

Technická Univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022-91 – Informatika a logistika

Statistická regulace v nestandardních podmínkách produkce s nízkým stupněm opakování

Statistical Process Control in Substandard Conditions of Production with Low Repeating Level

Bakalářská práce

Autor:

Radek Kliner

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Věra Pelantová, Ph.D.

V Liberci 27.5.2009

(místo tohoto listu
vložit originál zadání práce!)

(vloženo jen pro správné počítání
počtu stránek!)

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

27.5.2009

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucí bakalářské práce Ing. Věře Pelantové, Ph.D. za vedení práce a pomoc při získávání informací potřebných k jejímu vypracování. Zároveň bych také chtěl velmi poděkovat doc. Ing. Evě Jarošové, CSc. a prof. Ing. Josefu Arltovi, CSc. za cenné připomínky a rady při sestavování výpočtu.

Poděkování si zaslouží i má rodina a přátelé za podporu, kterou mě vyjadřovali po celou dobu studia.

Abstrakt

Variabilita procesu je zodpovědná za výkyvy v kvalitě produkce. Rušivé vlivy je třeba analyzovat a vytvářet podmínky ke stabilizaci procesu, aby bylo možné jak regulovat kvalitu výrobků, tak předvídat chování procesu. Preventivní opatření jsou vždy výhodnější, protože umožňují rychleji odhalit příčinu zhoršení kvality, odstranit ji, a tak zabraňují vzniku neshodných výrobků.

Hlavním cílem statistické regulace procesu je cestou zpětné vazby stabilizovat proces snížením variability produkce a predikovat chování procesu do budoucnosti. V současné době převažují krátké výrobní cykly a tato tendence bude spíše zesilovat. Short Run diagramy jsou zatím nejvhodnějším a ověřeným postupem jak regulovat tento typ produkčního procesu.

Postup SPC je aplikován na analýzu a regulaci procesu modelového příkladu výroby různých druhů teploměrů.

Abstract

Process variability is responsible for deviations in production quality. Interfering effects have to be analyzed and process stabilization measures have to be adopted in order to control output quality and predict process actions. Preventive measures are always more beneficial as they accelerate detection and elimination of quality deterioration causes, thus avoiding production of products out of compliance with customer specifications.

The main objective of statistical process control is to stabilize the process through feedback by minimizing production variability and predict the future process performance. The trend of short production cycles prevails at present and is likely to grow in the future. The Short Run diagrams have been the most convenient and best-proven production process controlling techniques so far.

The SPC procedure is applied to analysis and control of the model process of production of various types of thermometers.

Obsah

Prohlášení	4
Poděkování	5
Abstrakt	6
1. Úvod do problematiky statistické regulace s nízkým stupněm opakování.....	9
1.1. Variabilita procesu.....	9
1.2. Statistická regulace procesu.....	11
1.3. Regulace srovnáváním a měřením.....	13
1.4. Regulační diagramy	13
1.4.1. Konstrukce regulačních diagramů	15
1.4.2. Interpretace regulačních diagramů.....	16
1.4.3. Typy regulačních diagramů	20
1.4.4. Regulační diagramy typu Short Run.....	23
2. Specifikace nestandardních podmínek produkce.....	29
3. Vypracování návrhu přístupu k statistické regulaci v nestandardních podmínkách produkce s nízkým stupněm opakování.....	32
3.1. Postup SPC při výrobě teploměrů.....	33
3.1.1. Přípravná fáze	33
3.1.2. Fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu	34
3.1.3. Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu	35
3.1.4. Fáze vlastní statistické regulace procesu	35
3.2. Postup realizace SPC	35
3.2.1. Sběr dat, rozbor výrobního procesu.....	35
3.2.2. Výpočty a konstrukce diagramů	36
3.2.3. Analýza diagramů, výpočet způsobilosti	41
3.2.4. Regulace procesu	41
4. Závěr	42
5. Bibliografie	44

6. Obrázky	46
7. Rejstřík	47

1. Úvod do problematiky statistické regulace s nízkým stupněm opakování

Celosvětový růst populace následovaný růstem spotřeby, vede k nutnosti hospodárně nakládat se všemi zdroji, ať již to jsou finanční, surovinové či lidské zdroje. To znamená pečlivě řídit jejich využití a tedy udržovat poměr cena/výkon na zvolené úrovni, která odpovídá požadované kvalitě produkce. Toto optimální využívání je zajišťováno usměrňováním, tedy regulací procesů jak vzhledem ke zdrojům, tak i k požadavkům zákazníka a je realizováno pravidelnou kontrolou kvality procesu. Dalším neméně podstatným důvodem pro řízení procesů je rostoucí rozpor mezi zvyšující se náročností zákazníků, požadujících výhodné vlastnosti produktu a stálou kvalitou produktů, a velkými rozdíly vstupů, které jsou zodpovědné za proměnlivé chování procesů s proměnlivými výslednými produkty. (1)

Úroveň kvality procesu se nejlépe sleduje prostřednictvím nějakého znaku (znak kvality produktu nebo parametr procesu). Tento znak může být měřitelný (např. rozměr výrobku, hmotnost balení, spotřeba energie, doba do vyřízení objednávky), počítatelný (počet drobných vad na výrobku, počet poruch zařízení během určité doby atd.) nebo nabývá jedné ze dvou hodnot (výrobek má určitou vlastnost nebo nemá, faktura byla v určitém termínu zaplácena či nikoliv apod.). (2)

Hodnoty jakéhokoliv sledovaného znaku vykazují jistou proměnlivost - variabilitu, která je výsledkem působení velkého množství různých vlivů. I za relativně stálých podmínek působí objektivně na proces a jeho výstupy řada vlivů, které vedou k tomu, že nelze vyprodukovat dva zcela totožné produkty. Variabilita procesů je zodpovědná za výkyvy v kvalitě produkce. Nicméně tyto rušivé vlivy je možné analyzovat a vytvářet podmínky, aby na základě znalosti přirozených mezí variability bylo možné předvídat chování procesu do budoucnosti. (3) Hlavním cílem regulace je tedy stabilizovat proces a zmenšit variabilitu sledovaného znaku (regulované veličiny) na minimum.

