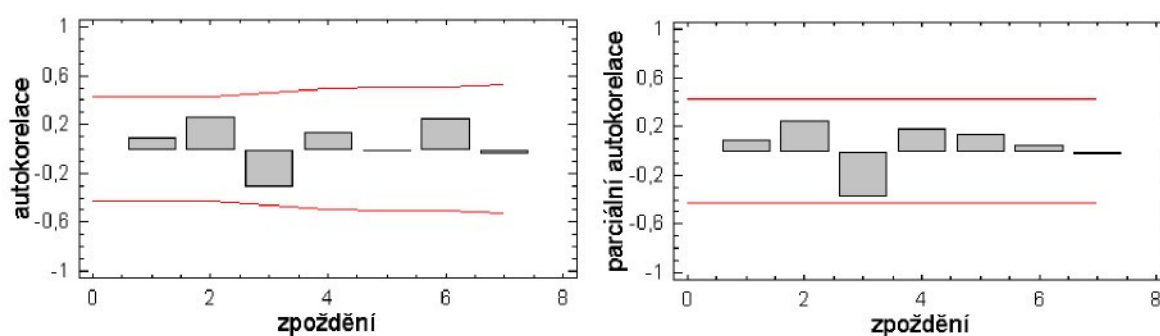
**Tab. I-43** *Predikované hodnoty časové řady*

| Týden | Predikované počty přeseřizení | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 22,0  | 316,512                       | 258,459                      | 374,565                      |
| 23,0  | 320,527                       | 244,455                      | 396,599                      |
| 24,0  | 289,784                       | 213,054                      | 366,514                      |
| 25,0  | 319,101                       | 242,113                      | 396,089                      |

### I-3.3 Analýza časové řady počtů zkoušek



Obr. I-23 Časová řada počtů přeseřizení lisů



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

Obr. I-24 Autokorelační a parciální autokorelační funkce časové řady

Tab. I-44 Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,0888352                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,256822                  | 0,219933         | -0,431062                    | 0,431062                     |
| 3        | -0,313408                 | 0,233778         | -0,458198                    | 0,458198                     |
| 4        | 0,13057                   | 0,252996         | -0,495864                    | 0,495864                     |
| 5        | -0,0256743                | 0,256185         | -0,502114                    | 0,502114                     |
| 6        | 0,251891                  | 0,256307         | -0,502354                    | 0,502354                     |
| 7        | -0,0444968                | 0,267836         | -0,52495                     | 0,52495                      |

Tab. I-45 Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,0888352                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 2        | 0,25091                   | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 3        | -0,379486                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 4        | 0,181025                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 5        | 0,135142                  | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 6        | 0,0426755                 | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |
| 7        | -0,0344537                | 0,218218         | -0,4277                      | 0,4277                       |

**Tab. I-46** Testy náhodnosti časové řady (*P-hodnota* > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,490693  |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,651841  |
| Box-Pierceův                | 0,616189  |

### I-3.4 Predikce časové řady počtů zkoušek

#### Testované modely:

- (A) Náhodná procházka  
 (B) Konstantní průběh = 27,5714  
 (C) Lineární model =  $18,7714 + 0,8 t$   
 (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1699$   
 (I) Brownovo lineární exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,1357$   
 (J) Holtsovo lineární exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,2015$  a  $\beta = 0,1314$   
**(M) ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty**  
 (N) ARIMA(1,1,1) s konstantními koeficienty  
 (O) ARIMA(0,1,2) s konstantními koeficienty  
 (P) ARIMA(1,1,2) s konstantními koeficienty  
 (Q) ARIMA(2,1,1) s konstantními koeficienty

**Tab. I-47** Ukazatele kvality modelů

| Model | RMSE    | MAE     | MAPE    | ME          | MPE      | AIC     |
|-------|---------|---------|---------|-------------|----------|---------|
| (A)   | 13,9181 | 10,95   | 45,8601 | -1,2434E-15 | -14,5786 | 5,21575 |
| (B)   | 10,1517 | 7,94558 | 34,5248 | -5,0753E-16 | -15,4795 | 4,73052 |
| (C)   | 9,08539 | 7,21361 | 31,3161 | -1,0150E-15 | -11,8217 | 4,60381 |
| (H)   | 10,1777 | 7,85633 | 31,6707 | 2,37451     | -4,77549 | 4,73563 |
| (I)   | 10,4525 | 8,24671 | 32,6074 | 2,99268     | -1,25011 | 4,78893 |
| (J)   | 10,3217 | 7,95547 | 35,4719 | -0,449603   | -16,5104 | 4,85897 |
| (M)   | 8,44096 | 6,54673 | 29,4188 | -1,25095    | -15,4723 | 4,45667 |
| (N)   | 8,46974 | 6,13431 | 27,3308 | -0,872774   | -13,0846 | 4,55871 |
| (O)   | 8,653   | 6,5678  | 29,0596 | -0,761866   | -13,7608 | 4,60153 |
| (P)   | 8,5422  | 5,94512 | 27,1256 | -1,23959    | -14,4419 | 4,67099 |
| (Q)   | 8,64464 | 6,05444 | 27,0704 | -0,763263   | -13,0255 | 4,69483 |

**Tab. I-48** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

| Model      | RMSE           | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)        | 13,9181        | OK        | OK        | **        | OK        | OK        |
| (B)        | 10,1517        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (C)        | 9,08539        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (H)        | 10,1777        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (I)        | 10,4525        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (J)        | 10,3217        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| <b>(M)</b> | <b>8,44096</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)        | 8,46974        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)        | 8,653          | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)        | 8,5422         | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (Q)        | 8,64464        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

#### Legenda:

RMSE = odmocnina střední čtvercové odchylky

RUNS = test rostoucích a klesajících sekvencí

RUNM = test porovnávání s mediánem

AUTO = Box-Pierce test pro extrémní autokorelace

MEAN = test rozdílu střední hodnoty 1. a 2. poloviny řady

VAR = test rozdílu odchylek v 1. a 2. polovině řady

AIC = Akaikeho informativní kritérium

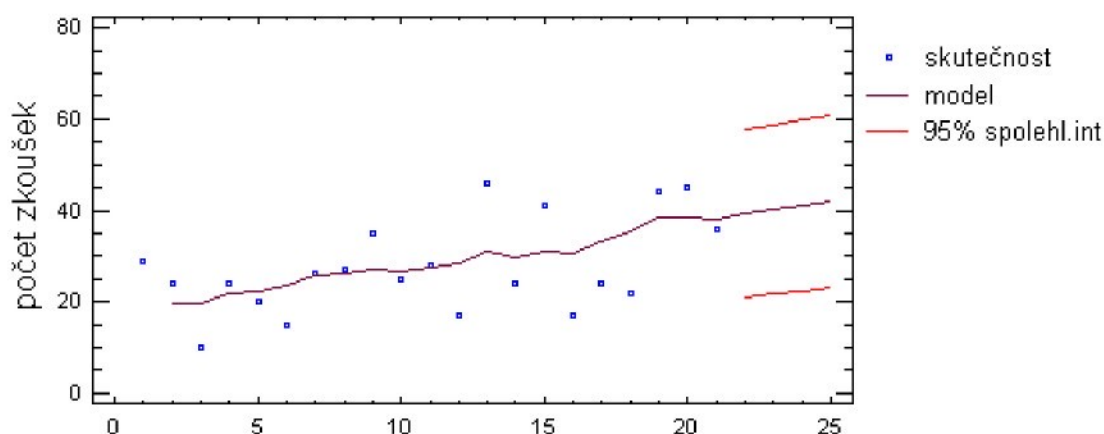
OK = model neprošel testem ( $p \geq 0,05$ )

\* = model neprošel testem s 95% mírou spolehlivosti ( $0,01 < p \leq 0,05$ )

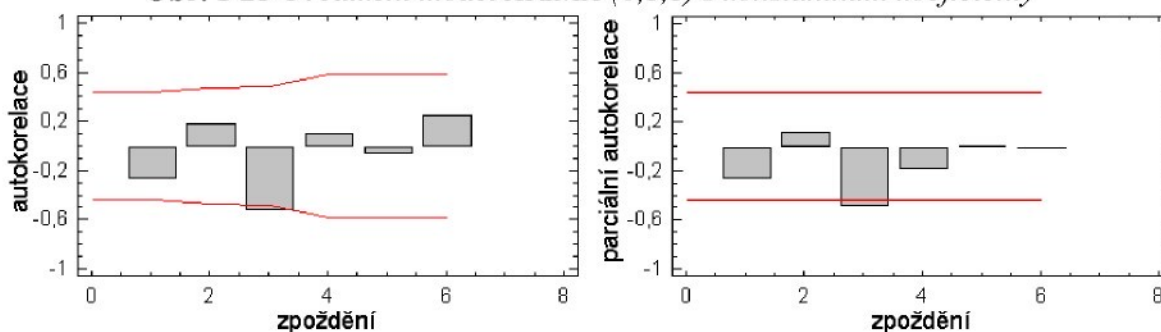
\*\* = model neprošel testem s 99% mírou spolehlivosti ( $0,001 < p \leq 0,01$ )

\*\*\* = model neprošel testem s 99,9% mírou spolehlivosti ( $p \leq 0,001$ )

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.



**Obr. I-25** Predikční model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

**Obr. I-26** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (0,1,1) s konstantními koeficienty

**Tab. I-49** Autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(0,1,1) s konst.koef.

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,273019                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 2        | 0,180892                  | 0,239696         | -0,469795                    | 0,469795                     |
| 3        | -0,530483                 | 0,246427         | -0,482988                    | 0,482988                     |
| 4        | 0,102972                  | 0,298106         | -0,584279                    | 0,584279                     |
| 5        | -0,0664102                | 0,299879         | -0,587754                    | 0,587754                     |
| 6        | 0,248129                  | 0,300614         | -0,589194                    | 0,589194                     |

**Tab. I-50** *Parciální autokorelační koeficienty reziduálních složek pro model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty*

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | -0,273019                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 2        | 0,114919                  | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 3        | -0,498661                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 4        | -0,189392                 | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 5        | 0,00542248                | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |
| 6        | -0,0264507                | 0,223607         | -0,438262                    | 0,438262                     |

**Tab. I-51** *Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty (P-hodnota > 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady rezidui)*

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,250691  |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,404171  |
| Box-Pierceův                | 0,0974962 |

Hodnoty autokorelačních, parciálních autokorelačních korelačních koeficientů reziduálních složek časové řady a P-hodnot testů náhodnosti reziduálních složek časové řady ukazují, že reziduální složky nelze považovat za zcela náhodné.

**Tab. I-52** *Hodnoty časové řady a funkční hodnoty modelu ARIMA(0,1,1) s konst. koef.*

| Týden | Skutečnost | Model   | Reziduum |
|-------|------------|---------|----------|
| 1,0   | 29,0       |         |          |
| 2,0   | 24,0       | 19,4769 | 4,52311  |
| 3,0   | 10,0       | 19,613  | -9,61303 |
| 4,0   | 24,0       | 21,8537 | 2,14631  |
| 5,0   | 20,0       | 22,3437 | -2,34367 |
| 6,0   | 15,0       | 23,5021 | -8,5021  |
| 7,0   | 26,0       | 25,5774 | 0,422635 |
| 8,0   | 27,0       | 26,324  | 0,676041 |
| 9,0   | 35,0       | 27,0328 | 7,96717  |
| 10,0  | 25,0       | 26,6562 | -1,65623 |
| 11,0  | 28,0       | 27,7123 | 0,287686 |
| 12,0  | 17,0       | 28,479  | -11,479  |
| 13,0  | 46,0       | 30,9975 | 15,0025  |
| 14,0  | 24,0       | 29,5735 | -5,57346 |
| 15,0  | 41,0       | 31,2127 | 9,78728  |
| 16,0  | 17,0       | 30,5652 | -13,5652 |
| 17,0  | 24,0       | 33,3942 | -9,39419 |
| 18,0  | 22,0       | 35,6023 | -13,6023 |
| 19,0  | 44,0       | 38,4368 | 5,56318  |
| 20,0  | 45,0       | 38,4181 | 6,58189  |
| 21,0  | 36,0       | 38,2477 | -2,24775 |

**Tab. I-53** *Predikované hodnoty časové řady*

| Týden | Predikované počty zkoušek | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 22,0  | 39,3919                   | 21,1074                      | 57,6764                      |
| 23,0  | 40,2014                   | 21,7154                      | 58,6875                      |



|      |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|
| 24,0 | 41,0109 | 22,3255 | 59,6963 |
| 25,0 | 41,8204 | 22,9378 | 60,7031 |

#### I-4 Kapacitní výpočet

**Tab. I-54** Poměrové koeficienty rozpadu časové řady mezi jednotlivé činnosti

|     | L1    | L2    | L3    |
|-----|-------|-------|-------|
| M12 | 0,056 | 0,042 | 0,042 |
| M3  | 0,024 | 0,018 | 0,018 |
| N12 | 0,140 | 0,105 | 0,105 |
| N3  | 0,060 | 0,045 | 0,045 |
| P12 | 0,084 | 0,063 | 0,063 |
| P3  | 0,036 | 0,027 | 0,027 |

**Tab. I-54 (1/2)** Počty pseudonáh. čísel, jež mají být pro jednotlivé činnosti generovány

|    | L1  |    |     |    |     |    | L2  |    |     |    |     |    |
|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| h  | M12 | M3 | N12 | N3 | P12 | P3 | M12 | M3 | N12 | N3 | P12 | P3 |
| -4 | 18  | 8  | 45  | 19 | 27  | 12 | 14  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  |
| -3 | 20  | 8  | 50  | 21 | 30  | 13 | 15  | 6  | 37  | 16 | 22  | 10 |
| -2 | 17  | 7  | 44  | 19 | 26  | 11 | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 8  |
| -1 | 20  | 9  | 51  | 22 | 31  | 13 | 15  | 7  | 38  | 16 | 23  | 10 |
| 0  | 18  | 8  | 44  | 19 | 27  | 11 | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 9  |
| 1  | 18  | 8  | 45  | 19 | 27  | 12 | 13  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  |
| 2  | 16  | 7  | 41  | 17 | 24  | 10 | 12  | 5  | 30  | 13 | 18  | 8  |
| 3  | 18  | 8  | 45  | 19 | 27  | 11 | 13  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  |

**Tab. I-54 (2/2)** Počty pseudonáh. čísel, jež mají být pro jednotlivé činnosti generovány

|    | L3  |    |     |    |     |    | L1,2 |
|----|-----|----|-----|----|-----|----|------|
| h  | M12 | M3 | N12 | N3 | P12 | P3 | ZK   |
| -4 | 14  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  | 22   |
| -3 | 15  | 6  | 37  | 16 | 22  | 10 | 44   |
| -2 | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 8  | 45   |
| -1 | 15  | 7  | 38  | 16 | 23  | 10 | 36   |
| 0  | 13  | 6  | 33  | 14 | 20  | 9  | 39   |
| 1  | 13  | 6  | 34  | 14 | 20  | 9  | 40   |
| 2  | 12  | 5  | 30  | 13 | 18  | 8  | 41   |
| 3  | 3   | 18 | 8   | 45 | 19  | 27 | 11   |

**Tab. I-55 (1/3)** Tvar a parametry teoretických rozdělení jednotlivých činností

| skupina lisů              | L1    |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| seřizovací operace        | M12   | M3     | N12    | N3     | P12    | P3     |
| typ rozdělení             | N     | LN     | LN     | LN     | LN     | LN     |
| střední hodnota           | 21,25 | 26,151 | 47,666 | 54,082 | 55,731 | 63,877 |
| směrodatná odchylka       | 1,685 | 4,601  | 5,4697 | 8,7721 | 6,6664 | 6,4272 |
| stř. hodn. v log. měř.    |       | 3,2487 | 3,8577 | 3,9775 | 4,0134 | 4,1519 |
| směrod. odch. v log. měř. |       | 0,1746 | 0,1144 | 0,1611 | 0,1192 | 0,1004 |

**Tab. I-55 (2/3) Tvar a parametry teoretických rozdělení jednotlivých činností**

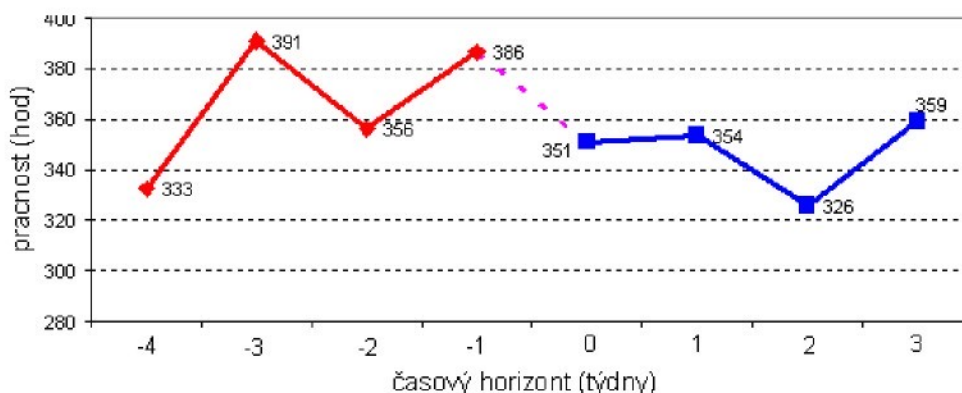
| skupina lisů              | L2    |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| seřizovací operace        | M12   | M3     | N12    | N3     | P12    | P3     |
| typ rozdělení             | N     | LN     | LN     | LN     | LN     | LN     |
| střední hodnota           | 22,86 | 26,01  | 50,888 | 56,333 | 65,203 | 72,923 |
| směrodatná odchylka       | 1,969 | 4,0527 | 3,9315 | 6,598  | 5,6664 | 9,3592 |
| stř. hodn. v log. měř.    |       | 3,2465 | 3,9266 | 4,0245 | 4,1737 | 4,2812 |
| směrod. odch. v log. měř. |       | 0,1549 | 0,0771 | 0,1167 | 0,0867 | 0,1278 |

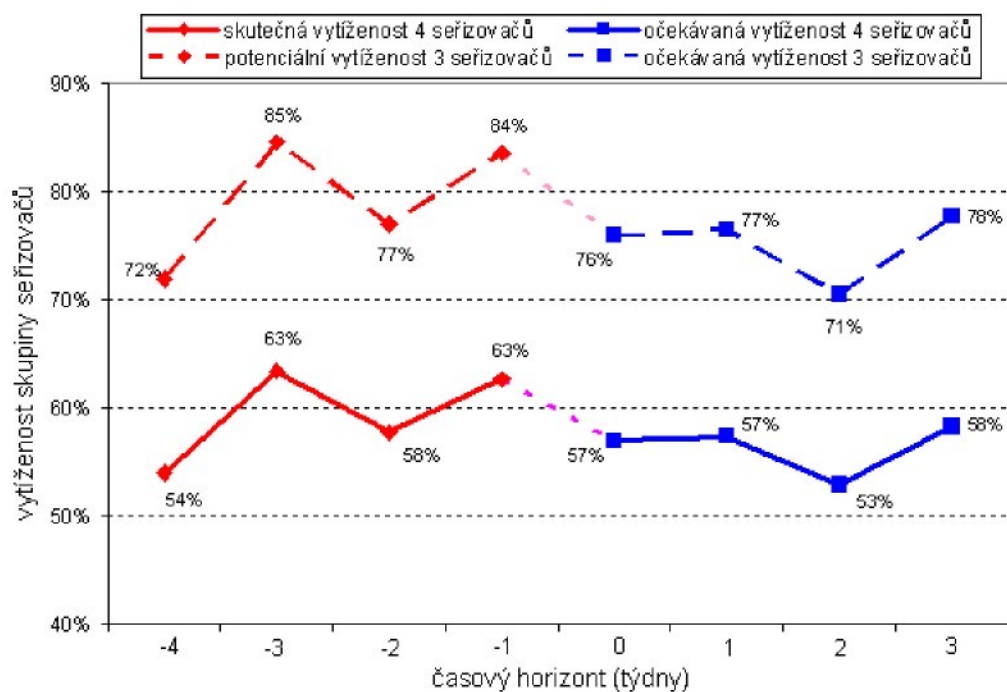
**Tab. I-55 (3/3) Tvar a parametry teoretických rozdělení jednotlivých činností**

| skupina lisů               | L3    |        |        |        |        |        | L1,2   |
|----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| seřizovací operace         | M12   | M3     | N12    | N3     | P12    | P3     | ZK     |
| typ rozdělení              | N     | LN     | N+N    | LN     | N+N    | LN     | N      |
| střední hodnota            | 23,62 | 27,304 |        | 42,949 |        | 54,391 | 73,774 |
| směrodatná odchylka        | 1,262 | 5,0526 |        | 5,3377 |        | 6,9236 | 3,8813 |
| stř. hodn. v log. měř.     |       | 3,2902 |        | 3,7524 |        | 3,9882 |        |
| směrod. odch. v log. měř.  |       | 0,1835 |        | 0,1238 |        | 0,1268 |        |
| stř. hodn. pro 1.lok. max. |       |        | 31,66  |        | 43,714 |        |        |
| sm. odch. pro 1.lok. max.  |       |        | 1,7971 |        | 2,1123 |        |        |
| stř. hodn. pro 2.lok. max. |       |        | 42,1   |        | 54,613 |        |        |
| sm. odch. pro 2.lok. max.  |       |        | 2,3421 |        | 2,7885 |        |        |
| poměr ploch lok. max.      |       |        | 8/33   |        | 3/13   |        |        |

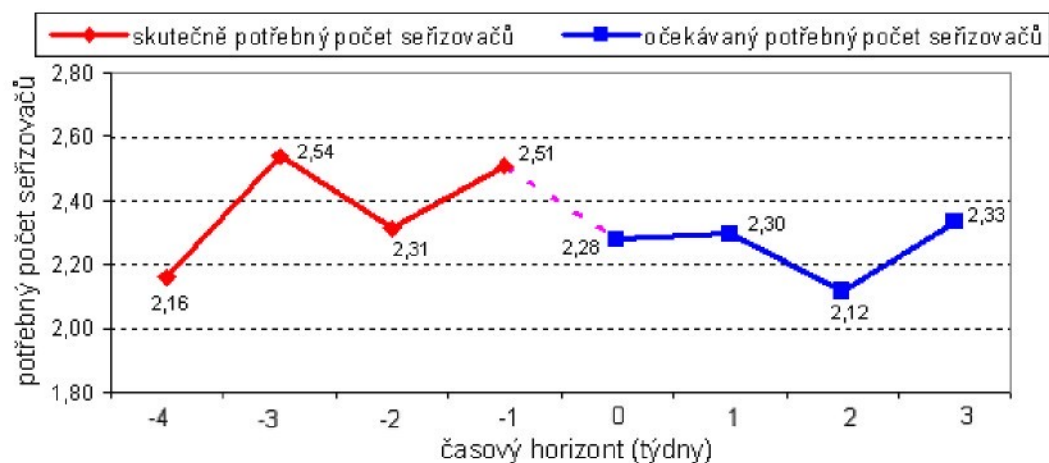
**Tab.I-56 Poměrové koeficienty rozpadu časové řady mezi jednotlivé činnosti**

|            | L1    | L2    | L3    |
|------------|-------|-------|-------|
| <b>M12</b> | 0,056 | 0,042 | 0,042 |
| <b>M3</b>  | 0,024 | 0,018 | 0,018 |
| <b>N12</b> | 0,140 | 0,105 | 0,105 |
| <b>N3</b>  | 0,060 | 0,045 | 0,045 |
| <b>P12</b> | 0,084 | 0,063 | 0,063 |
| <b>P3</b>  | 0,036 | 0,027 | 0,027 |

**Obr. 27 Skutečný a očekávaný objem práce**



**Obr. 28** Skutečná a očekávaná vytíženost skupiny 4 (3) seřizovačů



**Obr. 29** Potřebný počet seřizovačů

**Tab.I-57** Výsledky kapacitního výpočtu

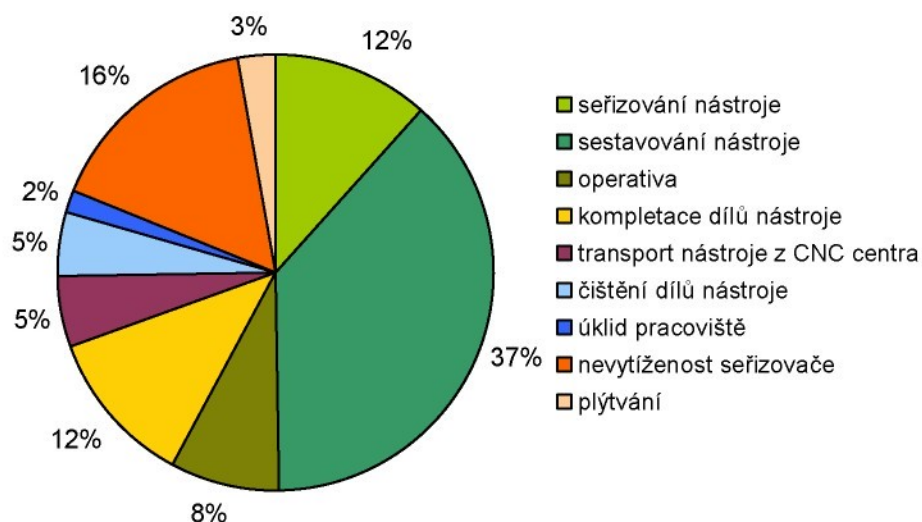
| horizont (týden)                 | -4   | -3   | -2   | -1   | 0    | 1    | 2    | 3    |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pracnost (hod)                   | 333  | 391  | 356  | 386  | 351  | 354  | 326  | 359  |
| vytíženost skupiny 4 seřizovačů  | 54%  | 63%  | 58%  | 63%  | 57%  | 57%  | 53%  | 58%  |
| vytíženost skupiny 3 seřizovačů  | 72%  | 85%  | 77%  | 84%  | 76%  | 77%  | 71%  | 78%  |
| potřebný počet seřizovačů        | 2,16 | 2,54 | 2,31 | 2,51 | 2,28 | 2,30 | 2,12 | 2,33 |
| reálný potřebný počet seřizovačů | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |

## Příloha II: Příloha k experimentu B

### II-1 Struktura práce seřizovače nástrojů pro obráběcí CNC centra

**Tab. II-1** Tabulka časů jednotlivých činností – výstup ze čtyř snímků pracovního dne

| č. | činnost                         | hh:mm:ss | min    | %   |
|----|---------------------------------|----------|--------|-----|
| 1  | Seřizování nástroje             | 3:31:25  | 211,42 | 12% |
| 2  | Sestavování nástroje            | 11:21:21 | 681,35 | 38% |
| 3  | Operativa                       | 2:26:21  | 146,34 | 8%  |
| 4  | Kompletace dílů nástroje        | 3:29:05  | 209,08 | 12% |
| 5  | Transport nástroje z CNC centra | 1:37:49  | 97,82  | 5%  |
| 6  | Čištění dílů nástroje           | 1:24:27  | 84,45  | 5%  |
| 7  | Úklid pracoviště                | 0:31:22  | 31,37  | 2%  |
| 8  | Nevytíženost seřizovače         | 4:49:56  | 289,93 | 16% |
| 9  | Plýtvání                        | 0:48:15  | 48,26  | 3%  |