1.1. Variabilita procesu

Odchytky ve výrobním procesu způsobené variabilitou mohou být škodlivé, které vedou k nepřijatelným odchylkám. Jejich příčiny je nutné omezit nebo zamezit

jejich opětovnému výskytu. Tyto odchylky mohou být pro kvalitu produktu i prospěšné. Ty je také nutné identifikovat, ale proto, aby byly v procesu zafixovány. (1)

Podle typu vyvolávající příčiny lze variabilitu rozdělit na vyvolanou náhodnými - přirozenými příčinami a na variabilitu působenou vymezitelnými vlivy - příčinami. (4)

1) **Vymezitelné vlivy** (identifikovatelné) lze zjistit a odstranit. Každý vliv samostatně způsobuje velkou odchylku kvality od dané úrovně. Patří sem rozdíly mezi stroji, obsluhou, materiály, postupy, rozdíly v činnosti stroje před údržbou a po údržbě, poškození stroje, nástup nového pracovníka, změna materiálu, opotřebení nástrojů,...). Nepůsobí za běžných podmínek a vyvolávají reálné změny procesu. Tyto vlivy mění původní rozdělení pravděpodobnosti znaku kvality. Tyto vlivy lze dále rozdělit na:

- **Sporadické vymezitelné vlivy** vznikají náhle, vyvolaná změna trvá krátce a bývá většího rozsahu. V budoucnu se mohou opakovat.
- **Přetrvávající příčiny** vyvolávají po určitou dobu trvající odchylky, které se odrazí v parametrech pravděpodobnosti rozdělení sledovaného znaku.

I po odstranění vymezitelných příčin budou na proces působit různé další vlivy, které jsou neidentifikovatelné, které odstranit nelze nebo je jejich odstranění ekonomicky neúnosné. Tyto příčiny jsou vlastní danému procesu a označují se jako náhodné.

2) **Náhodné vlivy** (šumy) se vyskytují i za podmínek, že je proces v optimálním stavu. Každá z těchto příčin přispívá ke kolísání nepatrnou měrou. Jsou způsobeny nekontrolovatelnými příčinami. Lze je obecně snížit pouze změnou procesu. Jsou jednotlivě neidentifikovatelné, je jich velký počet, ale každý sám působí v malém rozsahu a žádný výrazně nepřevyšuje ostatní (kolísání teploty nebo vlhkosti prostředí, chvění stroje, nehomogenita materiálu, lidský faktor,...). Tyto vlivy způsobují, že proces, respektive hodnoty jeho znaku kvality, mají stabilní rozdělení pravděpodobnosti, jehož parametry lze odhadnout. Proto lze předvídat chování procesu a proces je ve statisticky zvládnutém stavu.

Zdroje variability jsou:

- **externí** - způsobené změnami podmínek okolí,
- **procesní** - způsobené nekonstantností procesních parametrů,
- **přiřaditelné** - způsobené např. změnou kvality suroviny, špatným seřízením strojů, opotřebením pracovních nástrojů, stárnutím materiálů a různými skokovými změnami externích, resp. procesních, proměnných ovlivňujících stav procesu.

Metody řízení kvality se snaží najít a eliminovat právě tyto přiřaditelné zdroje variability, které lze provedením usměrňujícího (regulačního) zásahu eliminovat a převést proces zpět do stavu, kdy jej ovlivňují jen náhodné šумы, tedy kdy je ve zvládnutém stavu. (5)

Snížení variability procesu vede ke stejnoměrné výrobě s menší pravděpodobností výskytu neshodných výrobků. Následkem toho výroba produkuje méně odpadu a jednotek vyžadujících přepracování, a tedy má nižší náklady vyvolané poruchami procesu. Je tak možné i snížit frekvenci a zmenšit rozsah kontroly. Všechny tyto faktory snižují nákladovost procesu a podporují spokojenost zákazníka. Proto je třeba rušivé vlivy způsobené variabilitou procesů analyzovat a vytvářet takové podmínky, aby variabilita procesu byla stabilní a aby bylo možné, na základě znalosti přirozených mezí variability, předvídat chování procesu do budoucnosti. (3)

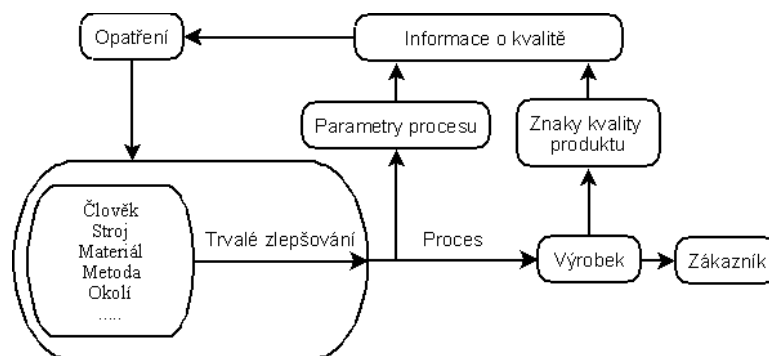
1.2. Statistická regulace procesu

Při klasickém způsobu výroby a jejího hodnocení přichází informace o problémech ve výrobním procesu často pozdě. Preventivní opatření, tedy průběžná kontrola procesu, jsou vhodnější, protože v případě zhoršení kvality je možné rychle odhalit příčinu a odstranit ji, a zabránit tak vzniku nekvalitních (neshodných) výrobků. Protože na základě informace z výstupu je působeno na vstup, používá se termín regulace nebo zpětnovazebná regulace. Vzhledem k tomu, že pro analýzu dat jsou aplikovány statistické metody, je postup nazýván statistickou regulací procesu (SPC, Statistical Process Control). (2)

Nutnost využívat statistické metody pro zajišťování kvality vyplynula historicky ze situace, kdy vlivem zvyšujícího se objemu výroby nebylo možné kontrolovat kvalitu každého jednotlivého produktu. V současnosti je hlavním důvodem nutnosti využívání statistických metod nekonečné množství příčin variability každého vstupu do procesu, protože to vede k trvalé přítomnosti variability ve výstupech. Právě využívání statistických metod umožní variabilitu popsat, poznat a na základě těchto poznatků i ovlivňovat proces. (1)

Statistická regulace procesu (SPC) je tedy bezprostřední a průběžnou kontrolou procesu, a v tom se odlišuje od klasických nástrojů řízení kvality. Je založena na matematicko-statistickém vyhodnocování kvality produkce. Poskytuje informace pro operativní a včasné zásahy do procesu. Jejím cílem je dosažení a udržování procesu

ve statisticky zvládnutelném stavu, aby se zajistila shoda produktů se specifikovanými požadavky (tzv. způsobilý proces). (3) Na základě včasného odhalování významných odchylek v procesu od předem stanovené úrovně tak umožňuje realizovat zásahy do výroby s cílem proces dlouhodobě udržovat na přípustné a stabilní úrovni nebo dokonce jej zlepšovat. Statistická regulace procesu je tedy nástrojem preventivním. (6)



Obrázek 1: Schema SPC pro udržování regulovaného stavu a zlepšování.

Ačkoli je často zmiňován pouze výrobní proces, lze metody statistické regulace uplatnit i v nevýrobní sféře - v administrativě, službách aj. Nepůjde zde tak často o operativní zásahy do procesu, ale převážně o jeho analýzu s cílem budoucího zlepšení. Pojem proces je tedy třeba chápat v širším smyslu. (2)

Hlavním cílem SPC je tedy cestou zpětné vazby stabilizovat proces a zmenšit variabilitu sledovaného znaku (regulované veličiny) na minimum tak, aby působily pouze náhodné příčiny. Pak je proces pod kontrolou, tedy ve statisticky zvládnutém stavu. Další vlastností této regulace je možnost předpokladu chování procesu do budoucna, SPC má tedy i predikativní charakter. Dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutelném stavu má 4 fáze (6):

- 1) přípravná - slouží k identifikaci cílů regulace,
- 2) zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu - identifikuje a minimalizuje působení vymezených vlivů a vytváří podmínky pro zamezení jejich vlivu,
- 3) analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu - kontroluje, zda zvládnutý proces dosahuje požadavků stanovených v přípravné fázi, které reflektují požadavky zákazníka, tedy zda je proces i způsobilý k produkci, k výrobě,
- 4) vlastní statistické regulace procesu - signalizuje, identifikuje a odstraňuje poruchy ve stabilitě procesu, které by mohly vést ke vzniku neshodných produktů.

1.3.Regulace srovnáváním a měřením

Aby bylo možné proces hodnotit a regulovat, je nutné ho objektivně sledovat v čase. Nejjednodušším způsobem je sledování prostřednictvím znaku kvality produktu nebo parametru procesu. Ty mohou být **kvantitativní** (měřitelné nebo počítatelné) nebo **kvalitativní**, tedy nabývat jedné ze dvou hodnot ano/ne (výrobek má určitou vlastnost nebo nemá). (2)

V případě procesů s pouze kvalitativními znaky kvality je možné produkty hodnotit porovnáním se standardem, etalonem. Toto srovnání má pouze dva možné výsledky - shodný = vyhovující a neshodný = nevyhovující (7), případně je možné sledovat počet neshod stejného druhu na daném výrobku nebo sčítat počty neshod různých druhů. Procesy jsou pak regulovatelné na základě srovnávání produktů, dochází tedy k **regulaci srovnáváním**. Nevýhodou tohoto druhu regulace je, že neumožňuje předcházet výskytu neshod a že je potřeba větší velikost výběru (cca 50 jednotek). (1) Její výhodou je často levnější získání znaku kvality v porovnání s měřením, ale zejména možnost sledování více znaků najednou v jednom diagramu a také jejich jednodušší konstrukce. S ohledem na charakter dat (ano/ne) je zde binomické nebo Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti.

Oproti tomu v procesech s měřitelnými nebo počítatelnými znaky kvality dochází k **regulaci měřením**. Kvantitativní hodnota znaku obsahuje více informací. Proto lze pomocí naměřených údajů analyzovat proces a včas signalizovat zhoršování kvality. Je tedy možné ji použít jako metodu preventivní. Je také možné kvantifikovat zlepšování, i když jsou všechny jednotlivé hodnoty uvnitř mezních hodnot. Působí-li na proces náhodné příčiny, mají pak naměřené hodnoty normální rozdělení (podle Gaussovy křivky). Získání hodnot veličiny znaku kvality je většinou nákladnější a delší než v případě regulace srovnáváním, ale rozsah výběru postačujícího pro statistickou analýzu je menší (cca 4-5 jednotek/podskupinu). (3)

1.4.Regulační diagramy

Základním nástrojem SPC je regulační diagram. Je to graf, který znázorňuje variabilitu procesu dynamicky. Umožňuje oddělit náhodné příčiny variability procesu od příčin vymezených. Je to také statistické testování hypotéz grafickou cestou, kdy nulová hypotéza znamená, že proces je ve statisticky zvládnutém stavu. Její zamítnutí

ukazuje na statisticky nezvládnutý proces, což vyvolává zásah do procesu s nutností vyhledat a poté odstranit vymežitelné příčiny variability. (3)

Jednou ze základních funkcí regulačního diagramu je poskytnout signál, když v procesu začne působit vymežitelná příčina a vyhnout se zbytečnému signálu, pokud ke změně nedochází. (6) Tyto dvě chyby:

I. druhu - riziko falešného signálu

II. druhu - riziko chybějícího signálu

nastávají v případě, že se bod regulačního diagramu dostane vně nebo naopak dovnitř rozmezí daného regulačními mezemi v rozporu se skutečností.

Proces je pod kontrolou (stabilní), pokud sledované veličiny splňují požadavky na kritéria. (4) Jsou-li v regulačním diagramu body mimo akční meze nebo tvoří určitá tzv. nenáhodná seskupení, pak proces není ve statisticky zvládnutém stavu. V tomto případě je nutný regulační zásah do procesu. (2) Falešný signál nastává v případě, že proces je statisticky zvládnutý, tedy pod kontrolou, ale některý bod se shodou okolností objeví vně regulačních mezí. Regulační meze jsou konstruovány tak, aby pravděpodobnost chyby I. druhu bylo velmi malé.

V druhém případě je proces ve stavu statisticky nezvládnutém, ale vyneseny bod náhodou zůstal mezi regulačními mezemi. Chybí tedy signál k hledání vymežitelné příčiny, a proto nedojde včas k zásahu. Tato chyba může mít horší následky než falešný signál, kdy vznikají náklady na odhalování vymežitelných příčin, protože proces může produkovat neshodné výrobky delší dobu a vznikají nejen náklady na jejich opravu nebo likvidaci, ale ještě náklady na uvedení procesu zpět do statisticky zvládnutého stavu. Chyba II. druhu závisí na rozsahu podskupin a na velikosti odchylky od statisticky zvládnutého stavu. Aby se snížilo riziko chyby II. druhu, považuje se za signál k hledání vymežitelné příčiny nejen výskyt bodu vně regulačních mezí, ale také překročení tzv. varovných mezí, které jsou umístěny blíže k centrální přímce, dvěma body za sebou nebo existence nápadných seskupení v posloupnosti několika bodů (viz kapitola 1.4.2. (2)

Pro regulaci srovnáváním se vypracovává jeden graf (p, np, c, u), pro regulaci měřením se tvoří párové grafy, kdy první sleduje stabilitu polohy procesu, a druhý určuje míru stejnoměrnosti rozptylu procesu. Nejčastější dvojice jsou pro výběrový průměr a výběrové rozpětí (\bar{x} , R), výběrový průměr a výběrové směrodatné odchylky (\bar{x} , s), nebo pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí (x_i , \bar{R}), nebo pro medián a výběrové rozpětí (\tilde{x} , R). (2)

1.4.1. Konstrukce regulačních diagramů

Základem regulačního diagramu je posloupnost výběrů v čase, které jsou reprezentované výběrovými ukazateli. To vypovídá o okamžitém stavu procesu vůči regulačním mezím. Ty jsou stanovené na základě variability vyvolané pouze náhodnými příčinami.