**Obr. II-1** Struktura pracovních činností seřizovače nástrojů pro obráběcí CNC centra

## II-2 Časové studie

### II-2.1 Sestavení nástroje

**Tab. II-2** Časy sestavení dvojic dílů nástrojů v sekundách

| spojení čepu se základním držákem | upnutí do kleštiny | upnutí do držáku Weldon s jedním šroubem | upnutí do držáku Weldon se dvěma šrouby | upnutí do držáku Multi Bore | upnutí do držáku Capto | axiální upnutí držáku VBD čelní frézy pomocí šroubu | zašroubování stopkové frézy | montáž 1 VBD čelní frézy |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 18                                | 24                 | 15                                       | 23                                      | 28                          | 37                     | 27                                                  | 17                          | 23                       |
| 17                                | 34                 | 13                                       | 26                                      | 27                          | 40                     | 30                                                  | 16                          | 30                       |
| 19                                | 29                 | 17                                       | 25                                      | 24                          | 38                     | 29                                                  | 20                          | 27                       |
| 16                                | 32                 | 15                                       | 19                                      | 27                          | 35                     | 28                                                  | 21                          | 25                       |
| 18                                | 31                 | 15                                       | 22                                      | 28                          | 35                     | 29                                                  | 19                          | 26                       |
| 17                                | 33                 | 16                                       | 25                                      | 27                          | 32                     | 24                                                  | 18                          | 23                       |
| 21                                | 27                 | 16                                       | 25                                      | 28                          | 34                     | 31                                                  | 19                          | 30                       |
| 19                                | 27                 | 16                                       | 22                                      | 28                          | 36                     | 26                                                  | 18                          | 26                       |
| 18                                | 27                 | 14                                       | 20                                      | 27                          | 37                     | 29                                                  | 19                          | 28                       |
| 17                                | 24                 | 16                                       | 25                                      | 30                          | 40                     | 28                                                  | 20                          | 24                       |
| 18                                | 32                 | 12                                       | 24                                      | 24                          | 34                     | 29                                                  | 22                          | 32                       |
| 18                                | 26                 | 14                                       | 22                                      | 27                          | 34                     | 27                                                  | 19                          | 25                       |
| 17                                | 28                 | 17                                       | 25                                      | 26                          | 37                     | 31                                                  | 18                          | 22                       |
| 16                                | 31                 | 15                                       | 25                                      | 27                          | 35                     | 26                                                  | 17                          | 24                       |
| 16                                | 31                 | 16                                       | 23                                      | 25                          | 35                     | 26                                                  | 20                          | 26                       |
| 20                                | 24                 | 14                                       | 27                                      | 28                          | 36                     | 25                                                  | 18                          | 27                       |
| 19                                | 30                 | 16                                       | 26                                      | 25                          | 37                     | 25                                                  | 17                          | 24                       |
| 20                                | 28                 | 18                                       | 24                                      | 27                          | 35                     | 29                                                  | 19                          | 21                       |
| 19                                | 29                 | 11                                       | 24                                      | 27                          | 36                     | 24                                                  | 21                          | 20                       |
| 19                                | 33                 | 12                                       | 23                                      | 28                          | 37                     | 27                                                  | 15                          | 25                       |
| 19                                | 23                 | 16                                       | 20                                      | 23                          | 37                     | 29                                                  | 20                          | 23                       |
| 17                                | 25                 | 12                                       | 25                                      | 25                          | 38                     | 25                                                  | 22                          | 28                       |
| 17                                | 27                 | 14                                       | 24                                      | 26                          | 34                     | 31                                                  | 15                          | 30                       |
| 19                                | 30                 | 16                                       | 27                                      | 25                          | 36                     | 26                                                  | 18                          | 24                       |
| 16                                | 31                 | 12                                       | 26                                      | 25                          | 36                     | 29                                                  | 22                          | 27                       |
| 18                                | 26                 | 16                                       | 30                                      | 28                          | 38                     | 26                                                  | 20                          | 24                       |

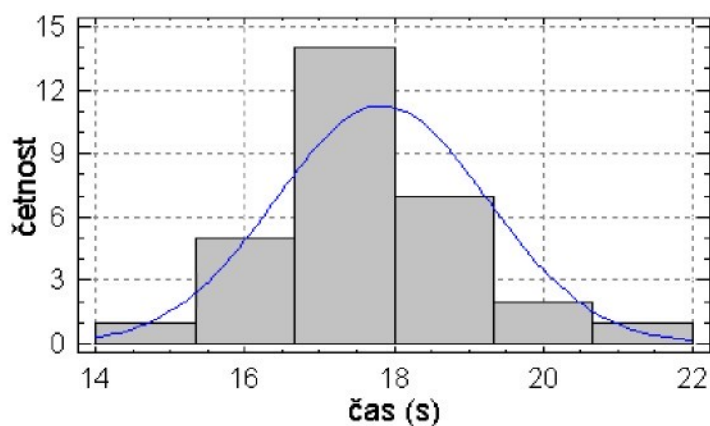
**Tab. II-3a** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení – 1.část

|                     | spojení čepu se základním držákem | upnutí do kleštiny | upnutí do držáku Weldon s jedním šroubem | upnutí do držáku Weldon se dvěma šrouby | upnutí do držáku Multi Bore |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Počet prvků         | 30                                | 30                 | 30                                       | 30                                      | 30                          |
| Střední hodnota     | 17,8333                           | 28,7333            | 14,9333                                  | 23,8667                                 | 26,4                        |
| Směrodatná odchylka | 1,41624                           | 3,11762            | 1,98152                                  | 2,43159                                 | 1,65258                     |
| Variační koeficient | 7,94156%                          | 10,8502%           | 13,2691%                                 | 10,1882%                                | 6,25979%                    |
| Minimum             | 15,0                              | 23,0               | 11,0                                     | 19,0                                    | 23,0                        |
| Maximum             | 21,0                              | 34,0               | 18,0                                     | 30,0                                    | 30,0                        |
| Variační rozpětí    | 6,0                               | 11,0               | 7,0                                      | 11,0                                    | 7,0                         |
| Koef. šikmosti      | 0,18096                           | -0,40333           | -0,862389                                | -0,0077126                              | -0,347055                   |
| Koef. špičatosti    | -0,413517                         | -1,22822           | -0,835532                                | 0,367079                                | -0,669306                   |
| DPLUS               | 0,121873                          | 0,110889           | 0,130609                                 | 0,120575                                | 0,168214                    |
| DMINUS              | 0,146843                          | 0,13307            | 0,204819                                 | 0,146092                                | 0,208391                    |
| DN                  | 0,146843                          | 0,13307            | 0,204819                                 | 0,146092                                | 0,208391                    |
| P-hodnota           | 0,554117                          | 0,662814           | 0,161438                                 | 0,561713                                | 0,147745                    |

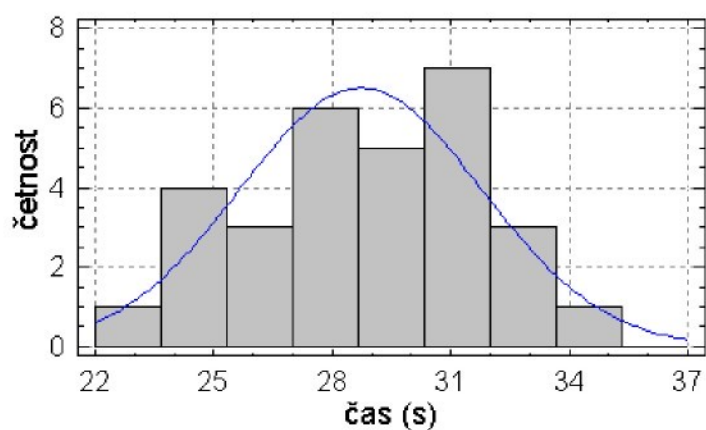
**Tab. II-3b** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení – 2.část

|                     | upnutí do držáku Capto | axiální upnutí držáku VBD čelní frézy pomocí šroubu | zašroubování stopkové frézy | montáž 1 VBD čelní frézy |
|---------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Počet prvků         | 30                     | 30                                                  | 30                          | 30                       |
| Střední hodnota     | 35,9667                | 27,3                                                | 19,0667                     | 25,4                     |
| Směrodatná odchylka | 2,10882                | 2,30666                                             | 1,99885                     | 2,82355                  |
| Variační koeficient | 5,86327%               | 8,44931%                                            | 10,4835%                    | 11,1163%                 |
| Minimum             | 32,0                   | 23,0                                                | 15,0                        | 20,0                     |
| Maximum             | 40,0                   | 31,0                                                | 23,0                        | 32,0                     |
| Variační rozpětí    | 8,0                    | 8,0                                                 | 8,0                         | 12,0                     |
| Koef. šikmosti      | -0,265173              | -0,0718902                                          | -0,40532                    | 0,912508                 |
| Koef. špičatosti    | -0,181791              | -1,17435                                            | -0,191736                   | -0,0246439               |
| DPLUS               | 0,112064               | 0,0914465                                           | 0,120272                    | 0,0977046                |
| DMINUS              | 0,12127                | 0,132931                                            | 0,120027                    | 0,0701818                |
| DN                  | 0,12127                | 0,132931                                            | 0,120272                    | 0,0977046                |
| P-hodnota           | 0,769665               | 0,664104                                            | 0,77833                     | 0,936941                 |

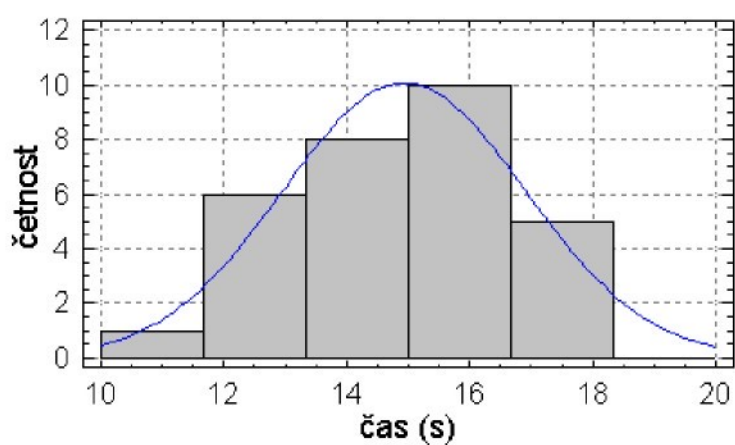




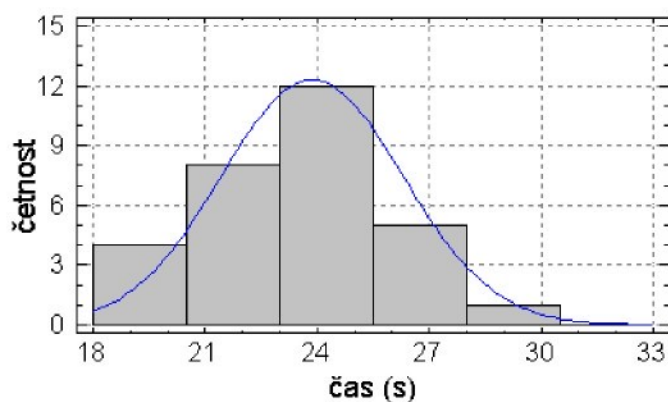
**Obr. II-2** Spojení čepu se základním držákem – foto; histogram časů sestavení



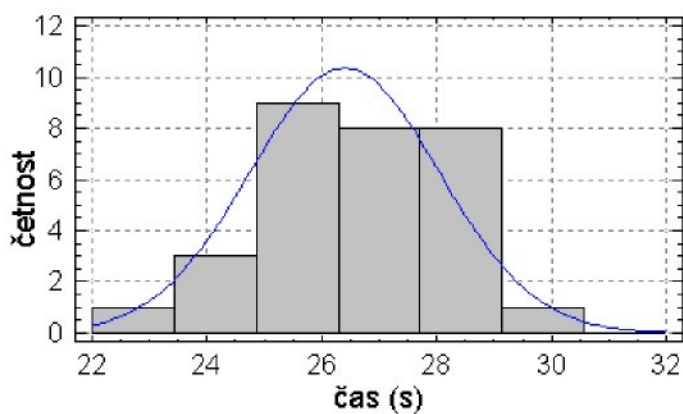
**Obr. II-3** Upnutí do kleštiny – foto; histogram časů sestavení



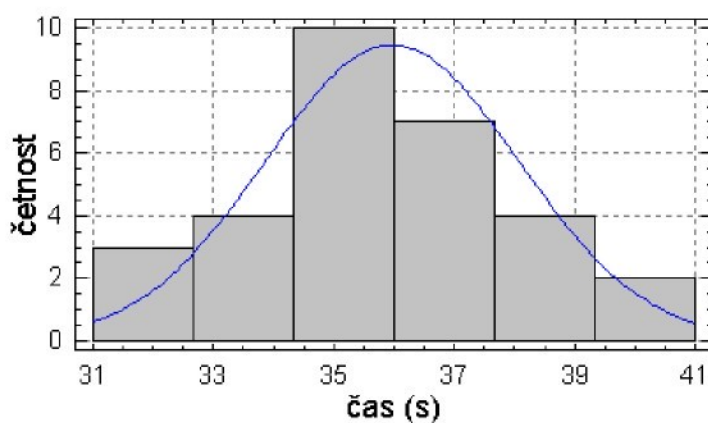
**Obr. II-4** Upnutí do držáku Weldon s jedním šroubem – foto; histogram časů sestavení



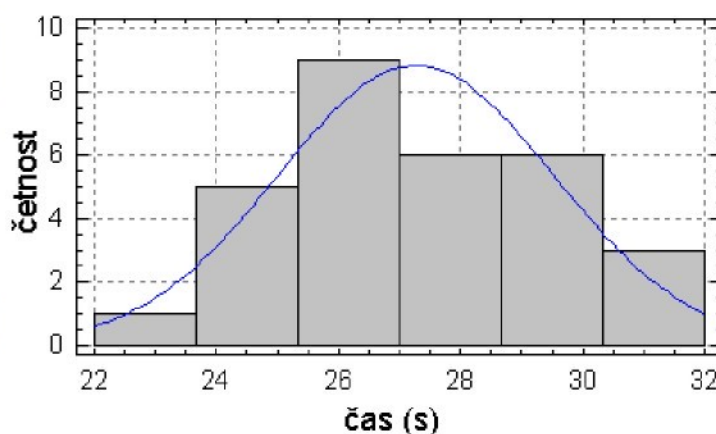
**Obr. II-5** Upnutí do držáku Weldon se dvěma šrouby – foto; histogram časů sestavení



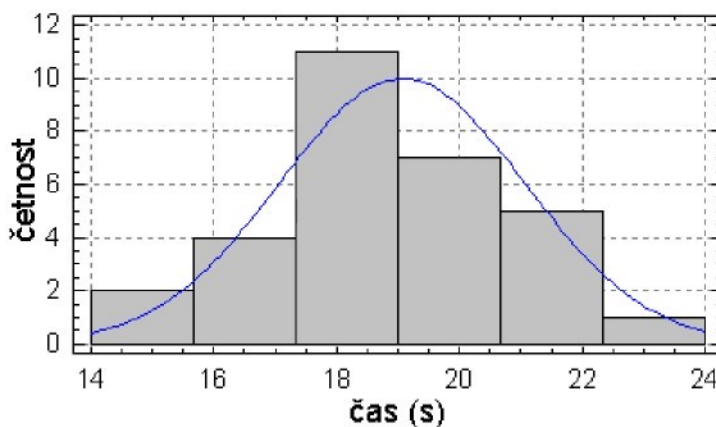
**Obr. II-6** Upnutí do držáku Multi Bore – foto; histogram časů sestavení



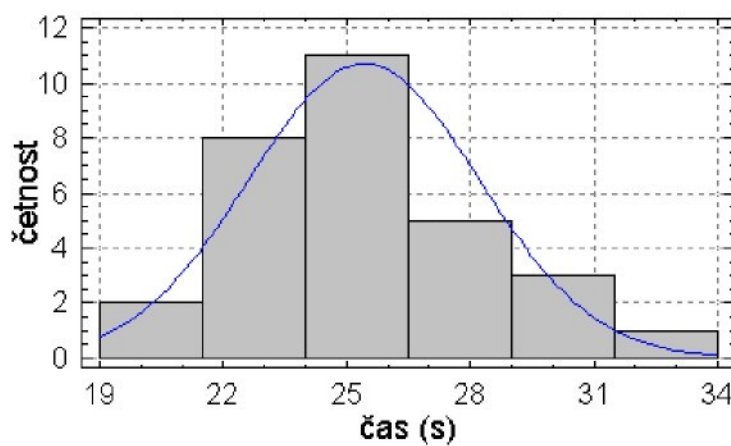
**Obr. II-7** Upnutí do držáku Capto – foto; histogram časů sestavení



**Obr. II-8** Axiální upnutí držáku VBD čelní frézy šroubem – foto; histogram časů sestavení



**Obr. II-9** Zašroubování stopkové frézy – foto; histogram časů sestavení



**Obr. II-10** Montáž jedné VBD čelní frézy – foto; histogram časů sestavení

## II-2.2 Seřízení nástroje

### 1) Odměření nulového bodu vrtáku

**Tab. II-4 Časy odměření nulového bodu vrtáku v sekundách**

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 21 | 21 | 32 | 20 | 23 | 23 | 27 | 22 | 21 | 22 |
| 25 | 23 | 23 | 21 | 20 | 24 | 20 | 22 | 20 | 23 |
| 25 | 25 | 21 | 25 | 39 | 24 | 35 | 20 | 18 | 19 |
| 24 | 19 | 34 | 20 | 18 | 35 | 36 | 34 | 17 | 23 |
| 22 | 26 | 22 | 37 | 33 | 23 | 26 | 22 | 24 | 22 |

**Tab. II-5 Základní statistické charakteristiky**

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 50       |
| Průměr              | 24,42    |
| Směrodatná odchylka | 5,50358  |
| Variační koeficient | 22,5372% |
| Minimum             | 17,0     |
| Maximum             | 39,0     |
| Variační rozpětí    | 22,0     |
| Koef. šikmosti      | 3,59639  |
| Koef. špičatosti    | 0,846021 |

**Tab. II-6 Frekvenční tabulka**

|              | <i>dolní</i>   | <i>horní</i>   |              |                | <i>relativní</i> | <i>kumulativní</i> | <i>relat. kumul.</i> |
|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| <i>třída</i> | <i>hranice</i> | <i>hranice</i> | <i>střed</i> | <i>četnost</i> | <i>četnost</i>   | <i>četnost</i>     | <i>četnost</i>       |
|              | Na nebo pod    | 18,0           |              | 0              | 0,0000           | 0                  | 0,0000               |
| 1            | 15,0           | 17,3077        | 16,1538      | 1              | 0,0200           | 1                  | 0,0200               |
| 2            | 17,3077        | 19,6154        | 18,4615      | 4              | 0,0800           | 5                  | 0,1000               |
| 3            | 19,6154        | 21,9231        | 20,7692      | 11             | 0,2200           | 16                 | 0,3200               |
| 4            | 21,9231        | 24,2308        | 23,0769      | 18             | 0,3600           | 34                 | 0,6800               |
| 5            | 24,2308        | 26,5385        | 25,3846      | 6              | 0,1200           | 40                 | 0,8000               |
| 6            | 26,5385        | 28,8462        | 27,6923      | 1              | 0,0200           | 41                 | 0,8200               |
| 7            | 28,8462        | 31,1538        | 30,0         | 0              | 0,0000           | 41                 | 0,8200               |
| 8            | 31,1538        | 33,4615        | 32,3077      | 2              | 0,0400           | 43                 | 0,8600               |
| 9            | 33,4615        | 35,7692        | 34,6154      | 4              | 0,0800           | 47                 | 0,9400               |
| 10           | 35,7692        | 38,0769        | 36,9231      | 2              | 0,0400           | 49                 | 0,9800               |
| 11           | 38,0769        | 40,3846        | 39,2308      | 1              | 0,0200           | 50                 | 1,0000               |
| 12           | 40,3846        | 42,6923        | 41,5385      | 0              | 0,0000           | 50                 | 1,0000               |
| 13           | 42,6923        | 45,0           | 43,8462      | 0              | 0,0000           | 50                 | 1,0000               |
|              | nad            | 45,0           |              | 0              | 0,0000           | 50                 | 1,0000               |

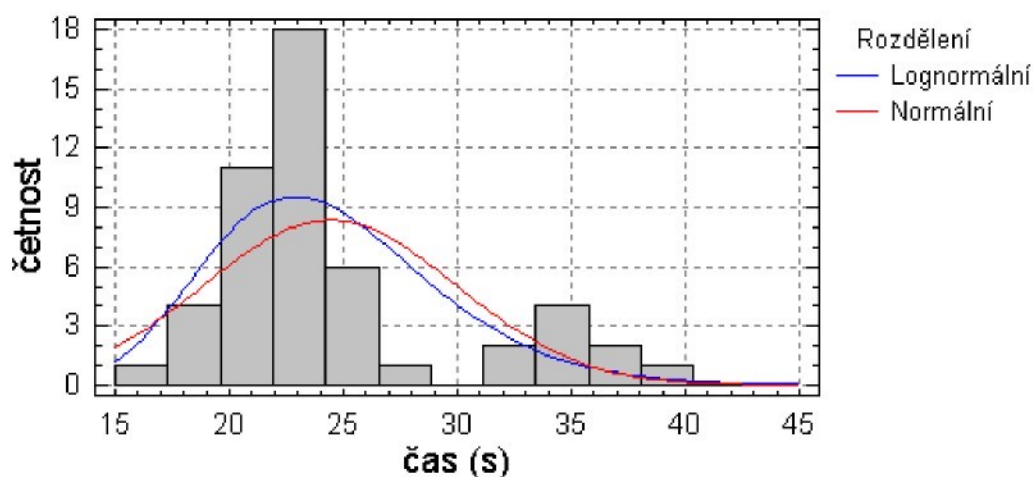
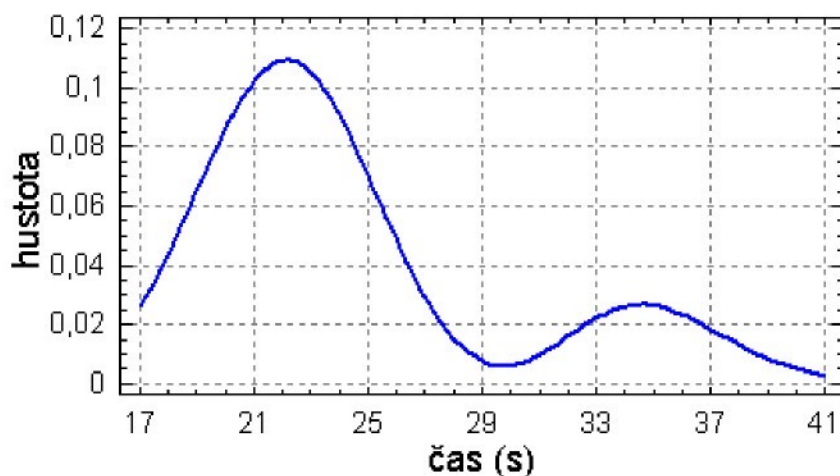
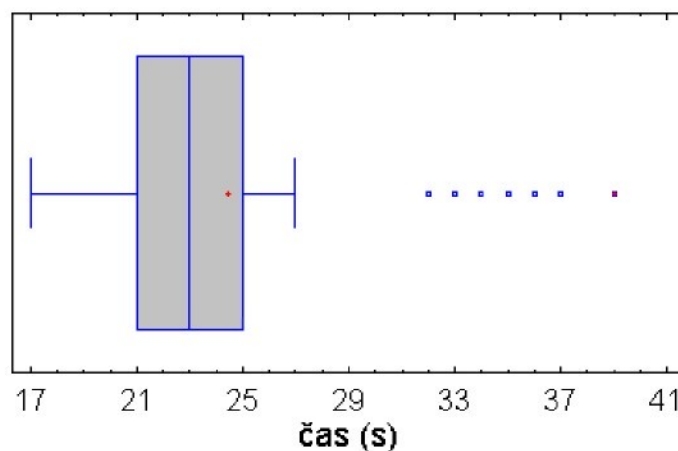
Střední hodnota = 26,1413 Směrodatná odchylka = 4,63409

**Tab. II-7 Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody**

|           | <i>Lognormální</i> | <i>Normální</i> |
|-----------|--------------------|-----------------|
| DPLUS     | 0,172965           | 0,218032        |
| DMINUS    | 0,102092           | 0,110953        |
| DN        | 0,172965           | 0,218032        |
| P-hodnota | 0,100411           | 0,017238        |

**Tab. II-8** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |         |
|---------------------------------------------|---------|
| střední hodnota                             | 24,4003 |
| směrodatná odchylka                         | 5,07997 |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 3,17338 |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,20599 |

**Obr. II-11** Histogram časů odměření nulového bodu vrtáku**Obr. II-12** Křivka hustoty výskytu časů odměření nulového bodu vrtáku**Obr. II-13** Krabicový diagram časů odměření nulového bodu vrtáku

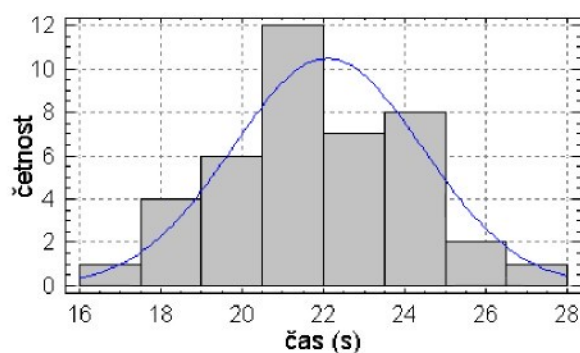


## Analýza rozdělených dat

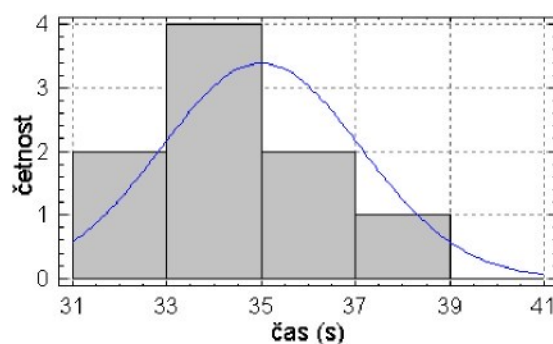
Původní výběrový soubor byl rozdělen podle výskytu chyby na dva soubory, které byly analyzovány jednotlivě.