Výběry, které se používají pro SPC, mohou být náhodné nebo mohou tvořit logické podskupiny. Jak už vyplývá z termínu, náhodné výběry jsou konečné soubory náhodně vybraných jednotek reprezentujících hypotetický základní soubor. Při opakování náhodného výběru jsou výsledky mírně odlišné vlivem náhodných příčin působících při provádění výběru. Oproti tomu logickou podskupinu tvoří jednotky záměrně odebrané za identických podmínek (stejná směna, stejný čas, stejný pracovník, stejný způsob - např. posledních 10 kusů ze série,...). Nebývají vybrány náhodně a poskytují informace o variabilitě uvnitř podskupiny způsobené pouze náhodnými vlivy anebo o variabilitě mezi podskupinami, která je obvykle způsobena vymezitelnými vlivy.

Vodorovná osa je časová linie, na kterou se chronologicky vynášejí jednotlivá čísla výběrů podskupin zkoumané regulované veličiny resp. parametru procesu. Svislá osa představuje stupnici pro regulovanou veličinu, použitou pro testování stability procesu. Do diagramu se vynášejí hodnoty regulované veličiny, získané při jednotlivých měřeních, jako body. Sousední body se spojují úsečkami, aby bylo možné pozorovat trend ve změnách hodnot regulované veličiny.

Každý regulační diagram má **střední přímkou (CL)**, která odpovídá požadované hodnotě sledovaného znaku. Je určována jako nominální hodnota (např. daná technickým předpisem pro výrobu produktu), vychází ze zkušeností s procesem výroby nebo odhadem z regulované veličiny, zjištěné ve fázi zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu. (2)

Dalšími nutnými hranicemi jsou **horní a dolní regulační mez (UCL, LCL)**, které vymezují pásmo působení pouze náhodných příčin variability. Tyto hranice jsou základním rozhodovacím kritériem pro zásah do procesu a lze je nazývat **akční meze**.

V některých případech lze ještě stanovit **výstražné meze (UWL, LWL)**, které vždy vymezují pásmo užší než akční meze, nejčastěji 2σ . Výpočet polohy střední přímkou, v případě že není daná jmenovitě, a polohy akčních, případně výstražných mezí je závislý na typu regulačního diagramu.

1.4.2. Interpretace regulačních diagramů

Do regulačního diagramu jsou v pravidelných časových intervalech vynášeny hodnoty regulované veličiny, které se porovnávají s kritériem (nebo několika), které bylo stanoveno pro shodný produkt. Toto kritérium netvoří jedna hodnota - CL, ale interval hodnot mezi horní a spodní regulační mezí - UCL, LCL.

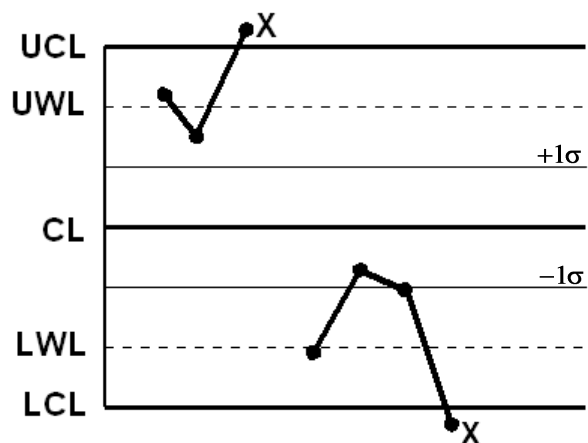
Hodnoty regulačních mezí závisí na volbě hladiny významnosti α , která představuje pravděpodobnost chyby I. druhu. Klasické Shewhartovy diagramy zohledňují pouze riziko $\alpha = 0,0027$. Při této hodnotě rizika α jsou akční regulační meze ve vzdálenosti $\pm 3 \sigma$ od daného testového kritéria od střední přímky CL. Počítá se s normálním rozdělením pravděpodobnosti znaku kvality, ve kterém platí, že v intervalu $\pm 3\sigma$ leží 97,3 % všech hodnot. (2)

Riziko chyby II. druhu zmenšuje 8 „testů vymezitelných příčin“, což jsou určitá popsaná seskupení (iterace) bodů v diagramech. (8) Objeví-li se v diagramu některé z těchto známých seskupení, je třeba hledat příčinu stejně, jako když se objeví některý bod vně regulačních mezí.

Jsou-li všechny body regulované veličiny uvnitř intervalu vymezeného akčními mezemi UCL a LCL, považuje se proces za statisticky zvládnutý. Nepůsobí žádná vymezitelná příčina, která by vyžadovala zásah do jeho průběhu.

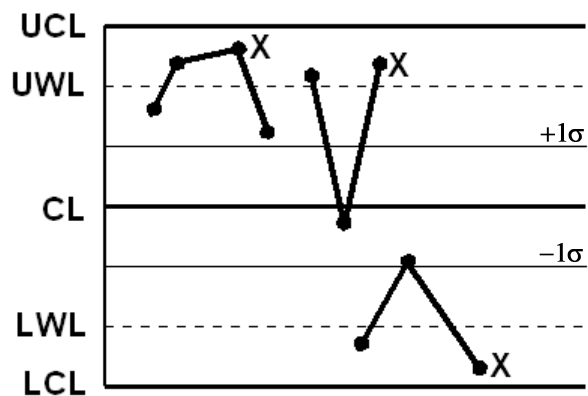
Testy nenáhodných seskupení (vymezitelných příčin):

- Leží-li některý bod regulované veličiny vně intervalu vymezeného akčními mezemi UCL a LCL, považuje se proces za statisticky nezvládnutý. V tomto případě je nutné najít vymezitelnou příčinu, která tuto odchylku způsobila a přijmout opatření k jejímu odstranění.



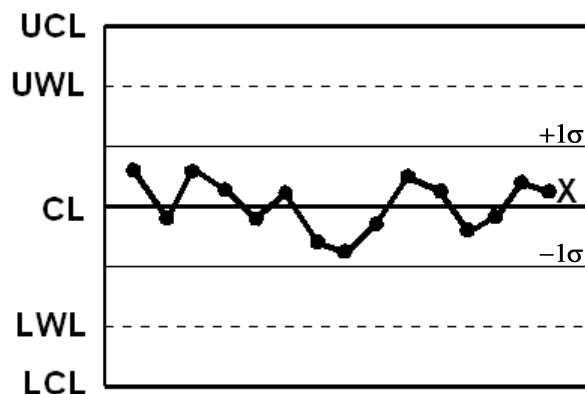
Obrázek 2: Hodnota regulované veličiny mimo regulační meze UCL, LCL.

- Leží-li jakýkoliv bod regulované veličiny vně výstražných mezí, tedy mezi mezemi UWL a UCL, resp. mezi mezemi LWL a LCL, pak je vhodné bez ohledu na kontrolní interval provést další výběr hodnot regulované veličiny. Jestliže nový bod, odpovídající tomuto výběru, leží mezi výstražnými mezemi, není třeba do procesu zasahovat. Jestliže i tento bod leží vně výstražných mezí, je to signál, že na proces působí s velkou pravděpodobností vymezitelná příčina a je nutné provést regulační zásah. (4)



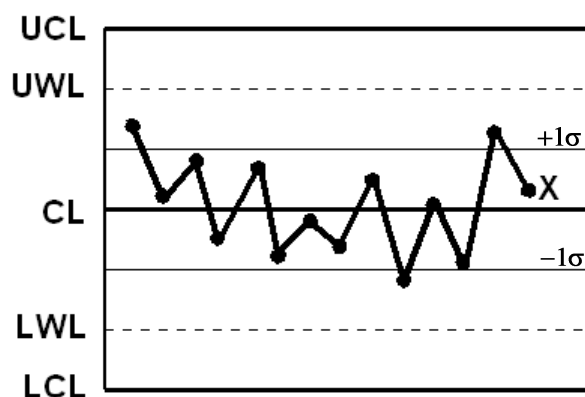
Obrázek 3: 2 ze 3 hodnot mimo UWL, LWL.

- 15 bodů za sebou je uvnitř intervalu $\pm 1\sigma$. Toto seskupení ukazuje na snížení variability mezi podskupinami. Buď došlo k nesprávné volbě regulačních mezí, nebo jsou vyneseny hodnoty regulované veličiny vymyšlená čísla.



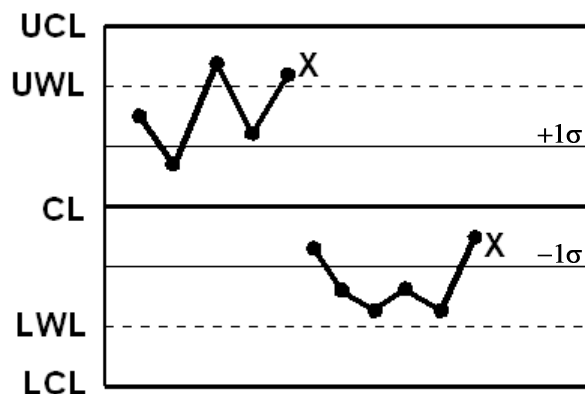
Obrázek 4: 15 hodnot uvnitř $\pm 1\sigma$.

- 14 bodů za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů. V tomto případě jde pravděpodobně o přeregulovaný nebo nestabilní proces, může jít i o autokorelovaná, tedy závislá měření nebo vymyšlené hodnoty regulované veličiny.



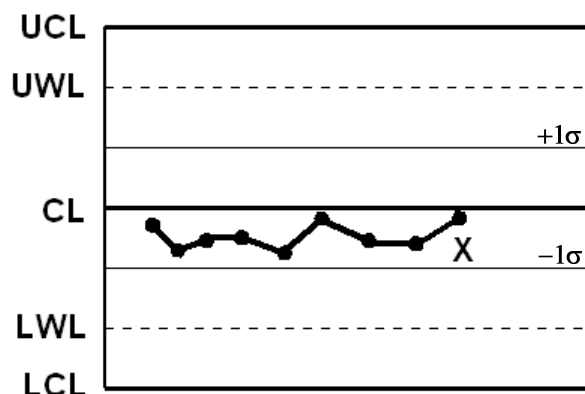
Obrázek 5: Pravidelné kolísání 14 hodnot nahoru a dolů.

- 4 z 5 bodů za sebou je mimo interval $\pm 1\sigma$ na téže straně od CL ukazují na pravděpodobné posunutí střední hodnoty. Seskupení varuje před možným překročením regulačních mezí.



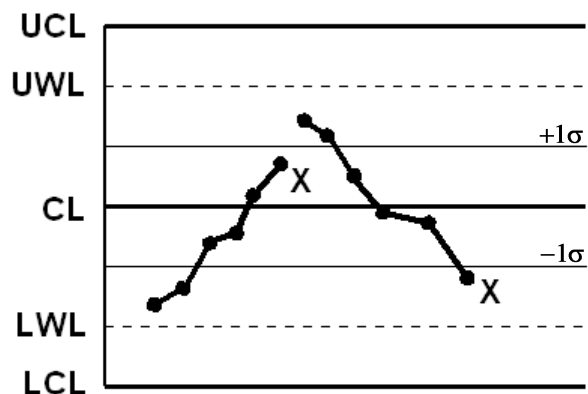
Obrázek 6: 4 z 5 bodů za sebou mimo interval $\pm 1\sigma$ na téže straně od CL.

- 9 bodů za sebou leží pod nebo nad CL. Asymetrie dat naznačuje, že pravděpodobně došlo k posunutí střední hodnoty. Zároveň je snížena variabilita mezi podskupinami nebo příliš široké případně neodpovídající regulační meze.



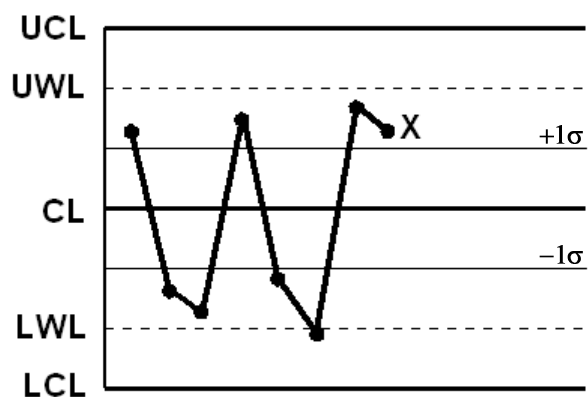
Obrázek 7: 9 hodnot za sebou leží pod nebo nad CL.

- 6 bodů za sebou monotónně roste nebo klesá. Lineární trend může být způsobený opotřebením nástrojů/strojů nebo změnou měřidla, popř. kontrolora. Může také jít o příliš široké regulační meze.



Obrázek 8: 6 hodnot za sebou roste nebo klesá.

- 8 bodů za sebou je mimo interval $\pm 1\sigma$ po obou stranách od CL. Došlo ke zvýšení variability mezi podskupinami. Diagram varuje před překročením regulačních mezí a možnou poruchou procesu.