**Tab. II-9** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení

|                     | bez výskytu chyby | s výskytem chyby |
|---------------------|-------------------|------------------|
| Počet prvků         | 41                | 9                |
| Střední hodnota     | 22,10             | 35,0             |
| Směrodatná odchylka | 2,343             | 2,121            |
| Variační koeficient | 10,60%            | 6,06%            |
| Minimum             | 17,0              | 32,0             |
| Maximum             | 27,0              | 39,0             |
| Variační rozpětí    | 10,0              | 7,0              |
| Koef. šikmosti      | -0,129851         | 0,742307         |
| Koef. špičatosti    | -0,544046         | 0,213844         |
| DPLUS               | 0,0829527         | 0,166667         |
| DMINUS              | 0,0931473         | 0,0964521        |
| DN                  | 0,0931473         | 0,166667         |
| P-hodnota           | 0,86897           | 0,963945         |

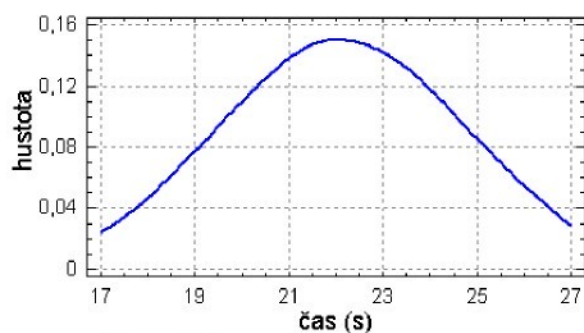


a) bez výskytu chyby

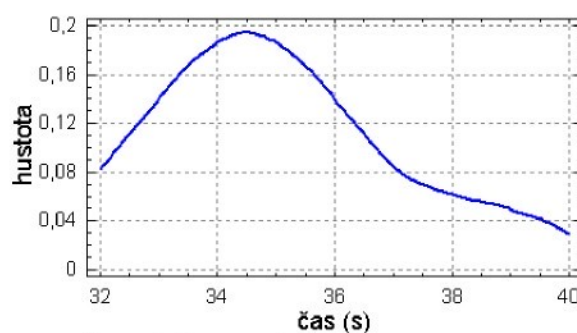


b) s výskytem chyby

**Obr. II-14** Histogramy časů odměření nulového bodu vrtáku



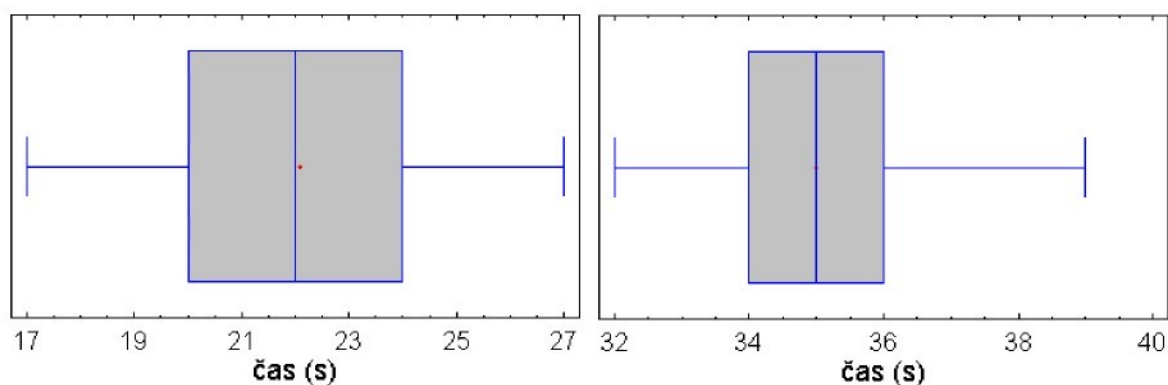
a) bez výskytu chyby



b) s výskytem chyby

**Obr. II-15** Křivky hustoty výskytu časů odměření nulového bodu vrtáku





a) bez výskytu chyby

b) s výskytem chyby

**Obr. II-16** Krabicové diagramy odměření nulového bodu vrtáku

## 2) Nastavení požadovaného průměru vyvrt. tyče pro obrábění na hrubo

**Tab. II-10** Časy seřízení vyvrtávací tyče na požadovaný průměr v sekundách

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 81 | 97 | 77 | 79 | 72 | 79 | 81 | 79 | 78 | 80  |
| 75 | 98 | 79 | 90 | 74 | 81 | 71 | 70 | 74 | 76  |
| 83 | 73 | 75 | 74 | 74 | 76 | 76 | 81 | 73 | 100 |
| 77 | 71 | 70 | 75 | 96 | 66 | 82 | 80 | 94 | 80  |
| 70 | 76 | 72 | 81 | 92 | 76 | 76 | 84 | 96 | 76  |

**Tab. II-11** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 50       |
| Průměr              | 79,32    |
| Směrodatná odchylka | 8,10251  |
| Variační koeficient | 10,215%  |
| Minimum             | 66,0     |
| Maximum             | 100,0    |
| Variační rozpětí    | 34,0     |
| Koef. šikmosti      | 3,27946  |
| Koef. špičatosti    | 0,961607 |

**Tab. II-12** Frekvenční tabulka

|       | dolní       | horní   |         |         | relativní | kumulativní | relat. kumul. |
|-------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-------------|---------------|
| třída | hranice     | hranice | střed   | četnost | četnost   | četnost     | četnost       |
|       | na nebo pod | 64,0    |         | 0       | 0,0000    | 0           | 0,0000        |
| 1     | 64,0        | 69,7143 | 66,8571 | 1       | 0,0200    | 1           | 0,0200        |
| 2     | 69,7143     | 75,4286 | 72,5714 | 16      | 0,3200    | 17          | 0,3400        |
| 3     | 75,4286     | 81,1429 | 78,2857 | 22      | 0,4400    | 39          | 0,7800        |
| 4     | 81,1429     | 86,8571 | 84,0    | 3       | 0,0600    | 42          | 0,8400        |
| 5     | 86,8571     | 92,5714 | 89,7143 | 2       | 0,0400    | 44          | 0,8800        |
| 6     | 92,5714     | 98,2857 | 95,4286 | 5       | 0,1000    | 49          | 0,9800        |
| 7     | 98,2857     | 104,0   | 101,143 | 1       | 0,0200    | 50          | 1,0000        |

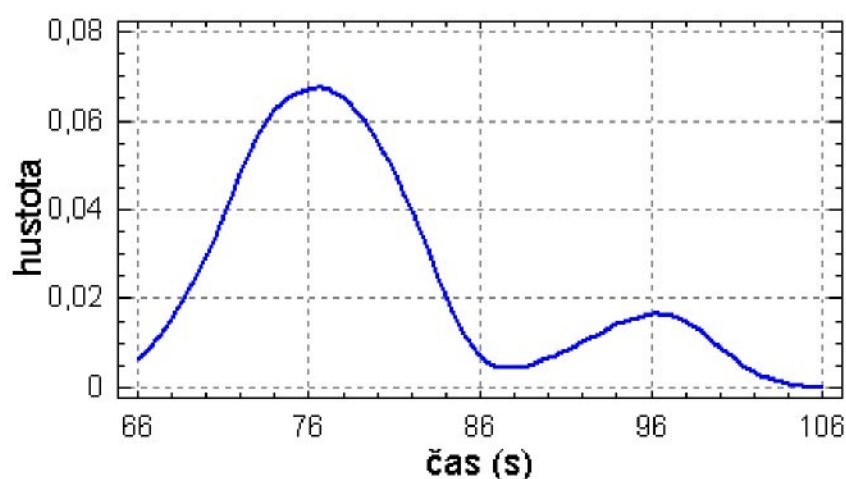
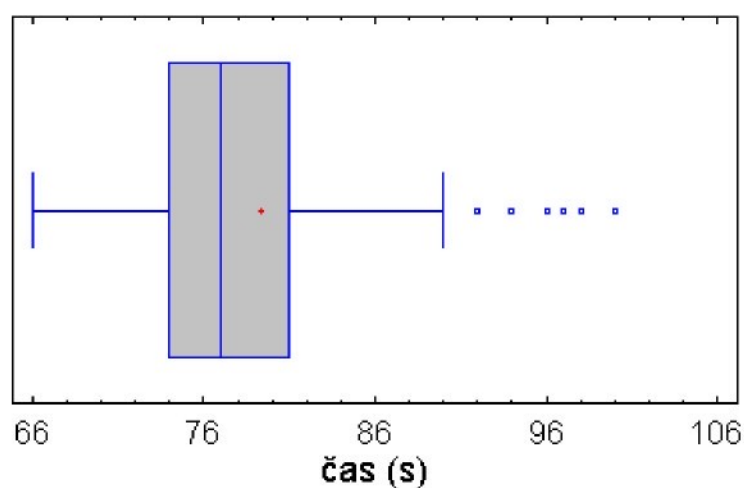
Střední hodnota = 79,32    Směrodatná odchylka = 8,10251

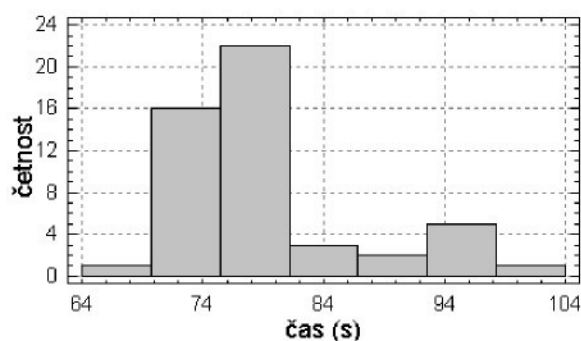
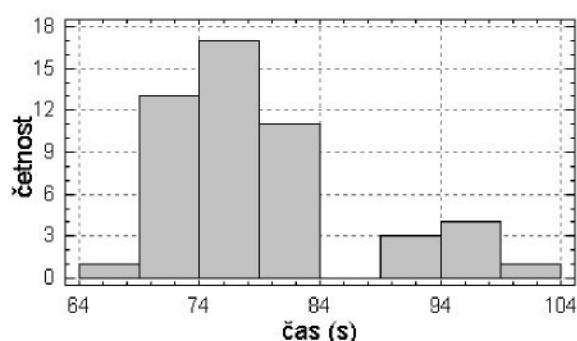
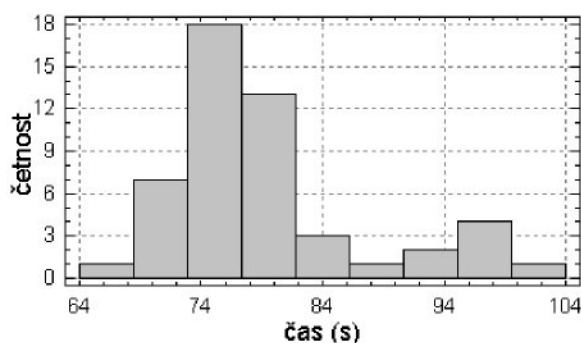
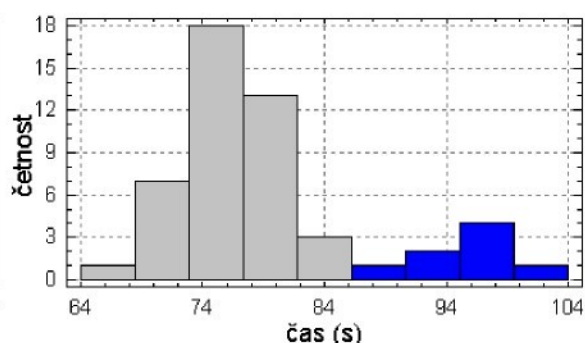
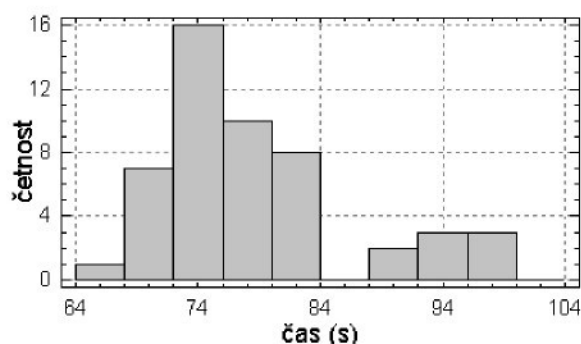
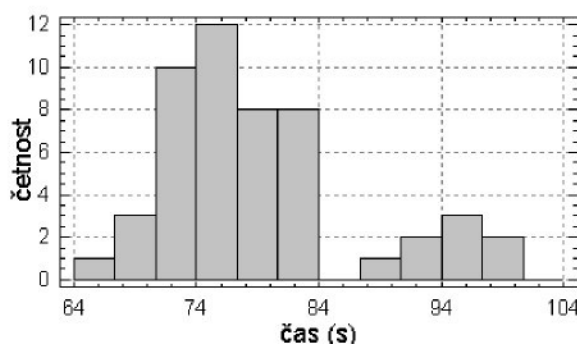
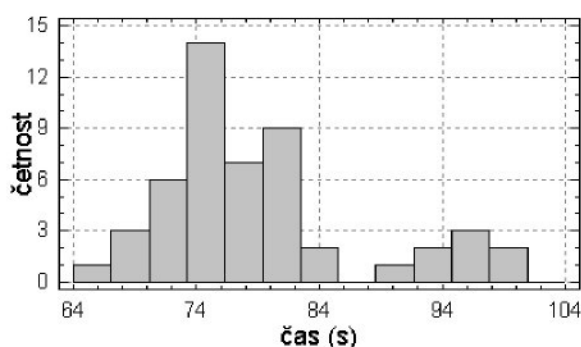
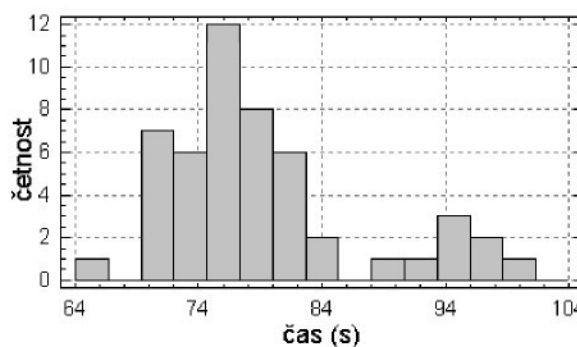
**Tab. II-13** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           | Lognormální | Normální |
|-----------|-------------|----------|
| DPLUS     | 0,175956    | 0,197869 |
| DMINUS    | 0,089294    | 0,105018 |
| DN        | 0,175956    | 0,197869 |
| P-hodnota | 0,090460    | 0,039873 |

**Tab. II-14** Parametry lognormálního rozdělení

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| střední hodnota                             | 79,32    |
| směrodatná odchylka                         | 7,76665  |
| střední hodnota v logaritmickém měřítku     | 4,36868  |
| směrodatná odchylka v logaritmickém měřítku | 0,097686 |

**Obr. II-17** Křivka hustoty výskytu časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr**Obr. II-18** Krabicový diagram časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr

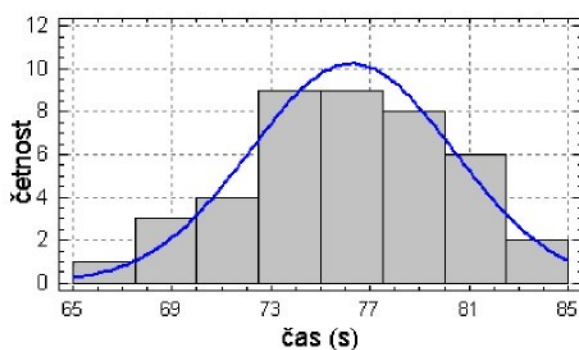
a) počet tříd  $k=7$ b) počet tříd  $k=8$ c) počet tříd  $k=9$ d) počet tříd  $k=9$ , rozlišení abnormalitye) počet tříd  $k=10$ f) počet tříd  $k=12$ g) počet tříd  $k=13$ h) počet tříd  $k=15$ 

**Obr. II-19** Histogramy časů seřízení vyvrtávací tyče s různým počtem tříd ( $k$ ) – vliv zvoleného počtu tříd histogramu na možnost identifikace abnormality

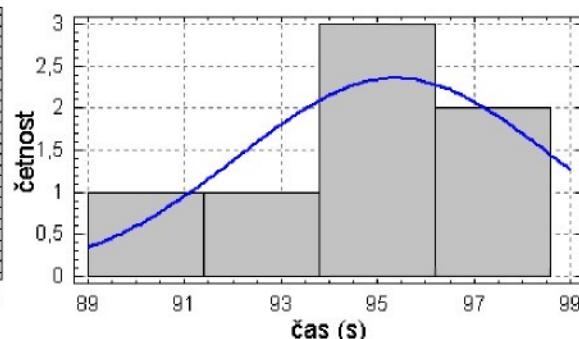
## Analýza rozdělených dat

**Tab. II-15** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení

|                     | bez výskytu chyby | s výskytem chyby |
|---------------------|-------------------|------------------|
| Počet prvků         | 42                | 8                |
| Střední hodnota     | 76,2619           | 95,375           |
| Směrodatná odchylka | 4,09675           | 3,24863          |
| Variační koeficient | 5,37195%          | 3,40616%         |
| Minimum             | 66,0              | 90,0             |
| Maximum             | 84,0              | 100,0            |
| Variační rozpětí    | 18,0              | 10,0             |
| Koef. šikmosti      | -0,640956         | -0,478134        |
| Koef. špičatosti    | -0,522989         | -0,19811         |
| DPLUS               | 0,0969183         | 0,100575         |
| DMINUS              | 0,105191          | 0,201284         |
| DN                  | 0,105191          | 0,201284         |
| P-hodnota           | 0,741415          | 0,902123         |

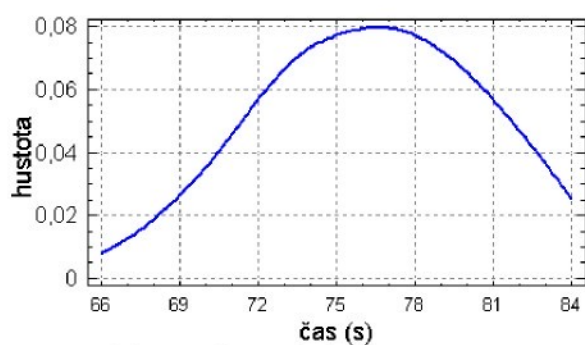


a) bez výskytu chyby

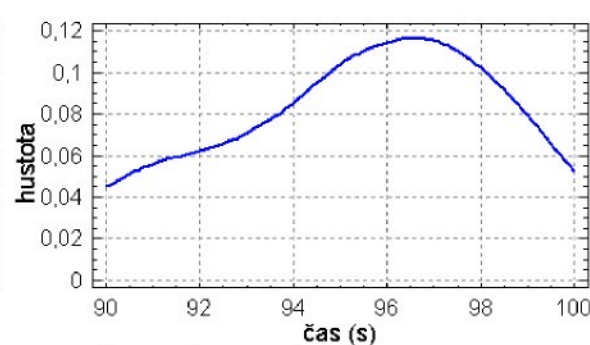


b) s výskytem chyby

**Obr. II-20** Histogramy časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr

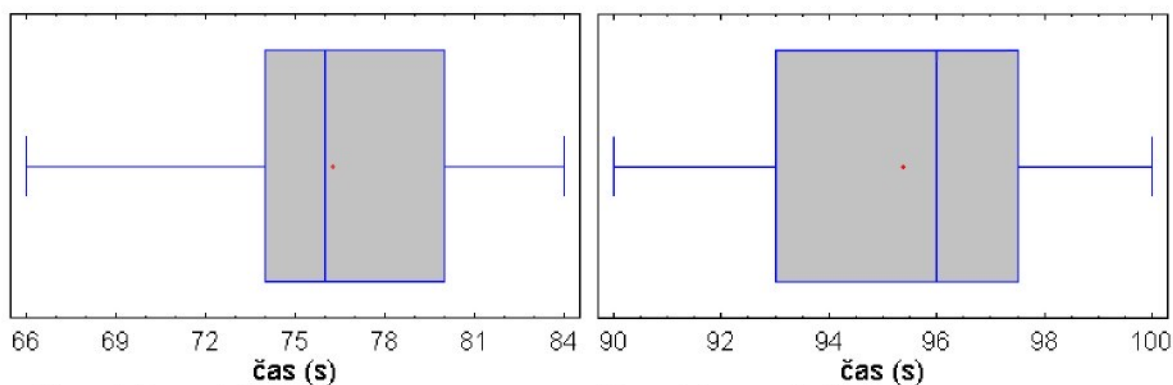


a) bez výskytu chyby



b) s výskytem chyby

**Obr. II-21** Křivky hustoty výskytu časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr



**Obr. II-22** Krabicové diagramy časů seřízení vyvrtávací tyče na pořadovaný průměr

### 3) Nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrt. tyče pro tvorbu úkosů

**Tab. II-16** Časy nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 74  | 66  | 70  | 62  | 71  | 70  | 141 | 196 | 75  | 75  |
| 70  | 74  | 135 | 71  | 74  | 69  | 142 | 77  | 201 | 75  |
| 215 | 147 | 71  | 76  | 66  | 137 | 143 | 141 | 76  | 134 |
| 68  | 67  | 74  | 144 | 133 | 76  | 129 | 71  | 67  | 75  |
| 130 | 69  | 71  | 140 | 75  | 77  | 147 | 136 | 71  | 69  |
| 204 | 78  | 71  | 76  | 64  | 70  | 211 | 132 | 142 | 70  |

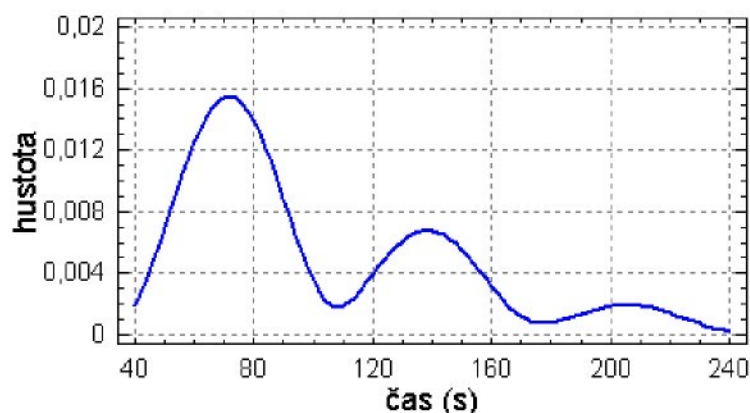
**Tab. II-17** Základní statistické charakteristiky

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Počet prvků         | 60       |
| Průměr              | 101,683  |
| Směrodatná odchylka | 43,6475  |
| Variační koeficient | 42,9249% |
| Minimum             | 62,0     |
| Maximum             | 215,0    |
| Variační rozpětí    | 153,0    |
| Koef. šikmosti      | 3,64328  |
| Koef. špičatosti    | 0,425356 |

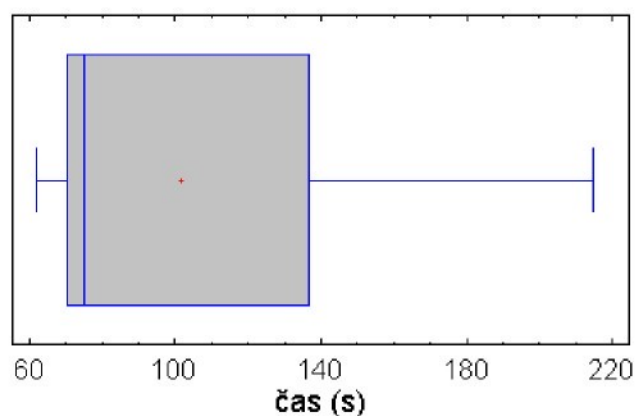
**Tab. II-18** Výsledky Kolmogorov-Smirnova testu dobré shody

|           |             |
|-----------|-------------|
|           | Lognormální |
| DPLUS     | 0,322208    |
| DMINUS    | 0,162562    |
| DN        | 0,322208    |
| P-hodnota | 0,000008    |

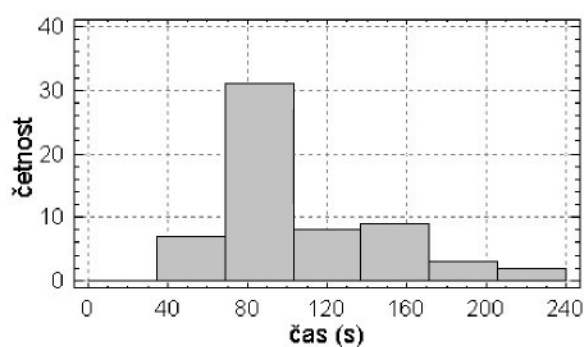




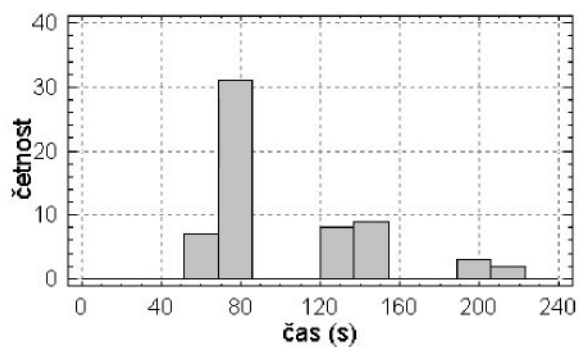
**Obr. II-23** Křivka hustoty výskytu časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrtávací tyče



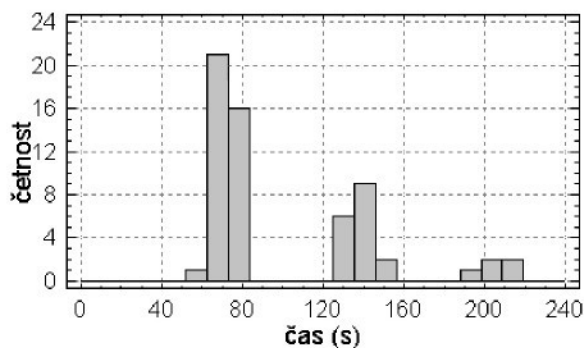
**Obr. II-24** Krabicový diagram výskytu časů nastavení požadovaného úhlu VBD vyvrt. tyče



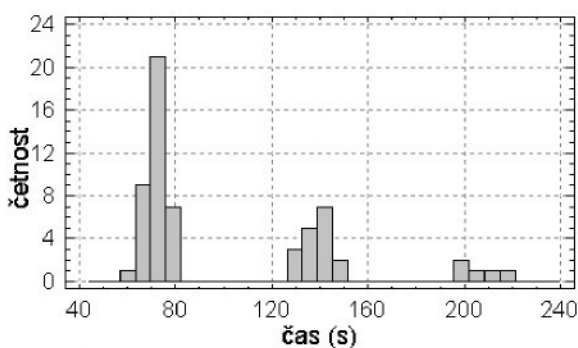
a) počet tříd  $k=7$



b) počet tříd  $k=14$



c) počet tříd  $k=23$



d) počet tříd  $k=38$

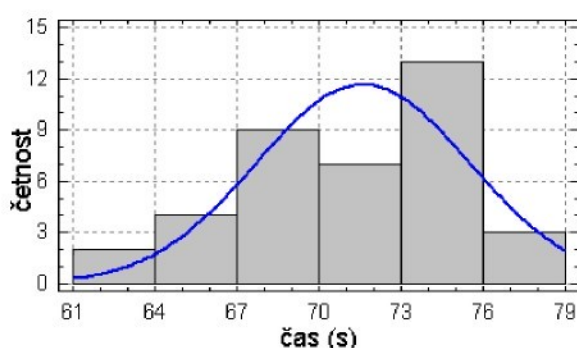
**Obr. II-25** Histogramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče



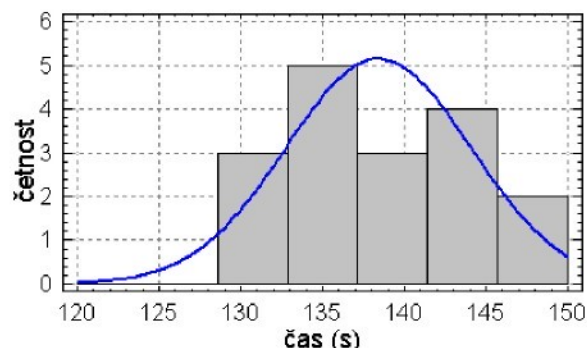
## Analýza rozdělených dat

**Tab. II-19** Základní statistické charakteristiky explorativní analýzy a K-S testů dobré shody pro normální rozdělení

|                     | bez výskytu chyby | s výskytem jedné chyby | s výskytem dvou chyb |
|---------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| Počet prvků         | 38                | 17                     | 5                    |
| Střední hodnota     | 71,6053           | 138,412                | 205,4                |
| Směrodatná odchylka | 3,89414           | 5,64645                | 7,63544              |
| Variační koeficient | 5,43834%          | 4,07946%               | 3,71735%             |
| Minimum             | 62,0              | 129,0                  | 196,0                |
| Maximum             | 78,0              | 147,0                  | 215,0                |
| Variační rozpětí    | 16,0              | 18,0                   | 19,0                 |
| Koef. šikmosti      | -1,00939          | -0,214808              | 0,121198             |
| Koef. špičatosti    | -0,496135         | -0,915346              | -0,686529            |
| DPLUS               | 0,140708          | 0,0800979              | 0,172743             |
| DMINUS              | 0,151763          | 0,147251               | 0,168351             |
| DN                  | 0,151763          | 0,147251               | 0,172743             |
| P-hodnota           | 0,348305          | 0,8547                 | x                    |