Obrázek 9: 8 hodnot za sebou je mimo interval $\pm 1\sigma$.

1.4.3. Typy regulačních diagramů

Norma ČSN ISO 8258:1994 (8) rozděluje regulační diagramy do dvou skupin, na diagramy pro regulaci srovnáváním a regulaci měřením. (2)

Do první skupiny (regulace srovnáváním) patří:

- diagram pro podíl neshodných jednotek (diagram p) a diagram pro počet neshodných jednotek (diagram np) - pro binomické rozdělení,

- diagram pro počet neshod (diagram c) a diagram pro počet neshod na jednotku (diagram u) - pro Poissonovo rozdělení.

Do druhé skupiny (regulace měření) jsou zařazeny:

- diagram pro průměr a diagram pro rozpětí (\bar{x} , R)

centrální přímk a regulační meze diagramu pro výběrové průměry se vypočítají podle vzorců:

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{x}_j, UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\bar{R}}{d_2}, LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\bar{R}}{d_2}$$

centrální přímk a regulační meze diagramu pro rozpětí:

$$CL_R = \bar{R}, UCL_R = \bar{R} \cdot D_4, LCL_R = \bar{R} \cdot D_3$$

- diagram pro průměr a diagram pro směrodatnou odchylku (\bar{x} , s)

směrodatná odchylka pro j -tý výběr:

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}$$

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k s_j^2}$$

regulační meze diagramu pro směrodatnou odchylku:

$$UCL_s = B_4 \cdot \bar{s}, LCL_s = B_3 \cdot \bar{s}$$

$$LCL_{\bar{x}}, UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \pm A_3 \cdot \bar{s}$$

- diagram pro individuální hodnoty a diagram pro klouzavé rozpětí (x_j , MR)

regulační meze diagramu pro klouzavé rozpětí:

$$UCL_R = \bar{R} \cdot D_4, \text{tedy } UCL_R = \bar{R} \cdot 3,267$$

regulační meze diagramu pro individuální hodnoty:

$$LCL_x, UCL_x = \bar{\bar{x}} \pm \bar{R} \cdot 2,660$$

- diagram pro medián a diagram pro rozpětí (Me, R)

regulační mez diagramu pro rozpětí:

$$UCL_R = \bar{R} \cdot D_4$$

regulační meze diagramu pro medián:

$$LCL_{Me}, UCL_{Me} = \overline{Me} \pm A_4 \cdot \bar{R}$$

kde:

A_3, D_4, B_3 , a další koeficienty jsou součinitelé pro různé rozsahy podskupin d_2 je tzv. Hartleyova konstanta, závislá na rozsahu výběru n a odvozená za předpokladu, že regulovaná náhodná veličina má normální rozdělení. Její hodnoty jsou tabelovány.

Tabulka č.1: Výběr tabelovaných součinitelů pro různé rozsahy podskupin (8)

Rozsah podskupiny n	Součinitelé pro výpočet CL, UCL, LCL							
	A_2	A_3	B_3	B_4	D_3	D_4	C_4	d_2
2	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	3,267	0,7979	1,128
3	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,574	0,8862	1,693
4	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,282	0,9213	2,059
5	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	2,114	0,9400	2,326
6	0,483	1,287	0,030	1,970	0,000	2,004	0,9515	2,534
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	0,9594	2,704
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	0,9650	2,847
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	0,9693	2,970
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777	0,9727	3,078

Další možnosti jak dělit regulační diagramy je:

a) podle počtu hodnocených znaků:

- **Shewhartovy diagramy** - klasické, pro sledování jednoho znaku, pro vysoký stupeň opakovatelnosti procesu, bez paměti, pro nezávislá data
- **Hotellingův diagram** - sledování více znaků, které mohou být i korelované.

Výpočet se provádí podle vzorce:

$$T_j^2 = n \cdot (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^T \cdot C^{-1} (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}}), \text{ pro } j = 1, 2, \dots, k$$

$$UCL = \left(\frac{k \cdot n \cdot m - k \cdot m - n \cdot m + m}{k \cdot n - k - m + 1} \right) \cdot F_{(m, k \cdot n - k - m + 1)}(\alpha)$$

kde:

n – rozsah podskupiny

\bar{x}_j – vektor výběrových průměrů všech znaků kvality v j -tém výběru

$\bar{\bar{x}}$ – vektor, pomocí něhož odhadujeme hodnoty pro simultánně sledované znaky kvality

C – kovariační matice

$F_{(m, k \cdot n - k - m + 1)}(\alpha)$ – kritická hodnota Fischerova – Snedecorova rozdělení

- **Multivariate CUSUM** – varianta CUSUM (Cumulative Sum) pro více hodnocených znaků
- **Multivariate EWMA** – varianta EWMA (Exponentially Weighted Moving Averages) pro více hodnocených znaků

b) podle zahrnování předchozích hodnot do výpočtu aktuální hodnoty regulované veličiny (tzv. paměti):

- **CUSUM** (Cumulative Sum) – s pamětí, reaguje i na velmi malé odchylky parametrů rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny
- **MA, EWMA** (Exponentially Weighted Moving Averages) – diagramy s neomezenou nerovnoměrnou pamětí, pro klouzavé průměry, vlastnosti jsou určovány parametrem λ
- **AR, ARMA, ARIMA** (Auto-Regressive Integrated Moving Average) – autoregresivní proces, autokorelační funkce, stochastická koncepce modelování časových řad při použití autoregresivních integrovaných modelů klouzavých průměrů (9)

1.4.4. Regulační diagramy typu Short Run

Tradiční SPC potřebuje pro smysluplnou analýzu statistickými metodami 20 (10), podle jiných zdrojů i 25 (11) nebo více výběrů (1) po 5 jednotkách (doporučení normy ČSN ISO 8258) (8). Quesenberry (12) oponuje, že pro tvorbu některých typů diagramů je třeba více dat, než bylo kdy doporučováno. Jestliže je tedy dostupný pouze nižší objem dat - produkce v řádu kusů nebo výrobní proces probíhá pouze omezenou dobu, je možné pro kontrolu výrobního procesu použít regulační **diagramy** typu **Short Run** (SR). Jejich těžištěm jsou provozy sestavující komplexní produkty z mnoha součástí, flexibilní produkce a „just in time“ techniky (např. produkce v době krize,...) nebo zakázková či individuální výroba a všechny ostatní procesy s nízkým stupněm opakovatelnosti a s krátkými výrobními cykly. Tyto provozy se vyznačují často se měnícím nastavením strojů nebo častou změnou parametrů jednotlivých produktů (tedy většinou málo kusů s např. různou velikostí). Častá změna nastavení výrobních strojů může vést k zanášení specifické variability do výrobního procesu. Není u nich vhodné nebo možné použít klasické postupy SPC právě s ohledem na nedostatek dat, a tedy s malou jistotou, že klasické statistické postupy budou dostatečně přesné a citlivé nebo

by měly delší dobu účinnosti, případně by výroba skončila dříve než by byl odebrán dostatečný počet výrobků pro sestavení diagramů. Informace, že je proces statisticky nezvládnutý, by tedy přišla až se zpožděním a způsobila by hlubší ztráty v produkci. Další nevýhodou klasických systémů SPC může být ztráta pružnosti z důvodu velkého množství samostatných regulačních diagramů.

Výhodou základních Short Run diagramů je jejich jednoduchost, rychlost a snížení nároků na vyplňování záznamových formulářů (hodnoty všech regulovaných veličin jsou vynášeny do stejného diagramu). To vše vede ke zvýšení výkonnosti pracovníka-operátora. SR regulační diagramy redukuje počet grafů na 2 nebo 1 bez ohledu na počet znaků kvality na produkt. Nicméně délka regulačních diagramů roste s počtem sledovaných znaků kvality. Další nevýhodou je častější možnost nepřesné interpretace (12), zejména jestliže je hodnoceno více než 7 znaků kvality. (13)

Před započítáním výpočtu regulačních mezí klasickým způsobem je třeba shromáždit několik skupin měření. U procesů, kde se vyrábí jen omezený počet kusů v určité části výrobního procesu, je to často značně problematické. V provozech, kde se mění nastavení již po krátké době produkce jednoho typu výrobku je možné regulační meze vypočítávat z dat krátkých produkčních cyklů transformovaných pro všechny typy produktů. Pomocí transformace se převádí hodnoty sledovaných regulovaných veličin tak, aby byly srovnatelné napříč různými krátkými produkčními cykly.

Regulační meze vypočítávané pro tato transformovaná data pak mohou být aplikovány pro monitorování všech sledovaných regulovaných veličin bez ohledu na typ produktu. Pak mohou být postupy SPC použity pro stanovení, zda je proces pod kontrolou, k monitorování průběhu procesu i ke stanovení postupů ke stálému zvyšování kvality. Nicméně transformace dat s ne zcela identickou variací zanáší nepřesnosti do celkového výpočtu vedoucí k menší citlivosti SR diagramů na změny polohy výrobního procesu. Aby mohly být nepřesnosti vzniklé transformací dat ignorovány a výsledky analýzy považovány za spolehlivé, je třeba pro sestavování SR diagramů použít větší množství hodnot získaných z výrobního procesu. (14)

Existuje několik typů Short Run diagramů. Stejně jako u klasických SPC se rozdělují na diagramy pro regulaci srovnáváním a měřením.

a) Short Run diagramy pro regulaci měřením:

Základními typy pro měřené hodnoty regulované veličiny jsou **nominální (DNOM)** a **cílové diagramy**. Před vynesemím hodnot do diagramu je každé měření (každá podskupina) transformováno odečítáním konstanty specifické pro daný krátký

produkční cyklus. Touto konstantou mohou být buď nominální/jmenovité hodnoty (nominální SR diagramy) nebo cílové hodnoty vypočtené z již dříve zjištěných dat z jednotlivých krátkých cyklů (např. průměrů pro cílový diagram pro \bar{x} , R) (cílové SR diagramy). Podmínkou pro tyto diagramy je, že odchylka (proměnlivost - kolísání jednotlivých hodnot) zůstává stabilní pro všechny produkty, i když se jejich hodnoty pro znak kvality mění. (10,15) Potom jsou regulační meze založené na běžném odhadu σ procesu použitelné. Další podmínkou je, že jmenovité hodnoty nesmí být použity pro nastavení akčních mezí. (14)

Cílové diagramy se konstruují pro (6):

- pro průměr a rozpětí - \bar{x} , R
- pro průměr a směrodatnou odchylku - \bar{x} , s
- pro individuální hodnoty a klouzavé průměry - x_j , MR

V případě cílových regulačních diagramů pro \bar{x} , R se nejdříve sestaví diagram pro výběrové rozpětí R, a to stejným způsobem, jako u klasických Shewhartových diagramů. Střední příčka $CL(R)$ a akční meze $UCL(R)$ a $LCL(R)$ jsou opět určeny pomocí příslušných vzorců pro klasický digram (viz kapitola 1.4.3.). Konstantu d_2 pro výpočet σ je možné vypustit v případě, že je pro všechny produkty stejná velikost podskupin. Je-li velikost podskupiny = 1, měl by být vypočtena σ^2 klouzavými průměry. (14)

Je-li proces z hlediska variability statisticky zvládnutý, je možné sestavit cílový regulační diagram pro \bar{x} podle vzorců:

$$\bar{\bar{x}}_C = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - C) = \bar{\bar{x}} - C$$

$$CL_C(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}_C, \quad LCL_C(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}_C - A_2\bar{R}; \quad UCL_C(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}_C + A_2\bar{R}$$

V opačném případě není vhodné sestavovat cílový regulační diagram pro \bar{x} . (16)

V cílových regulačních diagramech pro \bar{x} a R se výběry pro jednotlivé produkty oddělují svislými přerušovanými čarami, aby bylo možné sledovat změny vyvolané jednotlivými produkty.

Jestliže se poloha bodů $\bar{x}_i - C$ vůči $CL_C(\bar{x})$ pro různé produkty nebo součásti liší, je variabilita procesu pro jednotlivé produkty různá. To může být způsobeno např. rozdílným nastavením strojů, kvalitou použitého materiálu, případně dalšími podmínkami. Jestliže je ve vynesných bodech $\bar{x}_i - C$ patrný trend probíhající celým

regulačním diagramem, může to signalizovat působení vymezipitelného vlivu a je třeba provést potřebná opatření pro jeho vyloučení. (2)

Do cílového SR diagramu pro \bar{x} se navíc zakresluje přímka, rovnoběžná s časovou osou, procházející na svislé ose nulou. Odchylky $\bar{x}_i - C$ od této nulové hodnoty se interpretují následovně:

- když $\bar{x}_i - C = 0$, znamená, že průměr měření v i-tém výběru je roven cílové hodnotě,
- když $\bar{x}_i - C > 0$, průměr měření v i-tém výběru je nad cílovou hodnotou,
- když $\bar{x}_i - C < 0$, průměr měření v i-tém výběru je pod cílovou hodnotou,

Jestliže hodnoty $\bar{x}_i - C$ pro určitý produkt náhodně kolísají kolem nuly, znamená, že proces je správně nastaven na cílovou hodnotu.