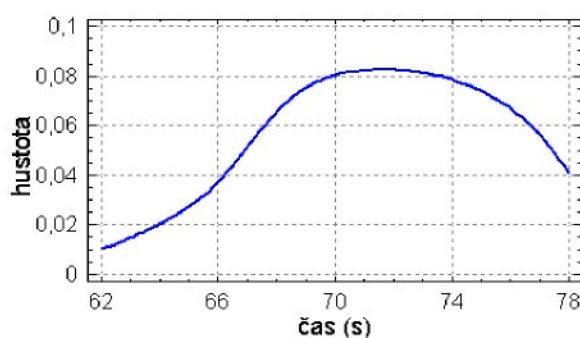


a) bez výskytu chyby

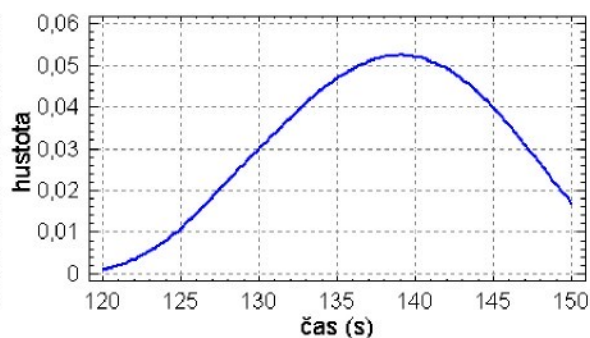


b) s výskytem jedné chyby

**Obr. II-26** Histogramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče

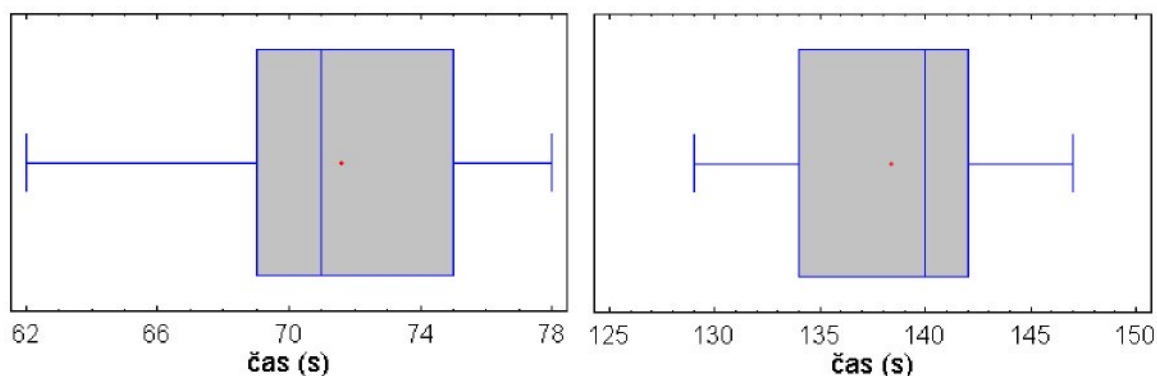


a) bez výskytu chyby



b) s výskytem jedné chyby

**Obr. II-27** Křivky hustoty výskytu časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče



a) bez výskytu chyby

b) s výskytem jedné chyby

**Obr. II-28** Krabicové diagramy časů nastavení úhlu VBD vyvrtávací tyče**Zkrácené náměry dalších operací sestavení dílů nástroje****Tab. II-20** Časy montáže redukce závitníku

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 32 | 40 | 42 | 35 | 38 | 34 | 37 | 37 | 34 | 32 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Parametry normálního rozdělení:  $\mu = 36,1$ ,  $\sigma = 3,31$ .**Tab. II-21** Časy montáže korunky vrtáku KSEM

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 32 | 31 | 24 | 31 | 35 | 28 | 31 | 36 | 31 | 34 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Parametry normálního rozdělení:  $\mu = 31,3$ ,  $\sigma = 3,47$ .**Zkrácené náměry dalších seřizovacích operací****Tab. II-22** Časy nastavení požadovaného průměru vyvrtávací tyče pro obrábění na čisto

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 66 | 57 | 60 | 78 | 57 | 59 | 58 | 55 | 55 | 70 |
| 57 | 75 | 60 | 58 | 62 | 72 | 53 | 53 | 55 | 56 |

Parametry:  $\mu_1 = 57,6$ ,  $\sigma_1 = 3,42$ ,  $\mu_2 = 73,4$ ,  $\sigma_2 = 3,54$ ;  $p = 0,20$ .**Tab. II-23** Časy nastavení nulového bodu čelní frézy s 8-mi VBD

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 50 | 46 | 58 | 46 | 41 | 45 | 49 | 45 | 49 | 49 |
| 42 | 50 | 45 | 48 | 50 | 62 | 40 | 44 | 65 | 50 |

Parametry:  $\mu_1 = 46,4$ ,  $\sigma_1 = 3,24$ ,  $\mu_2 = 61,3$ ,  $\sigma_2 = 3,51$ ;  $p = 0,15$ .**Tab. II-24** Časy nastavení nulového bodu stopkové frézy se čtyřmi břity

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 29 | 30 | 48 | 34 | 36 | 32 | 33 | 30 | 36 | 28 |
| 29 | 33 | 47 | 29 | 45 | 30 | 27 | 41 | 34 | 31 |

Parametry:  $\mu_1 = 31,4$ ,  $\sigma_1 = 2,82$ ,  $\mu_2 = 45,3$ ,  $\sigma_2 = 3,10$ ;  $p = 0,20$ .

## Stanovení časové náročnosti sestavení a seřízení nástroje

**Tab. II-25** Parametry rozdělení dob přípravy nástrojů

| č. | typový nástroj             | konstrukce upnutí                                        | z      | $\mu_1$ | $\sigma_1$ | $\mu_2$ | $\sigma_2$ |
|----|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------|---------|------------|---------|------------|
| 1  | vrták                      | Kleštinový držák                                         | 0,1306 | 104,0   | 4,85       | 116,9   | 4,75       |
|    |                            | Držák Weldon s jedním šroubem                            | 0,0979 | 79,8    | 3,85       | 92,7    | 3,72       |
|    |                            | Držák Weldon s dvěma šrouby                              | 0,0653 | 95,5    | 4,24       | 108,4   | 4,12       |
|    |                            | Držák Weldon s jedním šroubem + redukční tyč s kleštinou | 0,0326 | 130,3   | 5,45       | 143,2   | 5,36       |
| 2  | závitník                   | Kleštinový držák                                         | 0,1056 | 104,0   | 4,85       | 116,9   | 4,75       |
|    |                            | Kleštinový držák s redukcí Emuge                         | 0,0132 | 167,6   | 6,39       | 180,5   | 6,32       |
| 3  | vyvrtávací tyč - hrubovací | Systém Multi Bore – 1 redukce                            | 0,0313 | 290,0   | 7,33       | 309,1   | 6,89       |
|    |                            | Systém Multi Bore – 2 redukce                            | 0,0313 | 336,5   | 7,61       | 355,6   | 7,19       |
|    |                            | Systém Capto – 1 redukce                                 | 0,0313 | 323,7   | 7,69       | 342,8   | 7,27       |
|    |                            | Systém Capto – 2 redukce                                 | 0,0313 | 387,0   | 8,13       | 406,1   | 7,74       |
| 4  | vyvrtávací tyč - na čisto  | Systém Multi Bore – 1 redukce                            | 0,0215 | 226,6   | 5,97       | 242,8   | 6,05       |
|    |                            | Systém Multi Bore – 2 redukce                            | 0,0215 | 228,3   | 5,23       | 244,5   | 5,32       |
|    |                            | Systém Capto – 1 redukce                                 | 0,0215 | 260,3   | 6,41       | 276,4   | 6,48       |
|    |                            | Systém Capto – 2 redukce                                 | 0,0215 | 278,9   | 5,96       | 295,1   | 6,04       |
|    |                            | Redukční tyč v držáku weldon                             | 0,0215 | 159,9   | 5,77       | 176,1   | 5,84       |
| 5  | čelní fréza s VBD          | Axiální upnutí držáku VBD šroubem, 8 VBD                 | 0,0875 | 483,5   | 11,09      | 498,4   | 11,15      |
|    |                            | Zašroubovaný držák VBD, 4 VBD                            | 0,0375 | 275,1   | 8,20       | 289,0   | 8,32       |
| 6  | stopková fréza             | Držák Weldon s jedním šroubem                            | 0,0608 | 121,7   | 5,66       | 135,7   | 5,82       |
|    |                            | Držák Weldon se dvěma šrouby                             | 0,0608 | 104,7   | 4,49       | 118,6   | 4,70       |
| 7  | vrták - KSEM               | Držák Weldon se dvěma šrouby                             | 0,0625 | 150,6   | 6,08       | 163,5   | 5,99       |

## II-3 Kapacitní výpočet

### Kapacitní výpočet

Závěrečná podkapitola tohoto experimentu je věnována výpočtu pracnosti, vytíženosti a potřebného počtu seřizovačů. U všech tří výpočtů bude vycházeno ze zjištěné hodnoty týdenní zátěže 292 nástrojů. Z toho důvodu, zde bude pracnost, vytíženost i potřebný počet seřizovačů vyjádřen jako skalár bez predikce hodnot pro další týdny.

#### A) Objem práce (Pracnost)

Celkový týdenní objem práce v hodinách je dán součtem požadovaného počtu pseudonáhodných čísel (očekávané časy v sekundách), který je roznásoben přírážkovým koeficientem a převeden na hodiny. Rovnice pro výpočet pracnosti společně se spočtenou hodnotu pro tento experiment je dána vztahem (II-1).

$$T = \frac{A}{3600} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N \cdot p_j)} t_{i,j} = 28,6 \text{ hodin} \quad (\text{II-1})$$

Kde  $t_{i,j}$  je  $i$ -tý vygenerovaný čas  $j$ -té činnosti v sekundách,  $m$  je počet sledovaných činností,  $N_h$  je počet požadavků práce/týden a  $p_j$  je poměrné četnostní zastoupení  $j$ -té činnosti.

### B) Vytíženost

Procentuální vytíženost stávajícího jednoho seřizovače lze spočítat ze vztahu (II-2). Při týdenním časovém fondu seřizovače  $TF = 37,5 \text{ hod}$  výpočet ukazuje vytíženost seřizovače 76,3 %.

$$P = 100 \cdot \frac{T}{TF} = \frac{A}{36 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N \cdot p_j)} t_{i,j} = 76,3\% \quad (\text{II-2})$$

### C) Kapacity

V tomto případě, kdy je na pracovišti pouze jeden seřizovač, jehož vytíženost vychází 76 % je zřejmé, že kapacitní výpočet potvrdí potřebnost 0,76, tedy jednoho seřizovače. Pro úplnost zde ovšem tento výpočet bude uveden. Potřebný počet seřizovačů je tedy dán vztahem (16).

$$K = \frac{T}{TF} = \frac{A}{36 \cdot TF} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{(N \cdot p_j)} t_{i,j} = 0,76 \quad (\text{II-3})$$

Vypočtená vytíženost a kapacita do značné míry koresponduje a upřesňuje prvotní zjištění 19% plýtvání a nevytíženost a 81% vytížení pracovníka, které bylo zjištěno snímkováním pracovního dne.

## Příloha III: Příloha k experimentu C

### III-1 Náplň práce technologů

Práce technologů spočívá především v přípravě technologických postupů a programů pro výrobu obrobků na obráběcích CNC centrech. Podle stavu zavedení daného dílce do výroby lze práci technologů rozdělit na tvorbu nabídek, přípravu nové výroby, úpravu postupů pro již zaběhlou výrobu a další činnosti. Tyto hlavní skupiny prací v sobě obsahují další dílčí úkoly. Přehled zjištěných činností technologů představuje následující souhrn.

#### Tvorba nabídek

Tvorba nabídek v sobě zahrnuje všechny potřebné úkoly, které jsou potřeba udělat pro stanovení ceny, za kterou je podnik schopný odběrateli zakázku dodat. Počet nabídek zpravidla roste s klesajícím počtem nové, nebo opakované výroby. Zpracování nabídky obsahuje následující dílčí úkoly:

- tvorba technologických postupů a jejich založení do systému SAP,
- výpočet normy spotřeby času,
- ověření dostupnosti materiálu, příp. jeho poptávka,
- ověření případné kooperace včetně ocenění,
- ověření dostupnosti speciálního a komunálního nářadí včetně jeho ocenění,
- výpočet ceny dílců a schválení nabídky (ověření správnosti technologie, a správnosti nákupních cen).

#### Příprava nové výroby

Příprava nové výroby v sobě zahrnuje veškeré úkoly, které je potřeba ze strany oddělení TPV provést k uvedení zakázky do výroby. Mezi tyto úkoly patří:

- založení artiklu do systému SAP,
- upřesnění technologického postupu (doplnění textu, kontrolních činností, předpisu měření, speciálního nářadí),
- převod technologického postupu včetně kusovníku do systému SAP,
- tvorba programu,
- tvorba seřizovacího listu, normalizace (sjednocení) řezných nástrojů,
- dokončení programu u stroje.

#### Převod výroby z kooperace

Jedná se o převzetí zakázek od obchodního partnera do vlastní výroby. S převodem výroby z kooperace jsou pro oddělení TPV spojeny stejné úkoly jako při přípravě nové výroby.

#### Kapacitní převody

Jde o převedení výroby na jiný stroj. To nastává nejčastěji z kapacitních důvodů, kde je potřeba na stávajícím stroji vyrábět jinou zakázku, nebo z důvodů odstávky stroje způsobené poruchou. U kapacitních převodů jsou zpracovávány následující úkoly:

- tvorba programu,
- tvorba seřizovacího listu pro jiný stroj (možné změny v řezném nářadí),
- dokončení programu u stroje,
- možné změny sledu operací a apod. (v tomto případě jako u přípravy nové výroby).

#### Technické změny

Jde o tvorbu technologických postupů, programů a dalších činností jako u přípravy nové výroby. Tyto technologické změny jsou prováděny na základě požadavku na technické změny výrobku.

### Obsluha výroby

Jedná se o operativní řešení problémů ve výrobě, nejčastěji jde o:

- změny technologie, sledu operací apod. (racionalizace),
- technologické zkoušky např. nových řezných nástrojů,
- ověření norem spotřeby času.

### Zvyšování kvalifikace

Mezi další činnosti technologů patří konzultace a zvyšování kvalifikace. Pro fungování kooperace mezi odděleními jsou nutné konzultace konstruktérů s technologi (technologičnost konstrukce přípravků) a na druhé straně konzultace technologů se seřizovači nástrojů a obsluhou stroje (volba vhodných nástrojů a řezných podmínek).

## III-2 Struktura práce technologů

**Tab. III-1** *Struktura práce technologů – všechny snímky (7 dnů)*

| technolog     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | TPV    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>náměrů</b> |       |       |       |       |       |       |       |        |
| VA            | 798   | 1045  | 1016  | 1066  | 816   | 785   | 331   | 5857   |
| NVA           | 123   | 73    | 180   | 155   | 166   | 236   | 129   | 1062   |
| AVA           | 535   | 381   | 320   | 225   | 302   | 410   | 340   | 2513   |
| W             | 81    | 40    | 33    | 77    | 102   | 46    | 34    | 413    |
| PB            | 17    | 15    | 5     | 29    | 107   | 16    | 39    | 228    |
| <b>celkem</b> | 1554  | 1554  | 1554  | 1552  | 1493  | 1493  | 873   | 10073  |
| <b>hh:mm</b>  |       |       |       |       |       |       |       |        |
| VA            | 26:36 | 34:50 | 33:52 | 35:32 | 27:12 | 26:10 | 11:02 | 195:14 |
| NVA           | 4:06  | 2:26  | 6:00  | 5:10  | 5:32  | 7:52  | 4:18  | 35:24  |
| AVA           | 17:50 | 12:42 | 10:40 | 7:30  | 10:04 | 13:40 | 11:20 | 83:46  |
| W             | 2:42  | 1:20  | 1:06  | 2:34  | 3:24  | 1:32  | 1:08  | 13:46  |
| PB            | 0:34  | 0:30  | 0:10  | 0:58  | 3:34  | 0:32  | 1:18  | 7:36   |
| <b>celkem</b> | 51:48 | 51:48 | 51:48 | 51:44 | 49:46 | 49:46 | 29:06 | 335:46 |
| <b>%</b>      |       |       |       |       |       |       |       |        |
| VA            | 51    | 67    | 65    | 69    | 55    | 53    | 38    | 58     |
| NVA           | 8     | 5     | 12    | 10    | 11    | 16    | 15    | 11     |
| AVA           | 34    | 25    | 21    | 14    | 20    | 27    | 39    | 25     |
| W             | 5     | 3     | 2     | 5     | 7     | 3     | 4     | 4      |
| PB            | 1     | 1     | 0     | 2     | 7     | 1     | 4     | 2      |
| <b>celkem</b> | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100    |



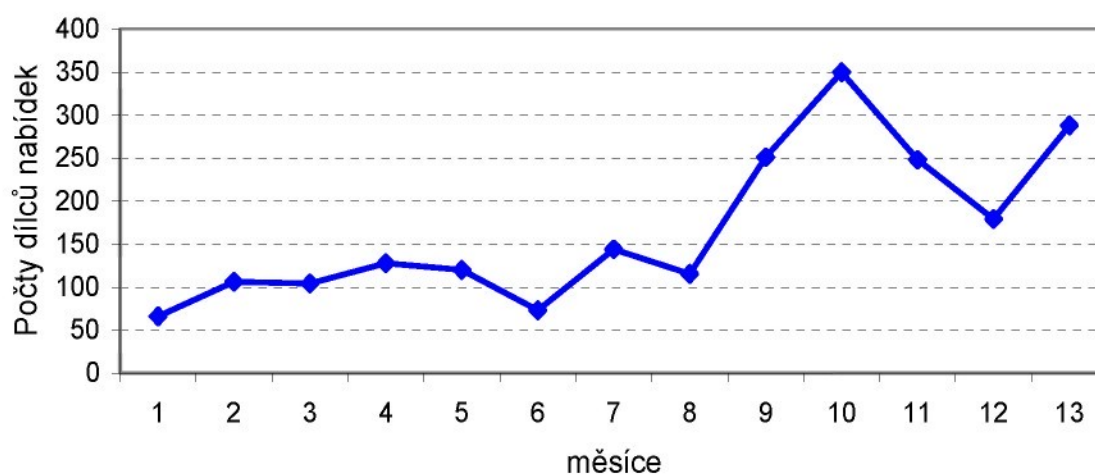
### III-3 Časy činností ve výrobě

Tab. III-2 Časy práce ve výrobě či nástrojárně

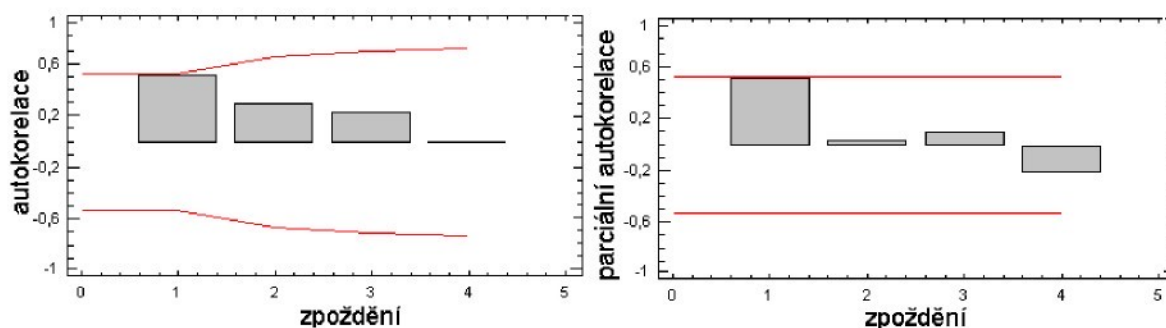
| technolog     | T1  | T2  | T3 | T4 | T5 | T6  | T7  |
|---------------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
| časy<br>[min] | 24  | 10  | 4  | 12 | 6  | 8   | 6   |
|               | 28  | 10  | 8  | 24 | 12 | 10  | 8   |
|               | 32  | 14  | 10 | 26 | 12 | 10  | 14  |
|               | 36  | 18  | 12 | 42 | 16 | 12  | 16  |
|               | 38  | 20  | 14 | 44 | 16 | 12  | 20  |
|               | 46  | 20  | 14 | 48 | 18 | 20  | 24  |
|               | 46  | 22  | 16 | 70 | 22 | 22  | 32  |
|               | 50  | 22  | 20 | 92 | 24 | 22  | 32  |
|               | 56  | 24  | 22 | 94 | 32 | 24  | 36  |
|               | 60  | 24  | 22 |    | 34 | 24  | 38  |
|               | 66  | 26  | 24 |    | 38 | 26  | 44  |
|               | 76  | 26  | 26 |    | 38 | 28  | 56  |
|               | 90  | 28  | 28 |    | 42 | 28  | 74  |
|               | 98  | 36  | 28 |    | 42 | 40  | 74  |
|               | 150 | 36  | 30 |    | 44 | 44  | 76  |
|               | 164 | 58  | 36 |    | 46 | 48  | 124 |
|               |     | 70  | 38 |    | 46 | 60  |     |
|               |     | 74  | 40 |    | 54 | 72  |     |
|               |     | 88  | 42 |    | 74 | 86  |     |
|               |     | 132 | 54 |    |    | 108 |     |
|               |     |     | 66 |    |    | 216 |     |
|               |     |     | 84 |    |    |     |     |
| průměr        | 66  | 38  | 29 | 50 | 32 | 44  | 42  |
| sm.odch.      | 40  | 30  | 19 | 28 | 17 | 46  | 31  |

### III-4 Analýza a predikce časových řad zátěže

#### III-4.1 Analýza časové řady počtů nabídek



Obr. III-1 Časová řada počtů nabídek



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

**Obr. III-2** Autokorelační a parciální autokorelační funkce čas. řady počtů dílců nabídek**Tab. III-3** Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,526491                  | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 2        | 0,300151                  | 0,345786         | -0,67773                     | 0,67773                      |
| 3        | 0,239609                  | 0,365278         | -0,715933                    | 0,715933                     |
| 4        | 0,00518022                | 0,377175         | -0,73925                     | 0,73925                      |

**Tab. III-4** Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,526491                  | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 2        | 0,0317628                 | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 3        | 0,096775                  | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |
| 4        | -0,226342                 | 0,27735          | -0,543597                    | 0,543597                     |

**Tab. III-5** Testy náhodnosti časové řady ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost čas. řady)

| Test                        | $P$ -hodnota |
|-----------------------------|--------------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,13007      |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,90592      |
| Box-Pierceův                | 0,237856     |

## III-4.2 Predikce časové řady počtů nabídek

### Testované modely:

(A) Náhodná procházka

(B) Konstantní průběh = 167,077

(C) Lineární trend =  $42,3462 + 17,8187 t$ (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,6326$ (I) Brownovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,3192$ (J) Holtsovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,294$  a  $\beta = 0,2068$ **(M) ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty**

(N) ARIMA(2,1,1) s konstantními koeficienty

(O) ARIMA(0,1,2) s konstantními koeficienty

(P) ARIMA(1,1,1) s konstantními koeficienty

(Q) ARIMA(1,1,2) s konstantními koeficienty

**Tab. III-6** Ukazatele kvality modelů

| Model      | RMSE           | MAE            | MAPE           | ME             | MPE            | AIC            |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| (A)        | 74,8155        | 61,3333        | 36,0476        | 0,0            | -9,00184       | 8,60761        |
| (B)        | 89,2473        | 73,9408        | 53,7182        | 0,0            | -28,0294       | 9,13667        |
| (C)        | 58,6166        | 39,6678        | 27,1757        | 1,3118E-14     | -8,81087       | 8,44973        |
| (H)        | 72,2223        | 53,2064        | 29,8268        | 21,6782        | 4,89478        | 8,71334        |
| (I)        | 76,4479        | 58,2682        | 33,929         | 21,9655        | 9,58209        | 8,82707        |
| (J)        | 71,4793        | 49,4676        | 33,6903        | 8,51054        | -0,799224      | 8,84651        |
| <b>(M)</b> | <b>53,8272</b> | <b>39,2767</b> | <b>27,2618</b> | <b>5,43973</b> | <b>-2,2069</b> | <b>8,27925</b> |
| (N)        | 49,0832        | 34,0455        | 23,5062        | 5,10905        | -1,46726       | 8,40242        |
| (O)        | 53,1983        | 38,8983        | 25,3878        | 6,67205        | -2,49534       | 8,40959        |
| (P)        | 55,7354        | 37,6803        | 25,402         | 6,10863        | -2,59855       | 8,50277        |
| (Q)        | 53,5206        | 35,1015        | 23,7695        | 5,03295        | -2,515         | 8,57552        |

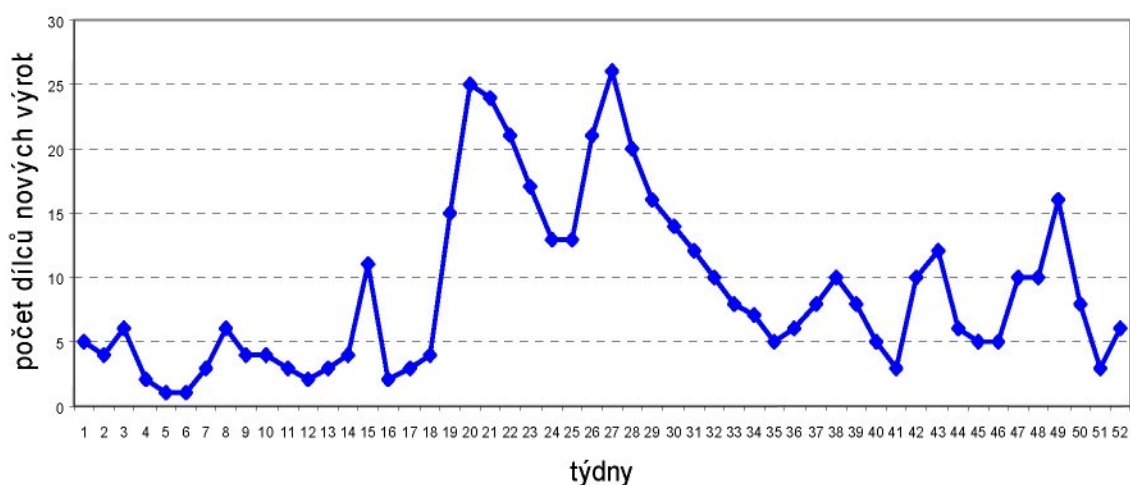
**Tab. III-7** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

| Model      | RMSE           | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)        | 74,8155        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (B)        | 89,2473        | OK        | OK        | OK        | **        | *         |
| (C)        | 58,6166        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (H)        | 72,2223        | OK        | OK        | OK        | OK        | *         |
| (I)        | 76,4479        | OK        | OK        | OK        | OK        | *         |
| (J)        | 71,4793        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| <b>(M)</b> | <b>53,8272</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)        | 49,0832        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)        | 53,1983        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)        | 55,7354        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (Q)        | 53,5206        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

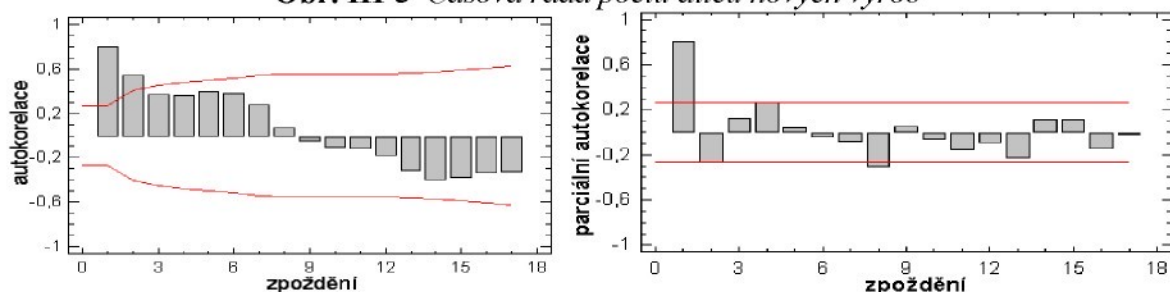
Význam zkratk a symbolů použitých v tabulkách je opět stejný jako při predikci časových řad u experimentu A, viz. příloha I.

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(0,1,1) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.

### III-4.3 Analýza časové řady počtů nových výrob



Obr. III-3 Časová řada počtů dílců nových výrob



a) autokorelační funkce (ACF)

b) parciální autokorelační funkce (PACF)

Obr. III-4 Autokorelační a parciální autokorelační funkce vstupní časové řady

Tab. III-8 Očekávané autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1        | 0,798695                  | 0,137361         | -0,269222                    | 0,269222                     |
| 2        | 0,539287                  | 0,20722          | -0,406145                    | 0,406145                     |
| 3        | 0,370993                  | 0,232196         | -0,455096                    | 0,455096                     |
| 4        | 0,360464                  | 0,243123         | -0,476513                    | 0,476513                     |
| 5        | 0,397256                  | 0,253006         | -0,495883                    | 0,495883                     |
| 6        | 0,37852                   | 0,264513         | -0,518437                    | 0,518437                     |
| 7        | 0,274576                  | 0,274543         | -0,538095                    | 0,538095                     |
| 8        | 0,070731                  | 0,279676         | -0,548156                    | 0,548156                     |
| 9        | -0,0636834                | 0,280013         | -0,548817                    | 0,548817                     |
| 10       | -0,11105                  | 0,280287         | -0,549353                    | 0,549353                     |
| 11       | -0,126275                 | 0,281115         | -0,550977                    | 0,550977                     |
| 12       | -0,184142                 | 0,282184         | -0,553071                    | 0,553071                     |
| 13       | -0,322                    | 0,284442         | -0,557497                    | 0,557497                     |
| 14       | -0,402172                 | 0,291238         | -0,570818                    | 0,570818                     |
| 15       | -0,389841                 | 0,301535         | -0,590998                    | 0,590998                     |
| 16       | -0,341543                 | 0,310899         | -0,609352                    | 0,609352                     |
| 17       | -0,331266                 | 0,3179           | -0,623073                    | 0,623073                     |

Tab. III-9 Očekávané parciální autokorelační koeficienty

| Zpoždění | Autokorelační koeficienty | Směrodatná chyba | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
|----------|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|



|    |            |          |           |          |
|----|------------|----------|-----------|----------|
| 1  | 0,798695   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 2  | -0,272385  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 3  | 0,120804   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 4  | 0,265948   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 5  | 0,0364168  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 6  | -0,0552238 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 7  | -0,0917285 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 8  | -0,312673  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 9  | 0,0510591  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 10 | -0,0716924 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 11 | -0,159744  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 12 | -0,102737  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 13 | -0,230891  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 14 | 0,113524   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 15 | 0,113248   | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 16 | -0,148739  | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |
| 17 | -0,0301666 | 0,137361 | -0,269222 | 0,269222 |

**Tab. III-10** Testy náhodnosti časové řady

(P-hodnota &gt; 0,05 značí vysokou náhodnost časové řady)

| Test                        | P-hodnota |
|-----------------------------|-----------|
| Porovnávání s mediánem      | 2,2131E-5 |
| Rostoucí-klesající sekvence | 4,5189E-8 |
| Box-Pierceův                | 0         |

Žádná z P-hodnot provedených testů není vyšší než 0,05, můžeme tedy na hladině významnosti 95% zamítnout hypotézu, že je časová řada počtů nových výrob náhodná.

### III-4.4 Predikce časové řady počtů nových výrob

#### Testované modely:

- (A) Náhodná procházka
- (B) Konstantní průběh = 8,92453
- (C) Lineární trend =  $6,76923 + 0,0798258 t$
- (H) Jednoduché exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,9999$
- (I) Brownovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,3604$
- (J) Holtsovo lineárně exponenciální vyrovnání s  $\alpha = 0,9957$  a  $\beta = 0,0261$
- (M) ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty**
- (N) ARIMA(2,0,0) s konstantními koeficienty
- (O) ARIMA(1,0,1) s konstantními koeficienty
- (P) ARIMA(1,0,0) s konstantními koeficienty
- (Q) ARIMA(2,1,2)

**Tab. III-11** Ukazatele kvality modelů

| Model      | RMSE    | MAE     | MAPE    | ME          | MPE      | AIC            |
|------------|---------|---------|---------|-------------|----------|----------------|
| (A)        | 4,1515  | 3,09541 | 48,6289 | 3,07446E-16 | -18,0238 | 2,82754        |
| (B)        | 6,52465 | 5,22962 | 111,772 | -2,6813E-16 | -82,9992 | 3,78891        |
| (C)        | 6,46964 | 5,01115 | 99,794  | 1,07252E-15 | -73,1124 | 3,80971        |
| (H)        | 4,11148 | 3,03782 | 47,7643 | -0,0188717  | -18,0745 | 2,8653         |
| (I)        | 4,86062 | 3,73369 | 55,8095 | -0,170529   | -23,0109 | 3,20007        |
| (J)        | 4,23081 | 3,19567 | 52,7195 | -0,473121   | -27,6058 | 2,96026        |
| <b>(M)</b> | 3,81613 | 2,80778 | 56,8184 | -0,0203435  | -33,7823 | <b>2,79168</b> |
| (N)        | 3,84227 | 2,61356 | 50,9061 | 0,00980215  | -29,7676 | 2,80533        |

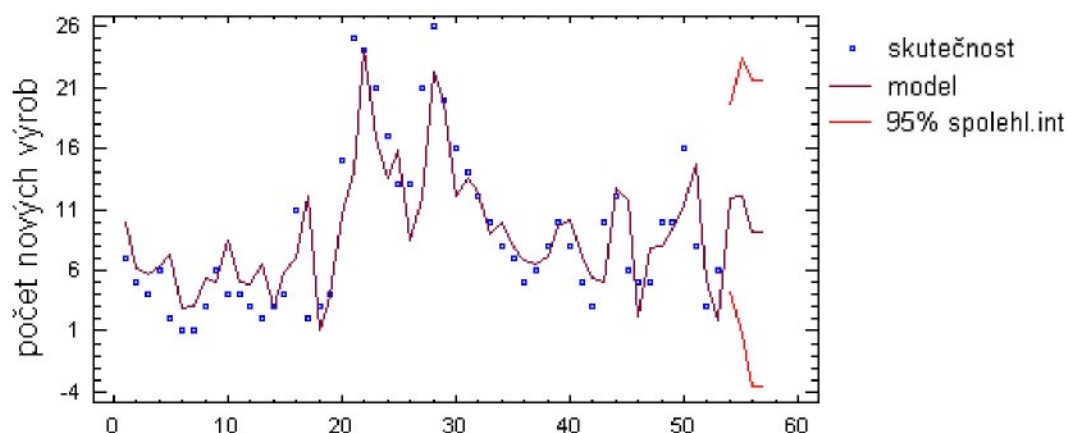
|     |         |         |         |            |          |         |
|-----|---------|---------|---------|------------|----------|---------|
| (O) | 3,84416 | 2,64011 | 50,7518 | 0,0126392  | -29,064  | 2,80632 |
| (P) | 3,94271 | 2,79426 | 51,1938 | 0,00759777 | -30,4515 | 2,81921 |
| (Q) | 3,8057  | 2,76664 | 46,5697 | 0,0505652  | -15,7569 | 2,82394 |

**Tab. III-12** Výsledky testů vhodnosti použití testovaných modelů

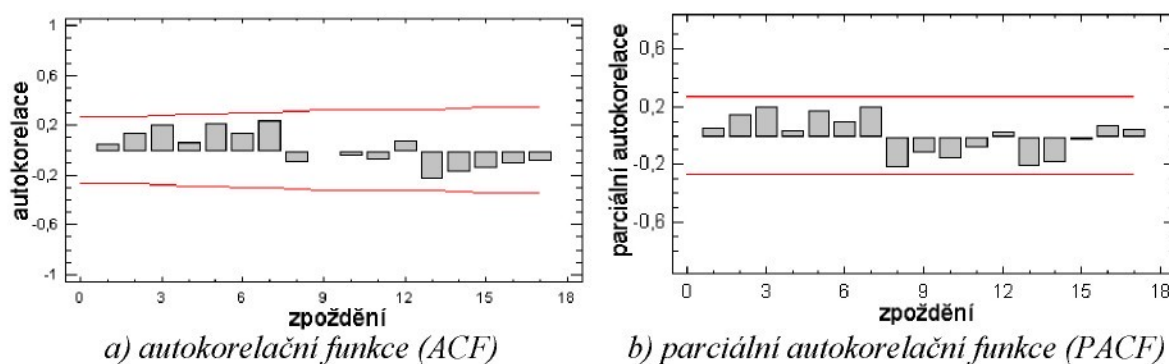
| Model | RMSE           | RUNS      | RUNM      | AUTO      | MEAN      | VAR       |
|-------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (A)   | 4,1515         | ***       | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (B)   | 6,52465        | ***       | ***       | ***       | OK        | OK        |
| (C)   | 6,46964        | ***       | **        | ***       | OK        | OK        |
| (H)   | 4,11148        | ***       | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (I)   | 4,86062        | ***       | OK        | **        | OK        | OK        |
| (J)   | 4,23081        | **        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (M)   | <b>3,81613</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> | <b>OK</b> |
| (N)   | 3,84227        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (O)   | 3,84416        | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (P)   | 3,94271        | **        | OK        | OK        | OK        | OK        |
| (Q)   | 3,8057         | OK        | OK        | OK        | OK        | OK        |

Význam zkratk a symbolů použitých v tabulkách je stejný jako při predikci časových řad u experimentu A, viz. příloha I.

Nejnižší hodnotu Akaikeho informativního kritéria (AIC) vykazuje model (M), tedy model ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty, který byl vybrán pro vygenerování predikovaných hodnot časové řady.



**Obr. III-5** Predikční model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty



**Obr. III-6** Autokorelační a parciální autokorelační funkce reziduálních složek pro model ARIMA (0,0,2) s konstantními koeficienty



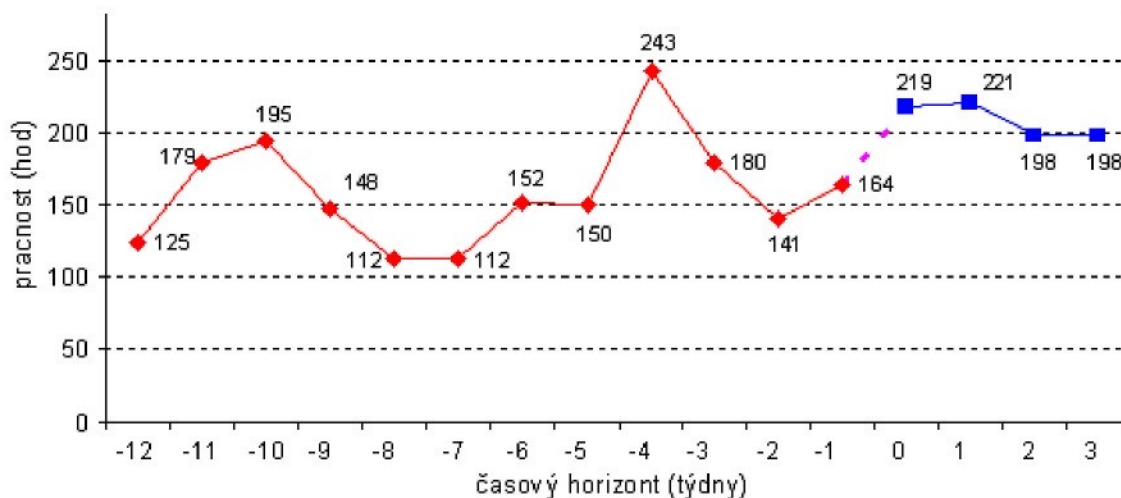
**Tab. III-13** Testy náhodnosti reziduálních složek pro model ARIMA(0,0,2) s konstantními koeficienty ( $P$ -hodnota  $> 0,05$  značí vysokou náhodnost časové řady reziduí)

| Test                        | $P$ -hodnota |
|-----------------------------|--------------|
| Porovnávání s mediánem      | 0,20749      |
| Rostoucí-klesající sekvence | 0,245951     |
| Box-Pierceův                | 0,247478     |

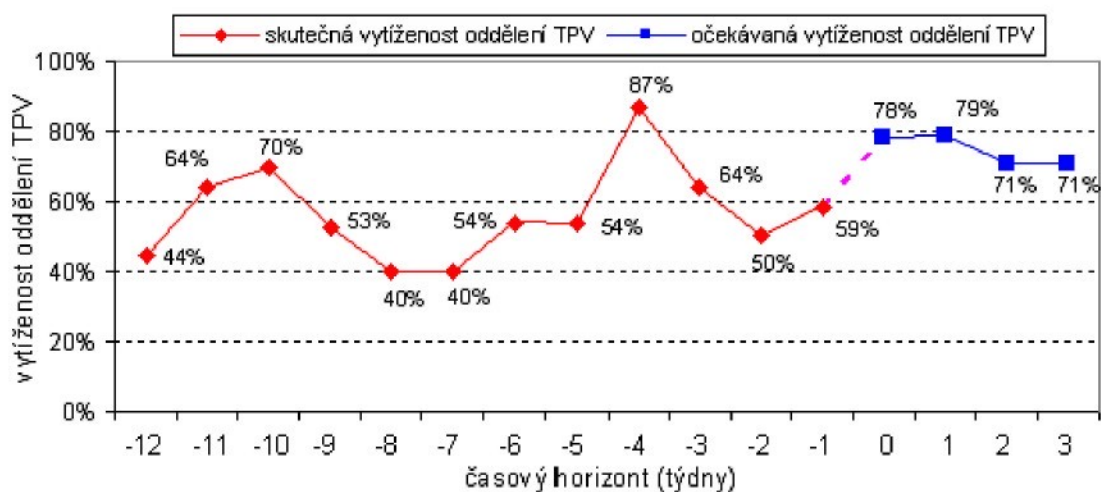
**Tab. III-14** Predikované hodnoty časové řady

| Týden | Predikované počty nových výrob | Dolní 95,0% pravděpodob. mez | Horní 95,0% pravděpodob. mez |
|-------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 54,0  | 11,9111                        | 4,24275                      | 19,5794                      |
| 55,0  | 12,0234                        | 0,721918                     | 23,3249                      |
| 56,0  | 9,06872                        | -3,50835                     | 21,6458                      |
| 57,0  | 9,06872                        | -3,50835                     | 21,6458                      |

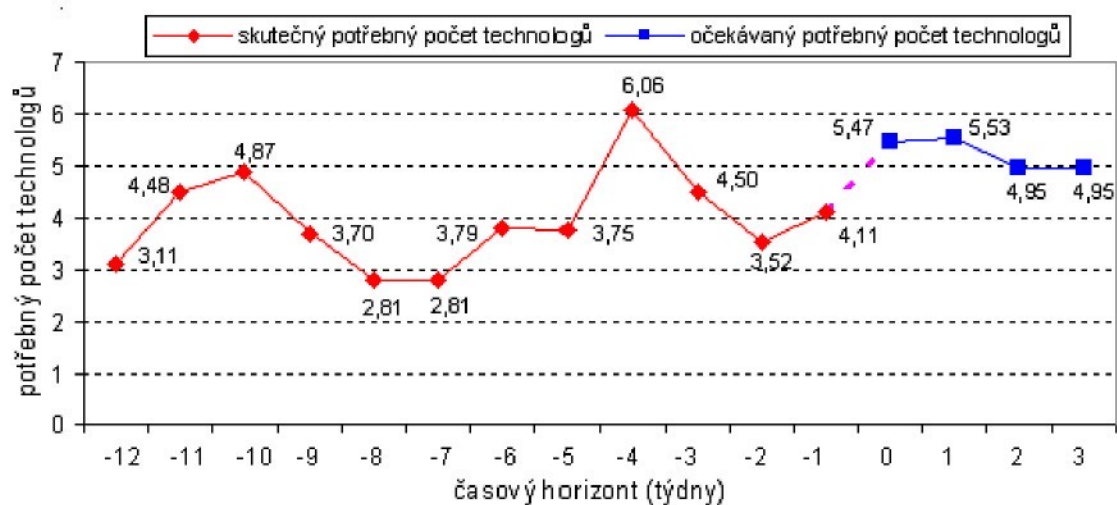
### III-5 Kapacitní výpočet



**Obr. III-7** Skutečná a očekávaná pracnost (objem práce)



**Obr. III-8** Skutečná a očekávaná vytíženost



Obr. III-9 Potřebný počet technologů

Tab. III-15 Výsledky kapacitního výpočtu

| horizont (týden) | pracnost (hod) | vytíženost oddělení TPV (7 technologů) | potřebný počet technologů | reálnizovatelný potřebný počet technologů |
|------------------|----------------|----------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| -12              | 125            | 44%                                    | 3,11                      | 4                                         |
| -11              | 179            | 64%                                    | 4,48                      | 5                                         |
| -10              | 195            | 70%                                    | 4,87                      | 5                                         |
| -9               | 148            | 53%                                    | 3,70                      | 4                                         |
| -8               | 112            | 40%                                    | 2,81                      | 3                                         |
| -7               | 112            | 40%                                    | 2,81                      | 3                                         |
| -6               | 152            | 54%                                    | 3,79                      | 4                                         |
| -5               | 150            | 54%                                    | 3,75                      | 4                                         |
| -4               | 243            | 87%                                    | 6,06                      | 6                                         |
| -3               | 180            | 64%                                    | 4,50                      | 5                                         |
| -2               | 141            | 50%                                    | 3,52                      | 4                                         |
| -1               | 164            | 59%                                    | 4,11                      | 5                                         |
| 0                | 219            | 78%                                    | 5,47                      | 6                                         |
| 1                | 221            | 79%                                    | 5,53                      | 6                                         |
| 2                | 198            | 71%                                    | 4,95                      | 5                                         |
| 3                | 198            | 71%                                    | 4,95                      | 5                                         |

## PŘÍLOHA IV – Příloha k 6. kapitole

### IV-1 Odvození důkazu rostoucího rozptylu

V případě výskytu sériových chyb (zpoždění) stejného nebo různých typů dochází k růstu hodnoty rozptylu každého dalšího lokálního maxima. V této podkapitole bude věnována pozornost odvození vztahů mezi parametry dílčích rozdělení sériových chyb.

Časy dílčích operací (zpoždění) označme  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ . Tyto časy jsou složkami náhodného vektoru  $\vec{w}$ , pro který budeme uvažovat  $n$ -rozměrné normální (Gaussovo) rozdělení s hustotou pravděpodobnosti  $f(\vec{x})$ , popsanou vztahem (1).

$$\vec{w}: f(\vec{x}) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \cdot \sqrt{|S|}} \cdot e^{-\frac{1}{2}(\vec{x}-\vec{\mu})^T \cdot S^{-1} \cdot (\vec{x}-\vec{\mu})} \quad (1)$$

U vztahu (1) si lze všimnout jisté analogie s předpisem funkce hustoty pravděpodobnosti pro jednorozměrné normální rozdělení. Místo rozptylu se zde ovšem vyskytuje kovariační matice. Tu lze obecně popsat vztahem (2).

$$S\vec{w} = E(\vec{w} - E\vec{w}) \cdot (\vec{w} - E\vec{w})^T \quad (2)$$

Po rozepsání tohoto tvaru na složky dostáváme rovnost (3).

$$S\vec{w} = E \begin{pmatrix} w_1 - Ew_1 \\ w_2 - Ew_2 \\ w_3 - Ew_3 \\ \vdots \\ w_n - Ew_n \end{pmatrix} \cdot (w_1 - Ew_1, w_2 - Ew_2, w_3 - Ew_3, \dots, w_n - Ew_n) \quad (3)$$

Z té pak, při respektování vztahů pro dílčí rozptyly (4) a kovariance (5), kde  $i, j = 1 \dots n$ , lze již napsat konečnou podobu kovariační matice (6).

$$\sigma_i^2 = E(w_i - Ew_i)^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{ij} = E(w_i - Ew_i) \cdot (w_j - Ew_j) \quad (5)$$

$$S\vec{w} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \cdot \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \cdot & \cdot & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Pravděpodobnostní rozdělení náhodného vektoru  $\vec{w}$  lze pak zapsat ve tvaru (7).

$$\bar{w} : N(E\bar{w}, S\bar{w}) \quad (7)$$

Pro nalezení požadovaného rozdělení součtu časů dílčích operací je nejprve třeba úlohu zobecnit a postavit ji na hledání parametrů rozdělení vektoru  $\bar{q}$ , tedy na hledání  $E\bar{q}$  a  $S\bar{q}$ . Zmiňovaný vektor  $\bar{q}$  je popsán vztahem (8), kde  $\mathbf{B}$  je konstantní matice.

$$\bar{q} = \mathbf{B} \cdot \bar{w} \quad (8)$$

Střední hodnotu vektoru  $\bar{q}$  lze s respektováním vlastností střední hodnoty a vztahu (8) popsat vztahem (9).

$$E\bar{q} = E(\mathbf{B} \cdot \bar{w}) = \mathbf{B} \cdot E\bar{w} \quad (9)$$

Při hledání druhého z parametrů, tedy kovariační matice  $S\bar{q}$ , je vycházeno z obecného vztahu pro výpočet kovariační matice (10). S respektováním vztahu (8) lze po úpravách vyjádřit konečný tvar kovariační matice  $S\bar{q}$ , vztahem (11).

$$S\bar{q} = E(\bar{q} - E\bar{q}) \cdot (\bar{q} - E\bar{q})^T \quad (10)$$

$$S\bar{q} = \mathbf{B} \cdot E(\bar{w} - E\bar{w}) \cdot (\bar{w} - E\bar{w})^T \cdot \mathbf{B}^T = \mathbf{B} \cdot S\bar{w} \cdot \mathbf{B}^T \quad (11)$$

V tuto chvíli tedy máme odvozeny parametry normálního rozdělení pro obecné zobrazení. Lze tedy napsat vztah (12), vyjadřující rozdělení náhodného vektoru  $\bar{q}$ .

$$\bar{q} : N(\mathbf{B} \cdot E\bar{w}, \mathbf{B} \cdot S\bar{w} \cdot \mathbf{B}) \quad (12)$$

Po tomto zobecnění je možno přistoupit k požadovanému vyjádření celkového rozdělení součtu časů všech dílčích operací. Náhodná veličina tohoto součtu je vyjádřena vztahem (13). Pro zobrazení součtu složek vektoru  $\bar{w}$ , bude mít matice  $\mathbf{B}$  podobu (14).

$$s = \sum_{i=1}^n w_i \quad (13)$$

$$\mathbf{B} = (1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \quad (14)$$

Jelikož se jedná o konkrétní případ předchozího obecného zobrazení, musí být zachována platnost obecného vztahu (12). S respektováním vztahů (6), (9), (11) a (12), lze pak vyjádřit vztahem (15) celkové pravděpodobnostní rozdělení doby přeseřízení.

$$s : N \left( (1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \cdot E\bar{w}, (1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \cdot \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \cdot & \cdot & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \right) \quad (15)$$

Po roznásobení lze výraz v maticovém tvaru (15) zapsat ve skalární podobě (16).

$$s: N \left( \sum_{i=1}^n Ew_i, \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} \right) \quad (16)$$

Vzhledem k tomu, že se v parametrech  $Es$  a  $Ss$  rozdělení náhodné veličiny  $s$ , vyskytují náhodné veličiny  $w_i$  u kterých nelze parametry  $Ew_i$ ,  $\rho_i^2$  a  $\rho_{ij}$  spočítat přímo, je třeba pro jejich spočtení použít bodových odhadů. Bodové odhady lze sestavit na základě skutečně naměřených délek trvání dílčích operací přeseřizení. Tyto hodnoty pak budou tvořit výběrový soubor rozsahu  $m$  s výběrovými veličinami  $v_k$ , kde  $k = 1 \dots m$ .

Pro odhad střední hodnoty  $Ew_i$  je vhodné využít výběrového průměru (17). Pro odhad rozptylu  $\rho_i^2$  lze s výhodou využít výběrového rozptylu (18) a pro odhad kovariance  $\rho_{ij}$  lze využít vztahu (19), vyjadřující výběrovou kovarianci.

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{k=1}^m v_{ik}}{m} \quad (17)$$

$$s_i^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (v_{ik} - \bar{v}_i)^2}{m-1} \quad (18)$$

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (v_{ik} - \bar{v}_i) \cdot (v_{jk} - \bar{v}_j)}{m-1} \quad (19)$$

Jelikož výše uvedené bodové odhady charakteristik náhodné veličiny jsou sami o sobě také náhodnými veličinami, obsahují jistou míru nepřesnosti, nespolehlivosti a to zvláště pro malý rozsah výběru. Z tohoto důvodu je vhodné pro vymezení spolehlivosti bodových odhadů zkonstruovat intervalové odhady. Ty pak udávají interval, který se stanovenou pravděpodobností blízkou jedničce pokrývá odhadovanou charakteristiku.

Nyní bude pozornost věnována zkoumání vzájemných závislostí jednotlivých operací. Ve vztahu (6), který popisuje podobu kovariační matice  $S\bar{w}$ , si lze všimnout jedné důležité vlastnosti. Je-li  $S\bar{w}$  diagonální, znamená to, že složky vektoru  $\bar{w}$  jsou nekorelované. Potom je také  $S\bar{w}^{-1}$  diagonální a v exponentu frekvenční fce (1) bude součet čtverců. Pak lze předpis pro  $f(\bar{x})$  vyjádřit součinem jednorozměrných normálních frekvenčních funkcí, z čehož vyplývá nezávislost složek vektoru, resp. nezávislost dílčích operací. V takovém případě, by předpis pravděpodobnostního rozdělení součtu dílčích operací  $s$ , původně popsaný vztahem (16), měl podobu (20).

$$s: N \left( \sum_{i=1}^n Ew_i, \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right) \quad (20)$$

Ze vztahu (20) je již patrný růst rozptylu každého dalšího lokálního maxima při výskytu sériových chyb v seřizování.

## IV-2 Problematika stanovení vhodného počtu tříd histogramu

V předchozích kapitolách byly k zachycení rozložení časů seřízení používány histogramy. Pokud jsou časy přeseřízení strojů pořizeny z IS, nemáme informaci o výskytech abnormalit (chyb) při seřizování. I v takovémto případě je možno chyby odhalit. Pro odhalení chyby a s ní spojené vícemodality je nutné zvolit vhodný počet tříd histogramu.

$$k = \frac{\max x - \min x}{h} \quad (21)$$

Pro stanovení počtu tříd histogramu existuje více pravidel, obecně však ani pro jednodálání rozdělení nelze určit univerzální nejvhodnější pravidlo. Mezi nejznámější pravidla určování vhodného počtu tříd histogramu patří:

- Sturgesovo pravidlo  $k = 1 + 3,322 \cdot \log_{10} n$  [38] (22)

$$k = 1 + \log_2 n \quad [111] \quad (23)$$

- Scottovo pravidlo  $h = 3,49 \frac{\sigma}{\sqrt[3]{n}}$  [35] [30] (24)

- Freedmanovo pravidlo  $h = 2 \cdot \frac{IQR(x)}{\sqrt[3]{n}}$  [26] [115] (25)

- Další autoři  $k = \sqrt{n}$   
 $k \leq 5 \cdot \log_{10} n$  [32] (26)

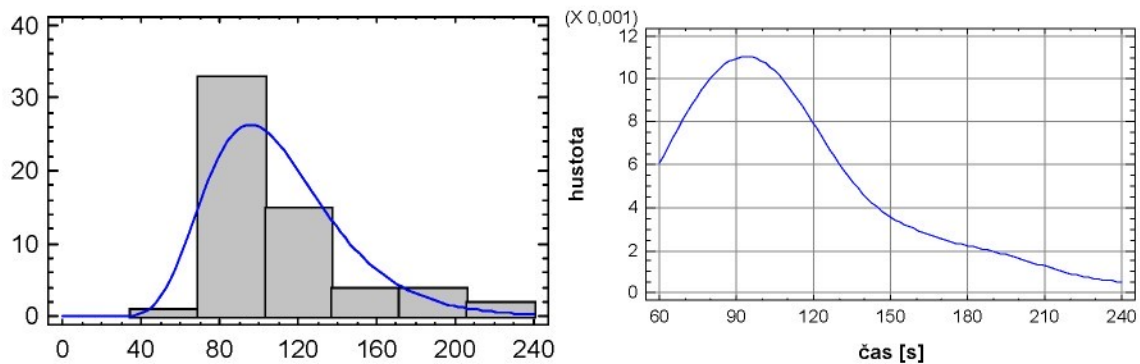
Někteří odborníci (teoretici) prezentují optimalizační algoritmy pro stanovení velikosti šířky intervalu, jako např. SHIMAZAKI [105]. Mimo zmíněných poměrně známých vztahů byly provedeny pokusy o stanovení optimálního počtu tříd histogramu na základě využití hustoty výskytu případů. [6] Porovnání základních pravidel volby počtu tříd histogramu je uveden na obr. 1. \*Kde bylo u Scottova a Freedmanova pravidla uvažováno  $R = 6\sigma$  a  $\sigma = 1$ .



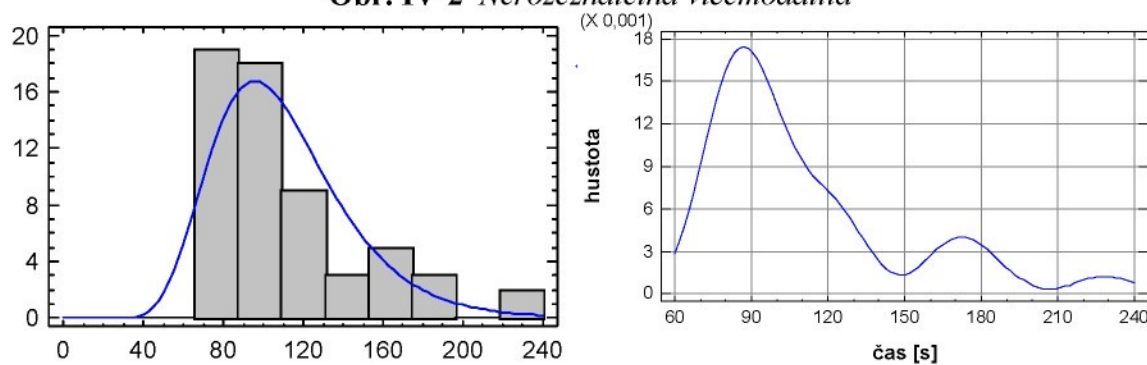
Obr. IV-1 Porovnání pravidel pro stanovení vhodného počtu tříd histogramu



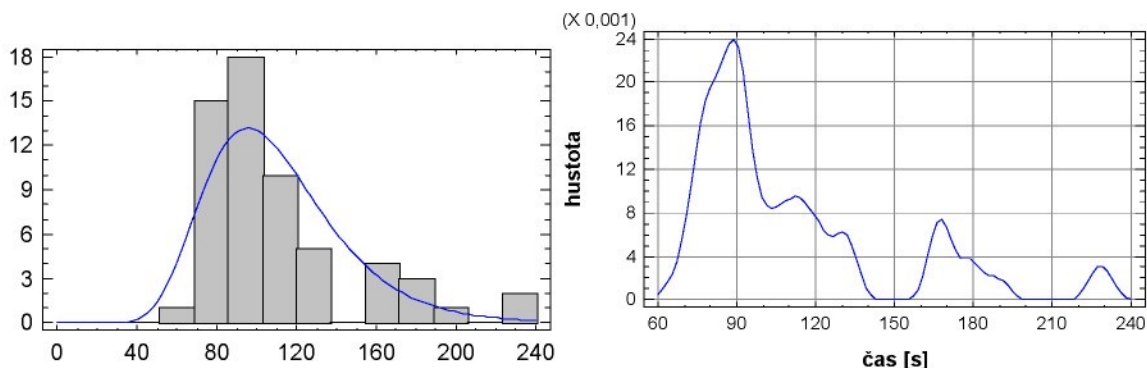
Vliv volby vhodného počtu intervalů histogramu na odhalení abnormality je patrný z obr. 2 až 4. Tyto histogramy a křivky hustot výskytu případů pocházejí ze stejného souboru dat.



**Obr. IV-2** Nerozeznatelná vícemodalita



**Obr. IV-3** Rozeznatelná vícemodalita

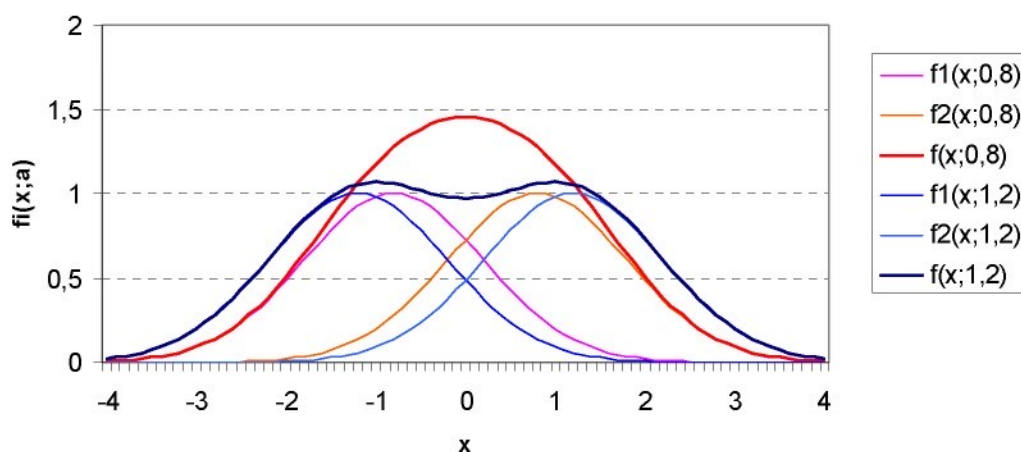


**Obr. IV-4** Rozeznatelná vícemodalita s možností separace dat

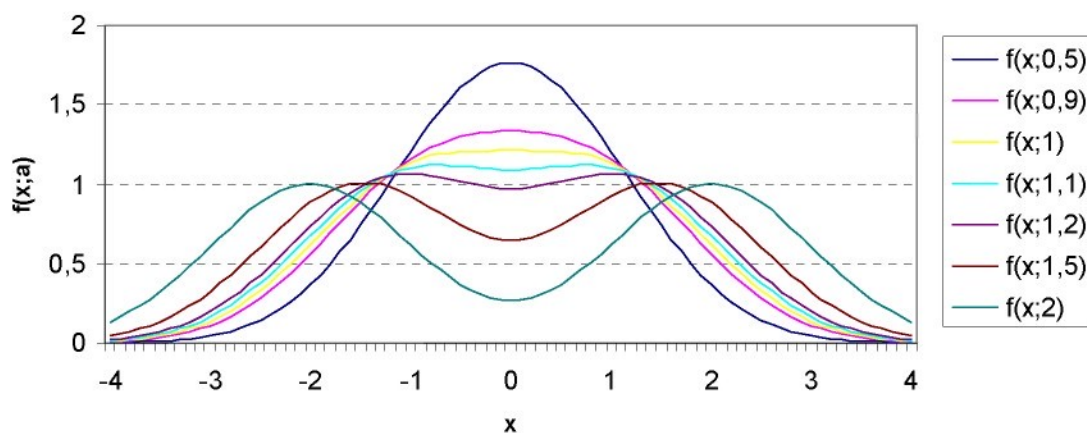
Z provedených experimentů vyplývá, že je vhodné vždy vyzkoušet více možných variant počtů tříd histogramu. Vyvinutá počítačová aplikace i jiné komerční statistické aplikace tuto možnost nabízejí. Pro dvoumodální rozdělení se ukazuje být vhodným prvotním odhadem počtu tříd histogramu přibližně dvojnásobek výše uvedených konvenčních pravidel.

### IV-3 Ověření stability numerického algoritmu pro výpočet parametrů dvoumodální funkce hustoty pravděpodobnosti

$$f(x) = e^{-\frac{1}{2}(x+a)^2} + e^{-\frac{1}{2}(x-a)^2} \quad (27)$$



Obr. IV-5 Porovnání funkcí hustot pravděpodobnosti  $f(x; a)$  v závislosti na posunutí  $a$  I



Obr. IV-6 Porovnání funkcí hustot pravděpodobnosti  $f(x; a)$  v závislosti na posunutí  $a$  II

Zde je  $p=0,5$ , v reálných případech, kde je  $p$  zpravidla menší než  $0,3$  se algoritmus chová stabilněji.

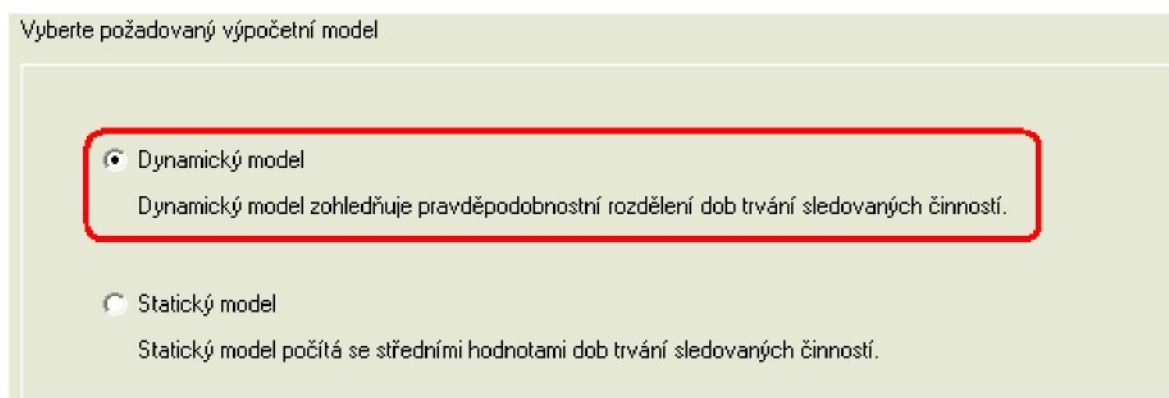
## Příloha V – Návod k použití vytvořené počítačové aplikace

Postup práce s aplikací bude ukázán na příkladě, pro dynamický model.

### Úloha:

- 6 seřizovačů vstřikolisů / 1 směna (3 směnný provoz) => 18 seřizovačů
- Týdenní fond jednoho pracovníka je  $5 \times 7,5 \text{ hod} = 37,5 \text{ hod}$
- 5 typových úkolů (časy načteme ze souboru *casy-serizeni.txt*)
- 1 časová řada (počty všech seřízení v jednotlivých týdnech na všech 3 směnách, (načteno ze souboru *rada-serizeni.txt*)
- Poměry činností jsou rovnoměrné =>  $p_1$  až  $p_5 = 0,2$
- Struktura: Sledované 51%, Nesledované 32%, Plýtvání 17%

Po spuštění aplikace *Project3.exe* se zobrazí první okno, ve kterém zvolíme Dynamický model, viz. obr. V-1.



**Obr. V-1** Volba požadovaného modelu

### Dále postupujeme dle následujícího postupu:

- 1) Nahrajeme vstupní data časů přeseřízení ze souboru *casy-serizeni.txt*
- 2) Nahrajeme časovou řadu počtů seřízení ze souboru *rada-serizeni.txt*
- 3) Zadáme poměrné zastoupení typových činností v časových řadách. Zastoupení je rovnoměrné, činností je pět, proto vyplníme ve všech polích hodnotu 0,2 a potvrdíme tlačítkem *Použít*, (kroky 1 až 3, viz. obr. V-2).
- 4) Zadání struktury práce, vyplníme dle zadání: sledované činnosti: 51, nesledované činnosti: 32, plýtvání: 17. Po zadání hodnot stiskneme tlačítko *Vykreslit diagram*. Tím dojde k vykreslení struktury práce a vypočtení přírážkového koeficientu.
- 5) Zadání týdenního časového fondu jednoho pracovníka (37,5hod) a počtu sledovaných pracovníků na všech třech směnách (18 seřizovačů). Vstupní data potvrdíme tlačítkem *Použít*, (kroky 4 a 5, viz. obr. V-3).

**Form1**

Volba modelu Vstupní data

Struktura časového fondu Naměřené doby trvání činností

Naměřené doby trvání sledovaných činností

Importujte naměřené doby trvání sledovaných činností **Otevřít** **1**

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 22,48     | 32,69     | 15,81     | 47,69     | 53,86     |
| 23,09     | 35,23     | 16,82     | 50,23     | 55,24     |
| 23,49     | 36,91     | 16,96     | 51,91     | 55,31     |
| 24,35     | 37,07     | 17,71     | 52,07     | 55,39     |
| 25,7      | 37,25     | 17,72     | 52,25     | 56,14     |
| 26,31     | 38,05     | 17,92     | 53,05     | 56,82     |
| 26,47     | 39,1      | 18,47     | 54,1      | 56,83     |
| 27,41     | 39,77     | 18,53     | 54,77     | 57        |
| 27,43     | 40,04     | 18,85     | 55,04     | 57,02     |
| 28,22     | 40,05     | 18,9      | 55,05     | 57,54     |
| 28,34     | 40,13     | 18,92     | 55,13     | 58        |
| 28,38     | 40,2      | 19,01     | 55,2      | 59,32     |
| 28,65     | 41,07     | 19,04     | 56,07     | 59,34     |
| 28,66     | 41,17     | 19,14     | 56,17     | 59,55     |
| 28,74     | 41,24     | 19,29     | 56,24     | 60        |

Sřední hodnoty dob trvání jednotlivých činností:

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 30,76     | 49,76     | 20,62     | 64,76     | 63,96     |

Zjištěná časová řada výskytů činností

Importujte časovou řadu **Otevřít** **2**

Uvedte poměrné zastoupení činností **3**

| Činnost 1 | Činnost 2 | Činnost 3 | Činnost 4 | Činnost 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,2       | 0,2       | 0,2       | 0,2       | 0,2       |

Použít

Procentuální zastoupení jednotlivých sledovaných činností

0,2 0,2 0,2 0,2 0,2

Obr. V-2 Zadávání vstupních dat – časy, řada

**Form1**

Volba modelu Vstupní data Pravděpodobnostní modely dob trvání činností

Struktura časového fondu Naměřené doby trvání činností

Struktura časového fondu

Uvedte zjištěné časové, četnostní, nebo procentuální zastoupení následujících činností:

Sledované činnosti: 51 **4**

Nesledované činnosti: 32

Přijetí: 17

Vykreslit diagram

Struktura časového fondu

51 % 32 % 17 %

51 32 17

Časový fond a současná kapacita

Vyplňte následující položky:

Týdenní časový fond jednoho pracovníka: 37,5 hodin

Současný počet pracovníků sledovaného pracoviště: 18

Použít **5**

Výpočet přírůžkového koeficientu A (allowance)

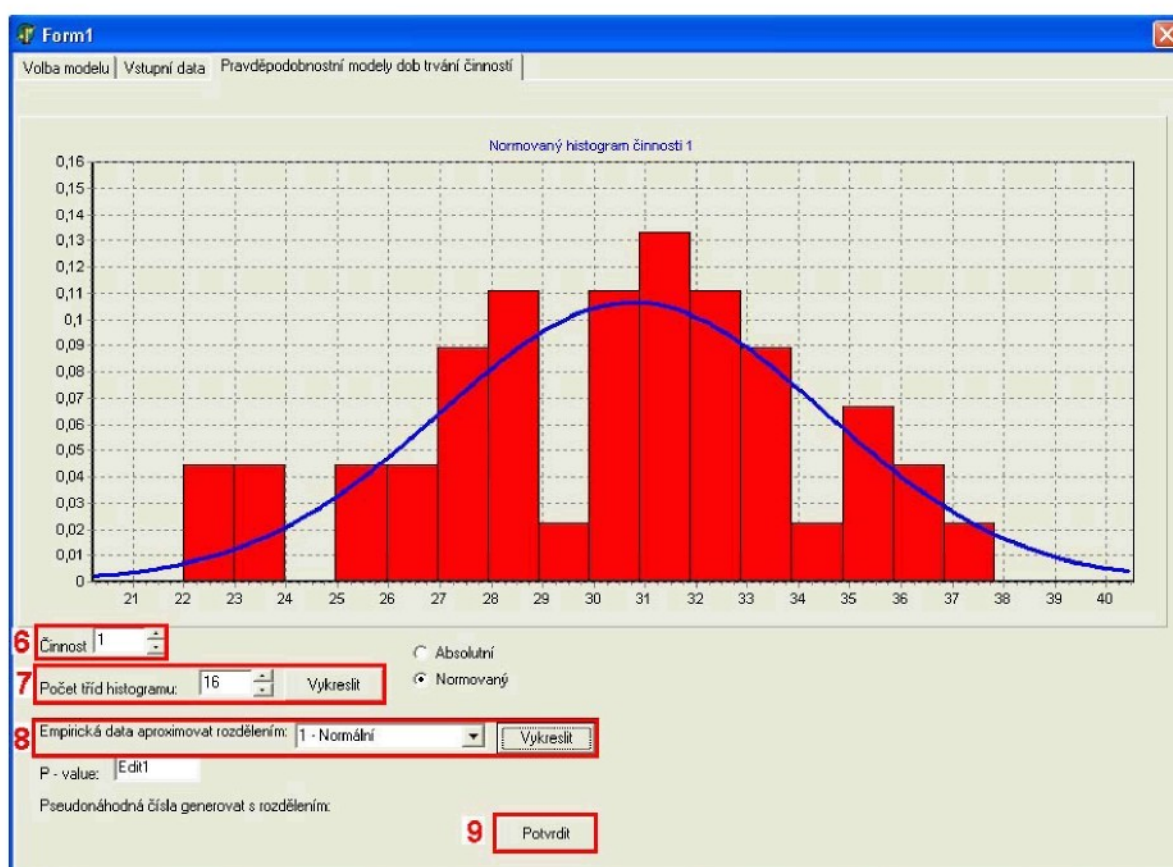
$A = (\text{sledované} + \text{nesledované}) / (\text{sledované}) = 1,63$

Obr. V-3 Zadávání vstupních dat – struktura, časový fond, počet seřizovačů



Po zadání vstupních dat následuje generování histogramů pro jednotlivé typové činnosti a výběr vhodného teoretického pravděpodobnostního rozdělení.

- 6) Pod číslem 6 je pole pro přepínání mezi činnostmi
- 7) Pod polem 7 je možno volit požadovaný počet tříd histogramu
- 8) Pod polem 8 uživatel volí vhodné teoretické rozdělení, aplikace nabízí 3 nejčastěji vyskytující se rozdělení v oblasti seřizování strojů, jsou jimi:
  - Normální rozdělení,
  - Lognormální rozdělení
  - Dvoumodální rozdělení tvořené směsí dvou normálních rozdělení.
- 9) Po vybrání rozdělení pro všech pět typových činností potvrdíme tlačítkem *Potvrdit* v poli 9, (kroky 6 až 9, viz. obr. V-4).



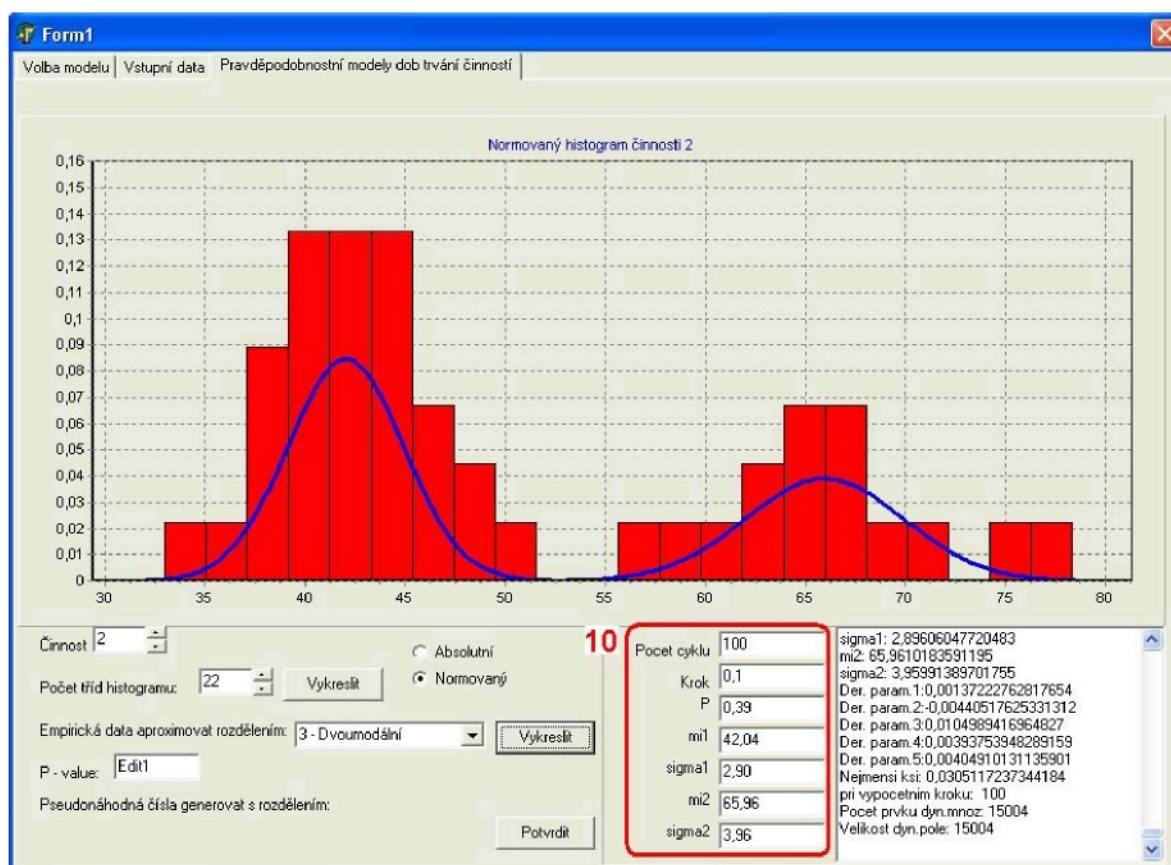
**Obr. V-4** Generování histogramu a výběr rozdělení – činnost 1

- 10) Pokud je voleno dvoumodální rozdělení, jehož funkce je počítána numericky, je potřeba zadat počáteční odhad parametrů rozdělení. Pro počáteční odhad využíváme histogramu, ze kterého jsou patrné obě střední hodnoty, obě směrodatné odchylky a poměr obou skupin dat.

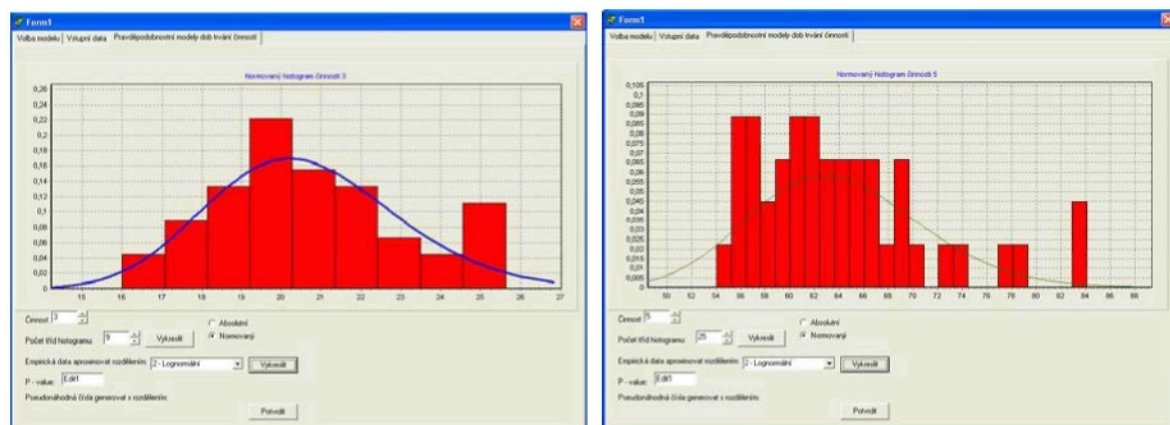
Pro tento příklad je vhodné počty tříd histogramů, teoretická rozdělení a parametry volit následovně:

- Činnost 1: počet tříd histogramu = 16, Normální rozdělení, (viz. obr. V-4),
- Činnost 2: počet tříd histogramu = 22, Dvoumodální rozdělení s počátečním odhadem:  $P=0,5$  ;  $m1=44$  ;  $\sigma1=3$  ;  $m2=64$  ;  $\sigma2=4$ . Po 100 iteračních

- krocích proběhne nalezení hledaných parametrů, se kterými bude dále počítáno při generování pseudonáhodných čísel, (viz. obr. V-5),
- Činnost 3: počet tříd histogramu = 9, Lognormální, (viz. obr. V-6a),,
  - Činnost 4: počet tříd histogramu = 23, Dvoumodální rozdělení s počátečním odhadem:  $P=0,5$  ;  $mi1=56$  ;  $\sigma1=3$  ;  $mi2=80$  ;  $\sigma2=4$ . Po 100 iteračních krocích proběhne nalezení hledaných parametrů, se kterými bude dále počítáno při generování pseudonáhodných čísel, (viz. obr. V-7),
  - Činnost 5: počet tříd histogramu = 25, Lognormální, (viz. obr. V-6b).



Obr. V-5 Generování histogramu a výběr rozdělení – činnost 2

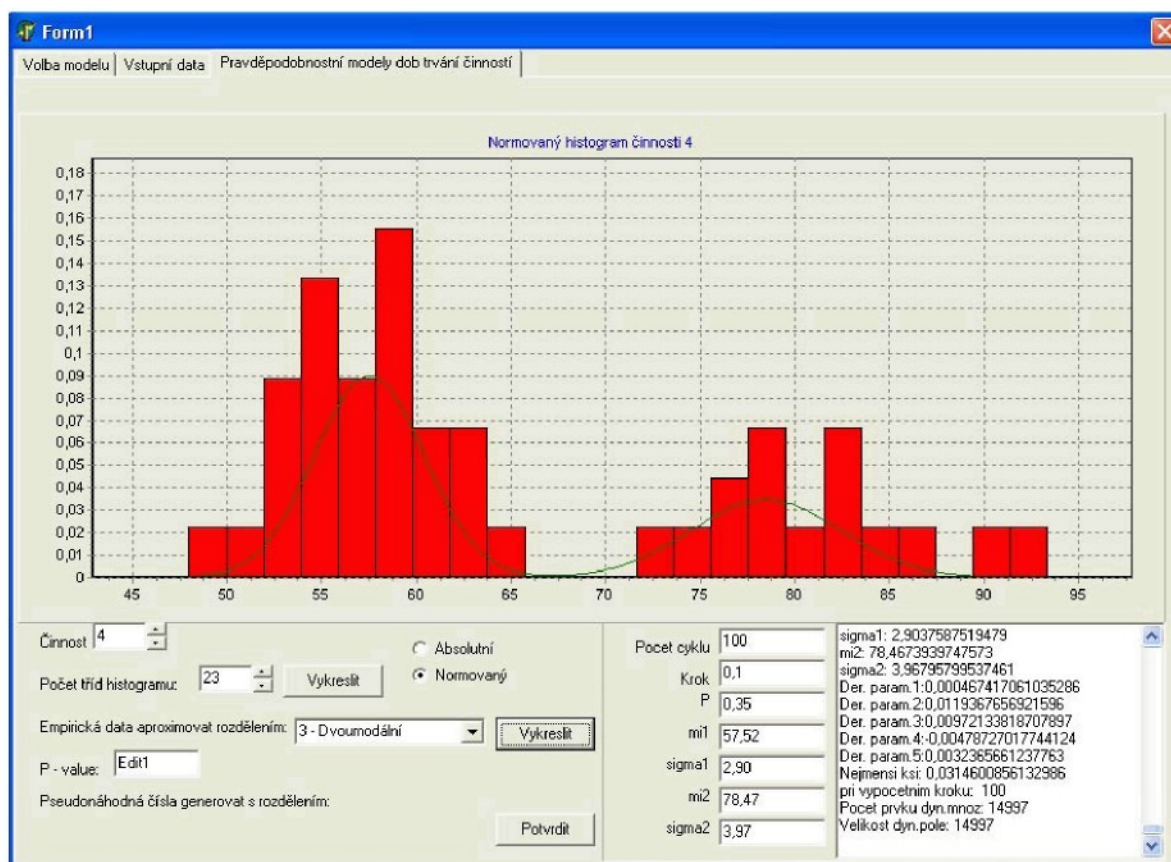


a) činnost 3

b) činnost 5

Obr. V-6 Generování histogramu a výběr rozdělení – činnosti 3 a 5





**Obr. V-7** Generování histogramu a výběr rozdělení – činnost 4

- 11) Po vybrání teoretických rozdělení následuje fáze modelování a predikce časové řady počtů seřízení. Aplikace nabízí možnost modelovat řadu pomocí:

- Lineární regrese
- Kvadratická regrese
- Proložení polynomem 3.stupně
- Proložení průměrnou hodnotou za poslední měsíc
- Přímé využití hodnot za poslední měsíc

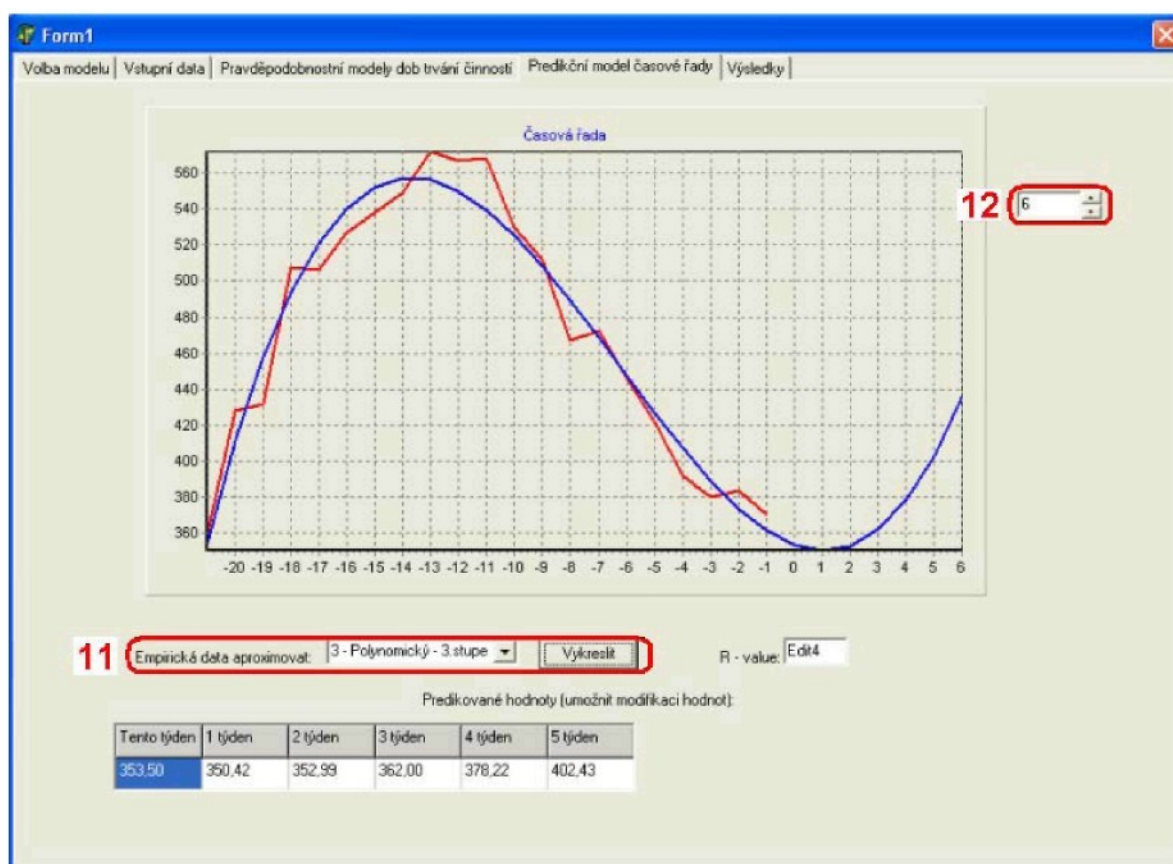
Po vybrání požadovaného proložení potvrdíme výběr tlačítkem *Vykreslit*.

- 12) Velikost predikčního horizontu (počtu týdnů predikce a kapacitního výpočtu) je možno volit pod polem 12, (kroky 11 a 12, viz. obr. V-8).

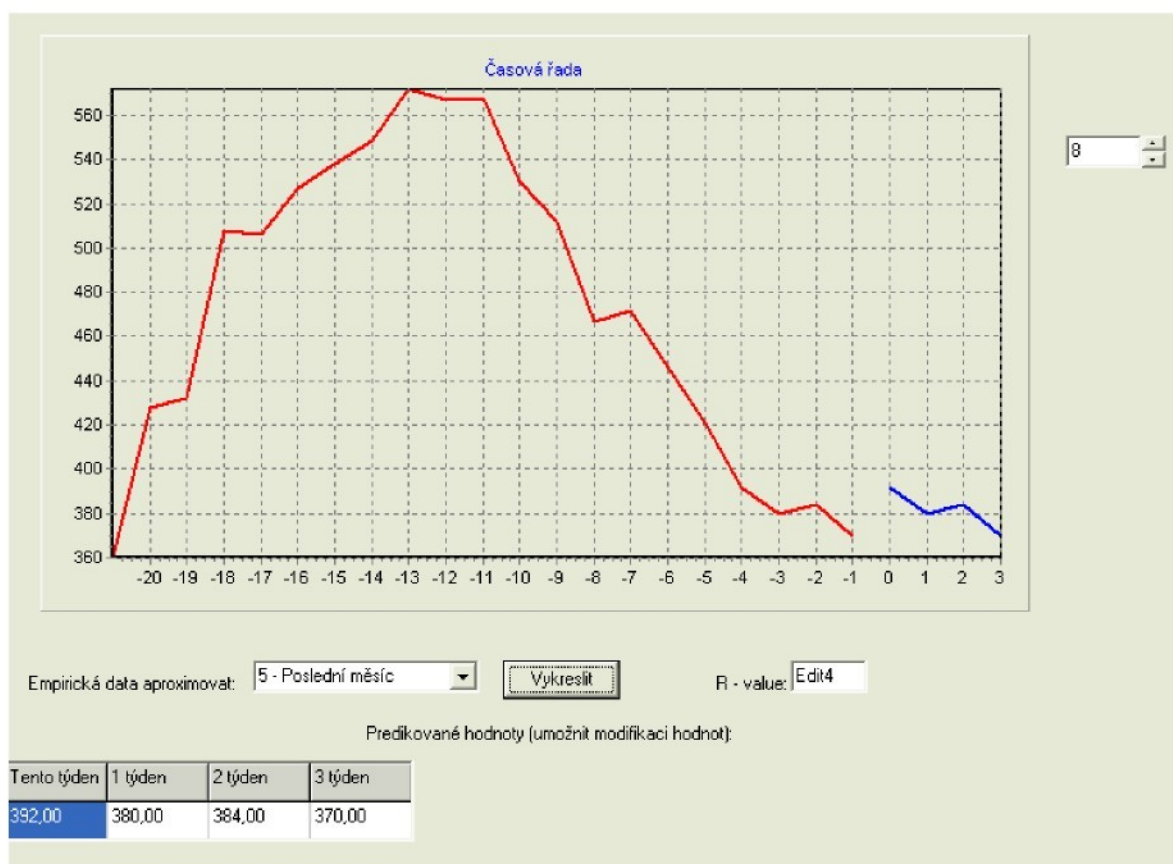
Pro náš příklad je řadu vhodné proložit polynomem 3.stupně, (viz. obr. V-8). Jako alternativa se nabízí také využití hodnot z předchozího měsíce, který byl nakonec pro kapacitní výpočet vybrán, (viz. obr. V-9).

Po provedení výše popsaných kroků, aplikace nabídne záložku *Výsledky*, kde jsou pomocí tabulek a sloupcových grafů ve třech dalších záložkách zobrazeny spočtené týdenní pracovní, vytiženosti a potřebné počty seřizovačů, (viz. obr. V-10 až V-12).

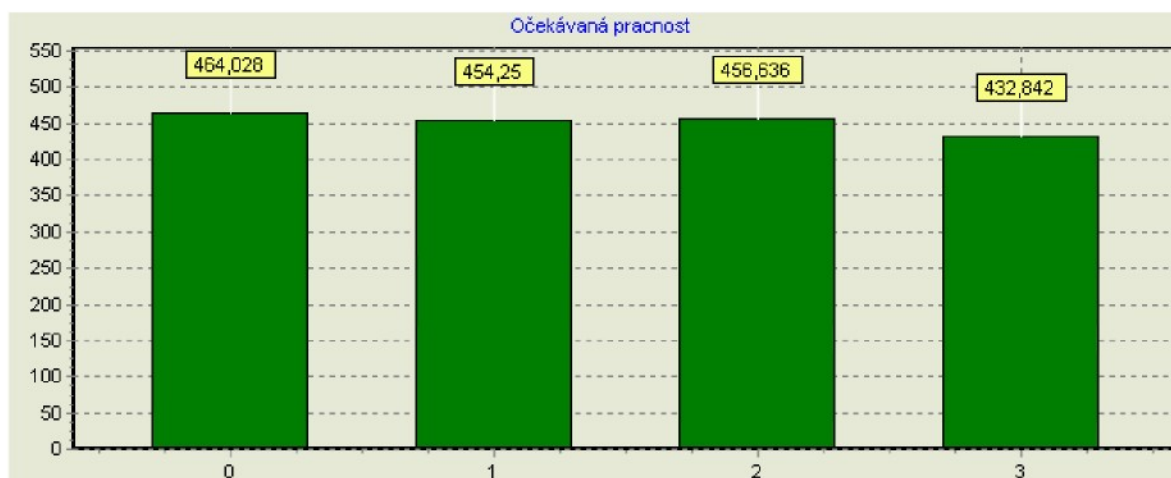
Pro náš příklad vychází pracovní v následujících čtyřech týdnech 464hod, 454hod, 456hod a 432hod. Očekávané vytiženosti 18-ti seřizovačů vycházejí: 68%, 66%, 67% a 63%. Spočtený očekávaný potřebný počet seřizovačů je pak 13, 12, 12, 12 seřizovačů, což znamená při původních 18-ti seřizovačích úsporu dvou seřizovačů na každé směně.



Obr. V-8 Aproximace časové řady polynomem 3. stupně



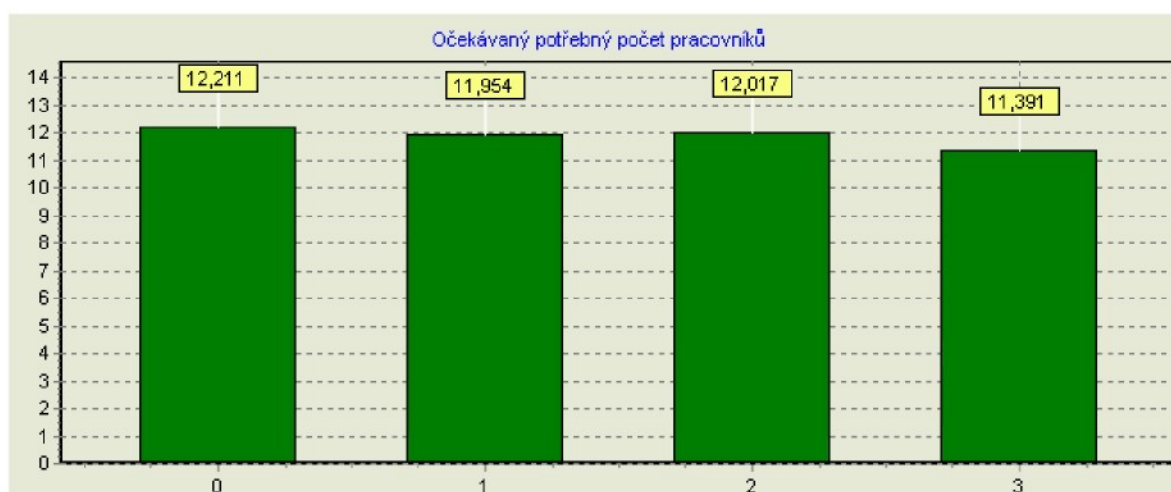
Obr. V-9 Využití hodnot časové z předchozího měsíce



Obr. V-10 Spočtená pracnost v hodinách



Obr. V-11 Procentuální vytížení všech seřizovačů



Obr. V-12 Spočtený očekávaný potřebný počet seřizovačů

## Instrukce pro použití aplikace – specifika, omezení

**Časy nahrávat ze souboru ve formátu .txt, data musí mít následující charakter:**

- Časy zapsat do prvních sloupců sešitu xls
- Sloupce časových náměrů musí být stejně dlouhé
- Časy v každém sloupci vzestupně seřadit
- Pokud jsou používána reálná čísla, použít k oddělení desetinných míst tečku (v excelu je možné změnu provést označením buněk, pak pomocí dialogu nástroje-možnosti-mezinárodní)
- Soubor je poté nutno uložit ve formátu txt

## Příloha VI: Zdrojový kód vytvořené počítačové aplikace

```
unit start_01;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, Buttons, ComCtrls, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine,  
Chart, ValEdit, Grids, DB, ImgList, Mask, Series, _Math, GanttCh, Math;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)  
  RadioButton1: TRadioButton;  
  RadioButton2: TRadioButton;  
  OK: TBitBtn;  
  StaticText1: TStaticText;  
  StaticText2: TStaticText;  
  Model: TPageControl;  
  TabSheet1: TTabSheet;  
  OpenDialog1: TOpenDialog;  
  TabSheet2: TTabSheet;  
  StaticText3: TStaticText;  
  OpenDialog2: TOpenDialog;  
  TabSheet3: TTabSheet;  
  TabSheet5: TTabSheet;  
  Chart3: TChart;  
  StaticText16: TStaticText;  
  Button5: TButton;  
  StaticText17: TStaticText;  
  Edit4: TEdit;  
  StaticText18: TStaticText;  
  StringGrid3: TStringGrid;  
  TabSheet8: TTabSheet;  
  PageControl4: TPageControl;  
  TabSheet9: TTabSheet;  
  TabSheet10: TTabSheet;  
  TabSheet11: TTabSheet;  
  StaticText19: TStaticText;  
  RadioButton3: TRadioButton;  
  StaticText20: TStaticText;  
  RadioButton4: TRadioButton;  
  StaticText22: TStaticText;  
  TabSheet12: TTabSheet;  
  Chart4: TChart;  
  BarSeries2: TBarSeries;  
  StringGrid4: TStringGrid;  
  PageControl1: TPageControl;  
  TabSheet23: TTabSheet;  
  TabSheet24: TTabSheet;  
  GroupBox4: TGroupBox;
```

```
StaticText11: TStaticText;  
StaticText5: TStaticText;  
StaticText6: TStaticText;  
Edit2: TEdit;  
Edit3: TEdit;  
GroupBox3: TGroupBox;  
StaticText7: TStaticText;  
StaticText8: TStaticText;  
StaticText9: TStaticText;  
StaticText10: TStaticText;  
GroupBox1: TGroupBox;  
StaticText12: TStaticText;  
StringGrid1: TStringGrid;  
Button1: TButton;  
StaticText23: TStaticText;  
GroupBox5: TGroupBox;  
Chart1: TChart;  
Series1: TPieSeries;  
StaticText25: TStaticText;  
Edit5: TEdit;  
Button8: TButton;  
Button9: TButton;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
StaticText24: TStaticText;  
StaticText26: TStaticText;  
StaticText27: TStaticText;  
StaticText28: TStaticText;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
GroupBox2: TGroupBox;  
StaticText31: TStaticText;  
StaticText32: TStaticText;  
StringGrid6: TStringGrid;  
StringGrid5: TStringGrid;  
StaticText21: TStaticText;  
Panel1: TPanel;  
Panel2: TPanel;  
Button2: TButton;  
ComboBox1: TComboBox;  
Series3: TLineSeries;  
Series4: TLineSeries;  
Chart5: TChart;  
BarSeries1: TBarSeries;  
StringGrid7: TStringGrid;  
Chart6: TChart;  
BarSeries3: TBarSeries;  
StringGrid8: TStringGrid;
```



```
Chart7: TChart;  
Series5: TPieSeries;  
StaticText29: TStaticText;  
Edit15: TEdit;  
UpDown2: TUpDown;  
ValueListEditor1: TValueListEditor;  
Button6: TButton;  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
StaticText4: TStaticText;  
StaticText13: TStaticText;  
UpDown1: TUpDown;  
Button3: TButton;  
StaticText14: TStaticText;  
Edit1: TEdit;  
StaticText15: TStaticText;  
Button4: TButton;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
UpDown3: TUpDown;  
Chart8: TChart;  
Series15: TAreaSeries;  
Series2: TAreaSeries;  
Series6: TAreaSeries;  
Series7: TAreaSeries;  
Series8: TAreaSeries;  
Series9: TAreaSeries;  
Series10: TAreaSeries;  
Series11: TAreaSeries;  
Series12: TAreaSeries;  
Series13: TAreaSeries;  
ComboBox2: TComboBox;  
Button7: TButton;  
Series14: TLineSeries;  
Series16: TLineSeries;  
Series17: TLineSeries;  
Series18: TLineSeries;  
Series19: TLineSeries;  
Series20: TLineSeries;  
Series21: TLineSeries;  
Series22: TLineSeries;  
Series23: TLineSeries;  
Series24: TLineSeries;  
Series26: TAreaSeries;  
Series27: TAreaSeries;  
Series28: TAreaSeries;  
Series29: TAreaSeries;  
Series30: TAreaSeries;  
Series31: TAreaSeries;
```

```

Series32: TAreaSeries;
Series33: TAreaSeries;
Series34: TAreaSeries;
Series25: TAreaSeries;
ColorDialog1: TColorDialog;
RadioButton5: TRadioButton;
RadioButton6: TRadioButton;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Edit14: TEdit;
Edit21: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Memo1: TMemo;
Panel3: TPanel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure OKClick(Sender: TObject);
procedure Edit15Change(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Edit13Change(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Chart8ClickSeries(Sender: TCustomChart; Series: TChartSeries;
  ValueIndex: Integer; Button: TMouseButton; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure RadioButton5Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
const maxcetnost = 50;
const maxsloupcu = 10;
const mnoz_max = 3000;

```

```

type tpocty = array [1..10] of double;
type tsloupec = array [1..10] of double;
type tcasrada = array [1..100] of double;
type tdoatrvani = array [1..100] of real;
type tdoatrvani_r = array [1..100] of double;
type thistogram = array [1..100,1..2] of double;
type tcetnost = array [1..maxcetnost] of double;
type tdpole = array [0..0] of double;
type troz2 = array [1..5] of double;
type ppole = ^tdpole;
tretezec=string[6];
var DobaTrvani : array [1..10] of tdoatrvani;
roz2,pdroz2, roz2n : troz2;
dmnoz : ppole;
x, he : array [1..50] of double;
cetnost, cetnost_n : array [1..maxsloupcu] of tcetnost;
maxc : array [1..maxsloupcu] of double;
prirustek : array [1..maxsloupcu] of double;
prirustekp, zac, allowance, ksi, ksin, prirvyp : double;
ksi_p : array [1..3000] of real;
param_p : array [1..3000] of troz2;
mnozina : array of double;
minim, maxim : tsloupec;
prumery,pomer : tsloupec;
histimage:TImage;
graphnorm : boolean;
casovarada : array [1..100] of integer;
mi, sigma : tsloupec;
casovaradad,koef : _Math.TMatice;
primka1,primka2 : _Math.Tprimka;
chyba: extended;
pocetsloupcu,pocetradek,velcasrada, konecrady, ncyklu, nmnoz : integer;
tridah, roz : array [1..maxsloupcu] of integer;
prumer,fond, pocet_prac,sledovane_cinnosti, nesledovane_cinnosti, plytvani : double;
predik_pocty, pracnost, vytiz_skup, ocek_pocet_prac : tpocty;

var
  Form1: TForm1;

implementation
function suma (p : tdoatrvani_r; vel : integer) : double;
var i : integer;
    poms : double;
begin
    poms := 0;
    for i := 1 to vel do
        poms := poms + p[i];
    suma := poms;
end;

```

```

function suma2pole (p,t:tsloupec) : tpocty;
var i,j:integer;
    suma:double;
    pom : tpocty;
begin
suma := 0;
for j := 1 to 4 do
begin
    for i := 1 to pocetsloupcu do
        suma := suma + p[i]*t[i];
    pom[j] := suma;
end;
result := pom;
end;
{$R *.dfm}
function f_prumer( p : tdoatrvani; vel : integer) : double;
var i : integer;
    pom : double;
begin
pom := 0;
for i := 1 to vel do
    pom := pom + p[i];
pom := pom / vel;

f_prumer := pom;
end;

function funkce (xi,pmi,psigma : double) : double;

begin
    funkce :=(1/(psigma*sqrt(2*pi)))*exp(sqr((xi-pmi)/psigma)*(-0.5));
end;

function ft (xi : double; proz2 : troz2) : double;
begin
    ft := (1 - proz2[1])*funkce(xi,proz2[2],proz2[3]) +
proz2[1]*funkce(xi,proz2[3],proz2[4]);
end;

function f_prumer_ln( p : tdoatrvani; vel : integer) : double;
var i : integer;
    pom : double;
begin
pom := 0;
for i := 1 to vel do
    pom := pom + ln(p[i]);
pom := pom / vel;

```

```

f_prumer_ln := pom;
end;

function realstring(e:double):treetezec;
var realnacist:string[10];
    celacist:string[10];
    i:byte;
    rc:double;

begin
    //for i:=1 to 10 do
    realnacist:="";
    celacist:= inttostr(round(int(e)));
    rc := abs(frac(e));
    if round(100*abs(frac(e))) = 100 then begin celacist := inttostr(round(int(e+1))) ;
                                         realnacist := '00';
                                         end
                                         else
                                         begin
if (10*rc < 1) then
    realnacist:='0'+inttostr(round(100*(abs(frac(e)))))
    else
// if rc < 1 and (rc >= 0.1) then
    realnacist:=inttostr(round(100*rc))
    //else
    //realnacist:='0'+inttostr(round(100*(abs(frac(e)))))

    //if abs(frac(e))<0.01 then
    //realnacist:='00'+inttostr(round(100*(abs(frac(e)))))
    end;

    realstring:=celacist+', '+realnacist;

end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var f:textfile;
    i,j:integer;
    jmenosouboru: string;
    app : boolean;
begin
    opendialog1.Execute;
    jmenosouboru := opendialog1.filename;
    assignfile(f,jmenosouboru);
    reset(f);
    pocetsloupce := 0;
    pocetradek := 0;
    i := 0; j := 0;
    while not eof(f) do
    begin

```

```

j := j + 1;
while not eoln(f) do
begin
    i := i + 1;
    read(f, dobatrvani[i,j]);

end;
if (pocetsloupce = 0) then pocetsloupce := i;
i := 0;
readln(f);

end;
//stringgrid1.Cells[1,1] := inttostr(dobatrvani[1,1]);
pocetradek := j;
stringgrid1.ColCount := pocetsloupce;
stringgrid1.RowCount := pocetradek + 1;
updown3.Max := pocetsloupce;

stringgrid1.Width := 68 + 65*(pocetsloupce - 1) + 17;
stringgrid5.Width := 68 + 65*(pocetsloupce - 1);

stringgrid1.ScrollBars := ssVertical;
//stringgrid5.ScrollBars := ssVertical;
stringgrid5.Height := 54;

//valuelisteditor1.RowCount := 1;

if pocetsloupce > 6 then begin
    stringgrid1.Width := 68 + 65*(5);
    stringgrid5.Width := 68 + 65*(5);
    stringgrid1.ScrollBars := ssBoth;
    stringgrid5.ScrollBars := sshorizontal;
    stringgrid5.Height := 54 + 17;
end;

for j := 1 to pocetradek do
for i := 0 to pocetsloupce-1 do
    stringgrid1.Cells[i,j] := floattostr(dobatrvani[i+1,j]);
for i := 0 to pocetsloupce-1 do
begin
stringgrid1.Cells[i,0] := 'Činnost ' + inttostr(i+1);
stringgrid5.Cells[i,0] := 'Činnost ' + inttostr(i+1);
valuelisteditor1.InsertRow('Činnost ' + inttostr(i+1), '0,33', True);

//valuelisteditor1.cells[0,i] := 'Činnost ' + inttostr(i+1);
end;

//***** vypocet strednich hodnot

```



```

stringgrid5.RowCount := 2;
stringgrid5.ColCount := pocetsloupce;

strtofloat(valuelisteditor1.cells[1,0]);

for i := 1 to pocetsloupce do begin
  prumery[i] := 0;
end;

//valuelisteditor1.Strings.Add('Činnost');

for i := 1 to pocetsloupce do
begin
  for j := 1 to pocetradek do
    begin
      prumery[i] := dobatrvani[i,j] + prumery[i];
    end;
    prumery[i] := prumery[i]/pocetradek;
    stringgrid5.Cells[i-1,1] := realstring(prumery[i]);
  end;

stringgrid1.Visible := true;
stringgrid5.Visible := true;

end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var p : real;
    hs: array [1..10] of thistogram;
    h : thistogram;
    i : integer;
begin
  chart8.BackColor := clDefault;

  roz2[1] := 0.4; // P
  roz2[2] := 21.66; // m1
  roz2[3] := 1.955; // sigma1
  roz2[4] := 37.08; // m2
  roz2[5] := 1.76; // sigma2

  edit16.text := realstring(roz2[1]);
  edit17.text := realstring(roz2[2]);
  edit18.text := realstring(roz2[3]);
  edit19.text := realstring(roz2[4]);
  edit20.text := realstring(roz2[5]);

```

```

for i := 1 to maxsloupcu do begin
    minim[i] := 0;
    maxim[i] := 1;
    roz[i] := 0;
    tridah[i] := 10;
end;
graphnorm := false;

model.ActivePageIndex := 0;
tabsheet2.PageControl.Pages[1].Tab.Visible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[2].Tab.Visible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[3].Tab.Visible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[4].Tab.Visible := false;
tabsheet2.PageControl.Pages[5].Tab.Visible := false;
//tabsheet2.PageControl.Pages[6].Tab.Visible := false;

for i := 0 to 9 do
    chart8.series[i].Active := false;

combobox1.ItemIndex := 0;
combobox2.ItemIndex := 0;

p := exp(1/2);

hs[1] := h;
{stringgrid3.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid3.Cells[1,0] := '1 týden';
stringgrid3.Cells[2,0] := '2 týden';
stringgrid3.Cells[3,0] := '3 týden';

stringgrid4.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid4.Cells[1,0] := '1 týden';
stringgrid4.Cells[2,0] := '2 týden';
stringgrid4.Cells[3,0] := '3 týden';

stringgrid7.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid7.Cells[1,0] := '1 týden';
stringgrid7.Cells[2,0] := '2 týden';
stringgrid7.Cells[3,0] := '3 týden';}

stringgrid1.Cells[0,0] := 'Činnost i';
stringgrid1.Cells[1,0] := 'Činnost i';
stringgrid1.Cells[2,0] := 'Činnost i';

{pomer[1] := 0.25;
pomer[2] := 0.3;
pomer[3] := 0.45;}

{fond := 32;

```

```

pocet_prac := 6;}
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var f:textfile;
    i:integer;
    jmenosouboru: string;

begin
opendialog1.Execute;
jmenosouboru := opendialog1.filename;
assignfile(f,jmenosouboru);
reset(f);
velcasrada := 0;
i := 0;
while not eof(f) do
begin
    i := i + 1;
    read(f,casovarada[i]);
end;
velcasrada := i-1;
stringgrid6.RowCount := velcasrada;
SetLength(casovaradad, velcasrada, 2);
for i := 0 to velcasrada-1 do begin
    stringgrid6.Cells[0,i] := inttostr(casovarada[i+1]);
    casovaradad[i,0] := -velcasrada+i;
    casovaradad[i,1] := casovarada[i+1];
end;
stringgrid6.Visible := true;

for i := 0 to velcasrada-1 do
    chart3.series[0].AddXY(-velcasrada+i,casovarada[i+1]);

end;

procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
sledovane_cinnosti := strtoint(edit9.text);
nesledovane_cinnosti := strtoint(edit10.text);
plytvani := strtoint(edit11.text);

chart1.Series[0].clear;

{ chart1.Series[0].AddX(sledovane_cinnosti);
chart1.Series[0].AddX(nesledovane_cinnosti);
chart1.Series[0].AddX(plytvani);}

chart1.Series[0].Addy(sledovane_cinnosti);
chart1.Series[0].Addy(nesledovane_cinnosti);
chart1.Series[0].Addy(plytvani);

```

```

edit6.Text :=
inttostr(round(100*sledovane_cinnosti/(sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti+plytvani)));
edit7.Text :=
inttostr(round(100*nesledovane_cinnosti/(sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti+plytvani)));
edit8.Text :=
inttostr(round(100*plytvani/(sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti+plytvani)));
allowance := (sledovane_cinnosti+nesledovane_cinnosti)/sledovane_cinnosti;
edit5.Text := realstring(allowance);
// chart1.series[0].LegendString(1,'Sledované činnosti');
end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
var i,j,l : integer;
    pom : tpocty;
    pomd, pomprac: double;

begin
//statictext16.Caption:= inttostr(combobox1.ItemIndex);

tabsheet1.PageControl.Pages[4].TabVisible := true;
model.ActivePage := TabSheet9;

stringgrid3.ScrollBars := ssNone;
stringgrid4.ScrollBars := ssNone;
stringgrid7.ScrollBars := ssNone;
stringgrid8.ScrollBars := ssNone;

stringgrid3.Width := 68;
stringgrid4.Width := 68;
stringgrid7.Width := 68;
stringgrid8.Width := 68;

konecrady := strtoint(edit15.text);

chart3.Series[1].Clear;

case combobox1.ItemIndex of
0 : begin
    _Math.PrimkaNejmCtv(casovaradad,primka1,primka2,chyba);
    primka1 := primka1;
    chart3.Series[1].AddXY(-velcasrada,(primka1.A*(-velcasrada)+primka1.C));
    chart3.Series[1].AddXY(konecrady,(primka1.A*(konecrady)+primka1.C));

```

```

    for i := 0 to konecrady do
        predik_pocty[i+1] := primka1.A*(i)+primka1.C;
    end;

1: begin
    SetLength(koef, 3, 1);
    _Math.PolynomialNejmCtv(casovarada,koef);
    for i := -velcasrada to konecrady do begin
        chart3.Series[1].AddXY(i,koef[2,0]*i*i+koef[1,0]*i + koef[0,0]);
    end;
    for i := 0 to konecrady do
        predik_pocty[i+1] := koef[2,0]*i*i+koef[1,0]*i + koef[0,0];
    end;

2: begin
    SetLength(koef, 4, 1);
    _Math.PolynomialNejmCtv(casovarada,koef);
    for i := -velcasrada to konecrady do begin
        chart3.Series[1].AddXY(i,koef[3,0]*i*i*i+koef[2,0]*i*i + koef[1,0]*i +
koef[0,0]);
    end;
    for i := 0 to konecrady do
        predik_pocty[i+1] := koef[3,0]*i*i*i+koef[2,0]*i*i + koef[1,0]*i + koef[0,0];
    end;

3: begin
    predik_pocty[1] := (casovarada[velcasrada]+casovarada[velcasrada-
1]+casovarada[velcasrada-2]+casovarada[velcasrada-3])/4;
    predik_pocty[2] := predik_pocty[1];
    predik_pocty[3] := predik_pocty[1];
    predik_pocty[4] := predik_pocty[1];
    konecrady := 4;
    chart3.Series[1].AddXY(0,predik_pocty[1]);
    chart3.Series[1].AddXY(4,predik_pocty[1]);

    end;

4: begin
    for i := 1 to 4 do begin
        predik_pocty[i] := casovarada[velcasrada - 3 + i - 1];
        chart3.Series[1].AddXY(i-1,predik_pocty[i]);
        konecrady := 4;
    end;

end;
end;

chart4.series[0].Clear;
chart5.series[0].Clear;

```

```

chart6.series[0].Clear;

for i := 1 to konecrady do begin
  pomprac := 0;
  for j := 1 to pocetsloupcu do begin
    for l := 1 to round(predik_pocty[i]*pomer[j]) do begin
      case roz[j] of
        0: begin
          pomprac := pomprac + randg(mi[j],sigma[j]);
        end;
        1: begin
          pomprac := pomprac + exp(randg(mi[j],sigma[j]));
        end;
        2: begin
          //randomize;
          pomd := randomfrom(mnozina);
          memo1.Lines.Add('RandomFrom: ' + floattostr(pomd));
          pomprac := pomprac + pomd;
        end;
      end;
    end;

    end;
  end;
  pracnost[i] := pomprac * allowance / 60;
  vytiz_skup[i] := 100*pracnost[i]/(pocet_prac * fond);
  ocek_pocet_prac[i] := pracnost[i]/fond;
  chart4.series[0].AddY(pracnost[i]);
  chart5.series[0].AddY(vytiz_skup[i]); //vytizeni pracovni skupiny
  chart6.series[0].AddY(ocek_pocet_prac[i]); // potrebny pocet pracovníku

```

```

end;

```

```

stringgrid3.colcount := konecrady;
stringgrid4.colcount := konecrady;
stringgrid7.colcount := konecrady;
stringgrid8.colcount := konecrady;

```

```

stringgrid3.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;
stringgrid4.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;
stringgrid7.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;
stringgrid8.Width := 68 + (konecrady - 1)*65;

```

```

{prumer := (casovarada[velcasrada]+casovarada[velcasrada-1]+casovarada[velcasrada-
2]+casovarada[velcasrada-3])/4;

```

```

stringgrid3.Cells[0,1] := realstring(prumer);
stringgrid3.Cells[1,1] := realstring(prumer);
stringgrid3.Cells[2,1] := realstring(prumer);

```



```

stringgrid3.Cells[3,1] := realstring(prumer);}

stringgrid3.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid4.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid7.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid8.Cells[0,0] := 'Tento týden';
stringgrid3.Cells[0,1] := realstring(predik_pocty[1]);
stringgrid4.Cells[0,1] := realstring(pracnost[1]);
stringgrid7.Cells[0,1] := realstring(vytiz_skup[1]);
stringgrid8.Cells[0,1] := realstring(ocek_pocet_prac[1]);

for i := 1 to konecrady-1 do begin
stringgrid3.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid3.Cells[i,1] := realstring(predik_pocty[i+1]);

stringgrid4.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid4.Cells[i,1] := realstring(pracnost[i+1]);

stringgrid7.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid7.Cells[i,1] := realstring(vytiz_skup[i+1]);

stringgrid8.Cells[i,0] := inttostr(i) + ' týden';
stringgrid8.Cells[i,1] := realstring(ocek_pocet_prac[i+1]);
end;

{ chart3.Series[1].AddXY(0,prumer),
chart3.Series[1].AddXY(1,prumer);
chart3.Series[1].AddXY(2,prumer);
chart3.Series[1].AddXY(3,prumer);
pom := suma2pole(pomer,prumery);
for i := 1 to 4 do
begin
    predik_pocty[i] := prumer;
    pracnost[i] := predik_pocty[i]*pom[i]/60;
    chart4.Series[0].AddXY(i,pracnost[i]);
    chart5.series[0].AddXY(i,100*pracnost[i]/(fond*pocet_prac));
    stringgrid4.Cells[i-1,1] := realstring(pracnost[i]);
    stringgrid7.Cells[i-1,1] := realstring(pracnost[i]/(fond*pocet_prac));
end;}

end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var i : integer;
begin
chart7.Series[0].Clear;
for i := 1 to pocetsloupcu do begin
pomer[i] := strtfloat(valuelisteditor1.cells[1,i-1]);

```

```

chart7.Series[0].Addy(pomer[i]);
end;
pagecontrol1.Pages[0].TabVisible := true;
//pagecontrol1.ActivePageIndex := 0;

end;

procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
var i,j,cetnost : integer;
    prirustek,prirustekp : real;
begin
pocet_prac := strtoint(edit3.text);
fond := strtoint(edit2.text);
if (radiobutton2.Checked = true) then begin
tabsheet1.PageControl.Pages[3].TabVisible := true;
tabsheet1.PageControl.Pages[2].TabVisible := true;
model.ActivePage := TabSheet3;
end

else
begin
tabsheet1.PageControl.Pages[2].TabVisible := true;
pagecontrol1.ActivePage := TabSheet5;
end;

//myhist := TIntHistogramm.create(101,0,100,image1);
//for i := 1 to 50 do
//    myhist.addvalue(5);
//myhist.movetomemo(memo1);    // get the numbers as list
//myhist.destroy;
//myhist.display;

{tridah := strtoint(edit12.text);
cetnost := 0;

//for i := 1 to pocetsloupcu do
//for i := 1 to 1 do
i := 1;
begin
    minim[i] := dobatrvani[i,1];
    maxim[i] := dobatrvani[i,pocetradek];
    prirustek := (maxim[i] - minim[i])/tridah;
    prirustekp := prirustek;
    for j := 1 to pocetradek do begin
        if (dobatrvani[i,j] < (minim[i] + prirustekp)) then cetnost := cetnost + 1
        else begin
            prirustekp := prirustekp + prirustek;
            chart2.Series[0].AddY(cetnost);
            cetnost := 1;

```

```

        end;
    end;
end;}

end;

procedure TForm1.OKClick(Sender: TObject);
begin
    tabsheet1.PageControl.Pages[1].TabVisible := true;
    model.ActivePageIndex := 1;
    pagecontrol1.ActivePage := TabSheet24;
    pagecontrol1.Pages[0].TabVisible := false;

end;

procedure TForm1.Edit15Change(Sender: TObject);
    var i,konecrady : integer;
begin

end;

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var i,j,k: integer;
    suma : double;

label posledni;
begin

radiobutton5.Checked := true;
i := strtoint(edit13.text);
tridah[i] := strtoint(edit12.text);
chart8.series[i-1].clear;
chart8.series[i-1 + 20].clear;

graphnorm := false;
chart8.Title.Text.Clear;
chart8.Title.Text.Add('Histogram činnosti ' + edit13.text);

//cetnost := 0;
//for i := 1 to maxsloupcu do
maxc[i]:= 0;
k := 1;
//for i := 1 to maxsloupcu do
for j := 1 to maxcetnost do
    cetnost[i,j] := 0;

//for i := 1 to pocetsloupcu do
//i := 1;

```

```

//while (i <= pocetsloupce) do
//for i := 1 to 1 do
//i := 1;
begin
  minim[i] := dobatrvani[i,1];
  maxim[i] := dobatrvani[i,pocetradek];
  prirustek[i] := (maxim[i] - minim[i])/tridah[i];
  prirustekp := prirustek[i];
  zac := round(minim[i]);
  j := 1;
  k := 1;
  while (j <= pocetradek) do begin
    if (j = pocetradek) and (k = tridah[i]) then begin cetnost[i,k] := cetnost[i,k] + 1;
      inc(j);
      goto posledni;
    end;
    if (dobatrvani[i,j] <= (minim[i] + prirustekp)) then
      begin
        cetnost[i,k] := cetnost[i,k] + 1;

        if (j = pocetradek) then goto posledni;
        j := j + 1;
      end
    else
      begin
        //if (j = pocetradek) and (k = tridah) then j := j + 1;
        prirustekp := prirustekp + prirustek[i];
        posledni :=
        if maxc[i] < cetnost[i,k] then maxc[i] := cetnost[i,k];
        cetnost_n[i,k] := cetnost[i,k]/pocetradek;
        chart8.Series[i-1 + 20].AddXY(zac,cetnost[i,k]);
        chart8.Series[i-1 + 20].AddXY(zac + prirustek[i],cetnost[i,k]);
        chart8.Series[i-1 ].AddXY(zac,cetnost_n[i,k]);
        chart8.Series[i-1 ].AddXY(zac + prirustek[i],cetnost_n[i,k]);

        k := k + 1;
        //cetnost := 0;
        zac := zac + prirustek[i];
        if (tridah[i] = k) then prirustekp := prirustekp + 0.1;

      end;

end;

end;
suma := 0;
for k := 1 to maxcetnost do
  suma := suma + cetnost[i,k];

```

```

label1.Caption := realstring(suma);

{ for j := 1 to pocetradek do begin
    if (dobatrvani[i,j] <= (minim[i] + prirustekp)) and (j <> pocetradek) then
cetnost := cetnost + 1
    else
    begin
        prirustekp := prirustekp + prirustek;
        if maxc < cetnost then maxc := cetnost;
        if (j = pocetradek) then cetnost := cetnost + 1;
        chart2.Series[0].AddXY(zac,cetnost);
        chart2.Series[0].AddXY(zac + prirustek,cetnost);
        //chart2.Series[0].XLabel[0] := inttostr(j) + '789';
        cetnost := 0;
        if (dobatrvani[i,j] <= (minim[i] + prirustekp)) and (j <> pocetradek) then
cetnost := cetnost + 1;
        zac := zac + prirustek;
    end;}

//end;
i := i + 1;

end;

for i := 0 to 29 do
    chart8.Series[i].Active := false;

i := strtoint(edit13.Text);
prirustek[i] := (maxim[i] - minim[i])/tridah[i];
prirustekp := prirustek[i];
zac := round(minim[i]);

chart8.Series[i-1 + 20].Active := True;
//for k := 1 to tridah do
k := 1;
{ while (k <= tridah) do
begin
    chart8.Series[i-1].AddXY(zac,cetnost[i,k]);
    chart8.Series[i-1].AddXY(zac + prirustek[i],cetnost[i,k]);
    zac := zac + prirustek[i];
    inc(k);
end;}
chart8.LeftAxis.Maximum := maxc[i] + 0.2*maxc[i];
chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
//chart2.Repaint;
chart8.Refresh;

```

```

end;

procedure TForm1.Edit13Change(Sender: TObject);
var i : integer;
begin
  for i := 0 to 29 do
    chart8.Series[i].Active := false;

  chart8.Title.Text.Clear;

  i := strtoint(edit13.Text);
  edit12.Text := inttostr(tridah[i]);
  if graphnorm then begin
    chart8.Title.Text.Add('Normovaný histogram činnosti ' + edit13.text);
    chart8.Series[i-1 + 10].Active := true;
    chart8.Series[i-1].Active := true;
    chart8.LeftAxis.Maximum := (maxc[i] + 0.2*maxc[i])/pocetradek;
    chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
    if (chart8.BottomAxis.Maximum < (minim[i] - 0.1*minim[i])) then
      chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
    chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
    chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
    end else begin
      chart8.Title.Text.Add('Histogram činnosti ' + edit13.text);
      chart8.Series[i-1 + 20].Active := true;
      chart8.LeftAxis.Maximum := maxc[i] + 0.2*maxc[i];
      chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
      if (chart8.BottomAxis.Maximum < (minim[i] - 0.1*minim[i])) then
        chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
      chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
      chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
    end;
  combobox2.ItemIndex := roz[i];
  chart8.Refresh;
end;

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
var i,j,k, n,l, nc, pos_minksi, m, startd: integer;
    prum_x, suma_x, xt, pconst, fx: double;
    pp,pmi1,pmi2,psigma1,psigma2,pksi,xmax : real;
    pomc : tdoatrvani_r;
label n_grad;
label n_param;
label konec;
begin

radiobutton6.Checked := true;
graphnorm := true;
chart8.Title.Text.Clear;

```



```

chart8.Title.Text.Add('Normovaný histogram činnosti ' + edit13.text);

i := strtoint(edit13.Text);

for k := 0 to 29 do
    chart8.series[k].Active := false;

chart8.Series[i-1 ].Active := true;
chart8.Series[i-1 + 10].Active := true;
chart8.LeftAxis.Maximum := (maxc[i] + 0.2*maxc[i])/pocetradek;
xt := minim[i] - 0.1*minim[i];
chart8.series[i-1 + 10].Clear;

roz[i] := combobox2.ItemIndex;

case combobox2.ItemIndex of

0: begin
    prum_x := f_prumer(dobatrvani[i],pocetradek);
    for k := 1 to pocetradek do
        pomc[k] := sqr((dobatrvani[i,k]) - prum_x);
    suma_x := suma (pomc,pocetradek);
    sigma[i] := sqrt(suma_x/(pocetradek-1));
    mi[i] := prum_x;
    pconst := 1/(sigma[i]*sqrt(2*pi));
    while (xt <= maxim[i] + 0.1*minim[i]) do begin
        fx := pconst*exp(sqr((xt-mi[i])/sigma[i])*(-0.5));
        chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
        xt := xt + 0.2;
    end;
    roz[i] := 0;
end;

1: begin
    prum_x := f_prumer_ln(dobatrvani[i],pocetradek);
    for k := 1 to pocetradek do
        pomc[k] := sqr(ln(dobatrvani[i,k]) - prum_x);
    suma_x := suma (pomc,pocetradek);
    sigma[i] := sqrt(suma_x/(pocetradek-1));
    mi[i] := prum_x;

    while (xt <= maxim[i] + 0.1*minim[i]) do begin
        pconst := 1/(xt*sigma[i]*sqrt(2*pi));
        fx := pconst*exp(sqr((ln(xt)-mi[i])/sigma[i])*(-0.5));
        chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
        xt := xt + 0.2;
    end;
    roz[i] := 1;
end;

2: begin

```

```

memo1.Lines.Clear;
//prirvyp := 0.1;
roz2[1] := 0;
roz2[2] := 0;
roz2[3] := 0;
roz2[4] := 0;
roz2[5] := 0;

for l := 1 to length(ksi_p) do begin
    ksi_p[l] := 0;
    param_p[l] := roz2;
end;

prirvyp := strtoint(edit21.text);

ncyklu := strtoint(edit14.Text);
nc := 1;

//edit16.Text := realstring(roz2[1]); // P

roz2[1] := strtoint(edit16.text); // P
roz2[2] := strtoint(edit17.text); // mi1
roz2[3] := strtoint(edit18.text); // sigma1
roz2[4] := strtoint(edit19.text); // mi2
roz2[5] := strtoint(edit20.text); // sigma2

param_p[1] := roz2;

{ roz2[2] := 3.3; // mi1
roz2[3] := 0.3; // sigma1
roz2[4] := 4.5; // mi2
roz2[5] := 0.3; // sigma2}

n := round(chart8.Series[i-1].Count/2);

n_grad;
pp := 0; pmi1 := 0; pmi2 := 0; psigma1 := 0; psigma2 := 0;
//vypocet parc.der. podle P
//vypocet parc.der. podle mi1
//vypocet parc.der. podle sigma1
//vypocet parc.der. podle mi2
//vypocet parc.der. podle sigma2

for l := 1 to n do begin
    x[l] := chart8.series[i-1].XValue[2*l-1] - (prirustek[i]/2);
    he[l] := chart8.series[i-1].YValue[2*l-1];
    pp := pp + (he[l] - ft(x[l], roz2))*(funkce(x[l],roz2[2],roz2[3]) -
funkce(x[l],roz2[4],roz2[5]));

```

```

    pmi1 := pmi1 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[2],roz2[3])*(x[l] - roz2[2]));
    psigma1 := psigma1 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[2],roz2[3])*(1-((x[l] -
roz2[2])/sqr(roz2[3]))));
    pmi2 := pmi2 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[4],roz2[5])*(x[l] - roz2[4]));
    psigma2 := psigma2 + ((he[l] - ft(x[l], roz2))*funkce(x[l],roz2[4],roz2[5])*(1 - ((x[l] -
roz2[4])/sqr(roz2[5]))));

end;
pdroz2[1] := pp * (2);
pdroz2[2] := (-1) * pmi1 * 2 * (1 - roz2[1]) / sqr(roz2[3]);
pdroz2[3] := psigma1 * 2 * (1 - roz2[1]) / roz2[3];
pdroz2[4] := (-1) * pmi2 * 2 * roz2[1] / sqr(roz2[5]);
pdroz2[5] := psigma2 * 2 * roz2[1] / roz2[5];

n_param;
//vypocet ksi
pksi := 0;
for l := 1 to n do begin
    pksi := pksi + sqr(he[l] - ft(x[l], roz2));
end;
ksi := pksi;
memo1.Lines.Add('Cyklus : ' + inttostr(nc));
memo1.Lines.Add('ksi : ' + floattostr(ksi));
ksi_p[nc] := ksi;

//vypocet novych parametru
for l := 1 to 5 do
    roz2n[l] := roz2[l] - prirvyp * pdroz2[l];

//zobrazeni parametru a parc.deerivaci
memo1.Lines.Add('P: ' + floattostr(roz2[1]));
memo1.Lines.Add('mi1: ' + floattostr(roz2[2]));
memo1.Lines.Add('sigma1: ' + floattostr(roz2[3]));
memo1.Lines.Add('mi2: ' + floattostr(roz2[4]));
memo1.Lines.Add('sigma2: ' + floattostr(roz2[5]));

for l := 1 to 5 do
    memo1.Lines.Add('Der. param.' + inttostr(l) + ' : ' + floattostr(pdroz2[l]));

//vypocet noveho ksi
pksi := 0;
for l := 1 to n do begin
    pksi := pksi + sqr(he[l] - ft(x[l], roz2n));
end;
ksin := pksi;

```

```

inc(nc);

//xt := minim[i] - 0.1*minim[i];
//xmax := maxim[i] + 0.1*minim[i];

if (nc > ncyklu) then goto konec;

//predani novych parametru
for l := 1 to 5 do
    roz2[l] := roz2n[l];

param_p[nc] := roz2;

if (ksin > ksi) then goto n_grad else goto n_param;

konec;

pos_minksi := 1;
ksin := ksi_p[1];
for l := 2 to ncyklu do
    if (ksi_p[l] < ksin) then begin ksin := ksi_p[l]; pos_minksi := l; end;

roz2 := param_p[pos_minksi];

edit16.text := realstring(roz2[1]);
edit17.text := realstring(roz2[2]);
edit18.text := realstring(roz2[3]);
edit19.text := realstring(roz2[4]);
edit20.text := realstring(roz2[5]);

memo1.Lines.Add('Nejmensi ksi: ' + floattostr(ksi_p[pos_minksi]));
memo1.Lines.Add('pri vypocetnim kroku: ' + inttostr(pos_minksi));

chart8.series[i-1 + 10].Clear;
xt := -50;
xmax := 200;
nmnoz := 0;
while (xt <= xmax) do begin
    //fx := ft(xt, roz2);
    fx := (1 - roz2[1])*funkce(xt,roz2[2],roz2[3]) +
roz2[1]*funkce(xt,roz2[4],roz2[5]);
    nmnoz := nmnoz + round(fx*mnoz_max);
    chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
    xt := xt + 0.2;
end;
memo1.Lines.Add('Pocet prvku dyn.mnoz: ' + inttostr(nmnoz));

```

```

reallocmem(dmnoz, nmnoz * sizeof(real));
setlength(mnozina,nmnoz);

xt := -50;
xmax := 200;
//nmnoz := 0;
l := 0;
startd := 0 ;
  while (xt <= xmax) do begin
    //fx := ft(xt, roz2);
    fx := (1 - roz2[1])*funkce(xt,roz2[2],roz2[3]) +
roz2[1]*funkce(xt,roz2[4],roz2[5]);
    nmnoz := round(fx*mnoz_max);
    if nmnoz > 0 then
      for m := startd to startd+nmnoz-1 do begin
        dmnoz^[m] := xt;
        mnozina[m] := xt;
        //memo1.Lines.Add(floattostr(dmnoz^[m]));
        end;
        startd := startd + nmnoz;
        //chart8.Series[i-1 + 10].AddXY(xt,fx);
        xt := xt + 0.2;
      end;
      memo1.lines.add('Velikost dyn.pole: '+ inttostr(startd));

      roz[i] := 2;
    end;
  end;
  //xt := xt + 1;
end;

```

```

procedure TForm1.Chart8ClickSeries(Sender: TCustomChart;
Series: TChartSeries; ValueIndex: Integer; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
var i,ends: integer;
    temp:array [1..1000] of double;
begin
colordialog1.Execute;
ends := series.YValues.Count;
for i:=0 to ends-1 do
series.ValueColor[i] :=colordialog1.color;
series.seriesColor := colordialog1.color;
end;

```

```

procedure TForm1.RadioButton5Click(Sender: TObject);
var i : integer;
begin
if radiobutton5.Checked then graphnorm := false else graphnorm := true;
for i := 0 to 29 do

```

```
chart8.Series[i].Active := false;

chart8.Title.Text.Clear;

i := strtoint(edit13.Text);

if graphnorm then begin
    chart8.Title.Text.Add('Normovaný histogram činnosti ' + edit13.text);
    chart8.Series[i-1 + 10].Active := true;
    chart8.Series[i-1].Active := true;
    chart8.LeftAxis.Maximum := (maxc[i] + 0.2*maxc[i])/pocetradek;
    chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
    chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
    chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
end else begin
    chart8.Title.Text.Add('Histogram činnosti ' + edit13.text);
    chart8.Series[i-1 + 20].Active := true;
    chart8.LeftAxis.Maximum := maxc[i] + 0.2*maxc[i];
    chart8.LeftAxis.Minimum := 0;
    chart8.BottomAxis.Minimum := minim[i] - 0.1*minim[i];
    chart8.BottomAxis.Maximum := maxim[i] + 0.1*minim[i];
end;

chart8.Refresh;

end;

procedure TForm1.ComboBox2Change(Sender: TObject);
begin
    if combobox2.ItemIndex = 2 then panel3.Visible := true else panel3.Visible := false;
end;

end.
```