Druhým typem SR diagramů pro regulaci srovnáváním jsou **standardizované diagramy**. Na rozdíl od předchozích typů předpokládají, že odchylka (proměnlivost - kolísání jednotlivých hodnot) nezůstává stabilní pro všechny produkty v jednotlivých krátkých produkčních cyklech. Proto je třeba ještě další transformace než mohou být hodnoty pro různé typy produktu vyneseny do jednoho diagramu.

Transformace u standardizovaných diagramů probíhá tak, že hodnoty regulovaných veličin jsou dále transformovány dělením odchylky vzorku od průměru (nebo nominální či cílové hodnoty) specifickou konstantou, která je proporční k variabilitě pro příslušnou část diagramu (skupina ~ výrobek). Přesný postup transformace však není jednotný a ustálený, protože možnosti (podmínky) transformace s sebou mohou do regulačních diagramů vnášet rizika zavádějících interpretací, falešně pozitivních i negativních signálů (riziko falešného nebo chybějícího signálu). (12,14) Podle možností kombinace známých nebo neznámých (odhadovaných z hodnot získaných ve výrobním procesu) veličin cílové hodnoty μ_t nebo variability rozptylu σ_t je možné hodnoty naměřené ve výrobním procesu transformovat za použití některého ze základních vzorců:

$$Z_t = \frac{X_t - \mu_t}{\sigma_t}; \quad Z_t = \frac{X_t - \mu_t}{\hat{\sigma}_t}; \quad Z_t = \frac{X_t - \hat{\mu}_t}{\hat{\sigma}_t}$$

kde:

Z_t = transformovaná veličina pro podskupinu t

X_t = regulovaná hodnota v podskupině t

μ_t = cílová hodnota pro t

σ_t = cílový rozptyl pro t, nejčastěji:

$$\sigma_t = \frac{R_j}{\bar{R}} \quad \text{nebo} \quad \sigma_t = \frac{R_j}{\bar{R}_{\text{výrobek}}}$$

Právě tady je vnášen problém do standardizovaných SR diagramů v podobě korelace dat. (12)

V případech, kde jsou hodnoty buď σ nebo μ nebo obou odhadované/odvozované z hodnot získaných v průběhu analýzy dat výrobního procesu pro SPC, jsou jednoduché transformace (např. podle Botheho) nevhodné z důvodu, že zanáší do diagramu korelaci transformovaných dat. (12) Ta bude tím větší, čím méně dat je k dispozici pro výpočet. „Pravděpodobnost že vyneseny bod bude mimo hranice je podmíněna pravděpodobností, která závisí na předchozích hodnotách.“(12) Jejich výhodou je ale, že tyto odvozené hodnoty jsou spjaté s procesem, a proto předpokládáme menší riziko nevhodné a zavádějící interpretace výsledků regulačních diagramů než v případě, že μ nebo σ jsou obě určené - definovány zákazníkem. V takovém případě je transformace výrazně nebezpečnější z důvodu, že tyto určené hodnoty nemají přímý vztah k výrobnímu procesu, a tedy transformace je nevhodná, protože výsledné hodnoty po transformaci jsou ovlivněny požadavkem a nikoliv variabilitou vlastního procesu. V podstatě jedinou možností jak snížit korelaci u standardizovaných Short Run diagramů je podle Quesenberryho (12) větší počet získaných dat.

Další modifikace základních vzorců pro transformaci hodnot získaných ve výrobním procesu vyvinuli Hillier, Quesenberry, Shepardson nebo Hawkins. (14) Quesenberrym vyvinuté postupy nesou i jeho jméno - Q charts. Modifikované postupy transformace sice vedou k získání nezávislých dat s normální distribucí pravděpodobnosti bez ohledu na počet měření v produkčním procesu, ale i tyto úpravy vedou k SR diagramům s menší citlivostí na změny polohy výrobního procesu. Kalman Filter Chart je modifikace, která je účinná již na začátku výrobního procesu a je citlivější než Q charts. Ve výpočtu používá konstantu, která zavádí do výpočtu období EWMA výpočtu. Hawkins naopak používá pro výpočet transformace naměřených hodnot diagram kumulativních součtů.

b) Short Run diagramy pro regulaci srovnáváním:

Short Run diagramy pro regulace srovnáváním používají převážně příslušné klasické regulační diagramy (p, np, c, u), které přizpůsobují pro krátké produkční cykly,

a to obdobným způsobem jako pro kvantitativní proměnné. I v tomto případě jsou data transformována. Oproti SR diagramům pro regulaci měření se vytváří pouze jeden regulační diagram. Je také možné použít např. Q charts pro binomické nebo Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti. Short Run diagramy pro regulaci srovnáváním vyžadují výrazně větší množství dat než pro regulaci měření, proto je jejich použití méně časté.

2. Specifikace nestandardních podmínek produkce

Obecné definování standardu je velmi obtížné, protože se nejedná o trvalý soubor kvalitativních nebo kvantitativních znaků, ale podléhá svému vývoji v čase. Navíc je závislý na prostředí, ve kterém je definován a zejména úhlem pohledu na hodnocenou veličinu. Proto je vymezení nestandardních podmínek vždy závislé na potřebách, pro které jsou definovány.

Standard je požadavek na chování nebo vlastnosti věci, člověka, situace apod., určený buď k závaznému vyžadování nebo k posuzování jejich přijatelnosti nebo obvyklosti. V původním latinském významu slovo znamenalo „pravítko, měřítko, pravidlo“. **Normalita** je stav osoby, jedince, věci, situace nebo jiného jevu, v němž tento jev odpovídá té normě, z jejíhož hlediska je normalita posuzována. Pro konkrétní potřeby je definována např. **norma technická**, která přesně stanovuje požadované vlastnosti, provedení, tvar nebo uspořádání opakujících se předmětů nebo způsobů a postupů práce, popř. vymezuje všeobecně užívané technické pojmy.

Vypovídací schopnost statistického zpracování dat je závislá na objemu dat, pravidelnosti jejich získávání z pohledu času a na jejich rozdělení vlivem variability. Naprostou podmínkou je serióznost zdroje údajů (kalibrované přístroje a zařízení, ověřený zdroj informací, přesná reprodukce údajů,...). Čím větší je objem zpracovávaných dat, která jsou získávána v pravidelných intervalech a s vysokou frekvencí, tím přesnější jsou výsledky statistického zpracování, tedy i odhad skutečného stavu, opět pouze za předpokladu zcela korektního zdroje.

Pravidelnost dat, odebíraných z provozu pro statistické zpracování (SPC), může být ovlivňována jak vnějšími podmínkami provozu, např. vysoká poptávka (velký objem produkce v krátkém čase), silná konkurence (poměr náklady/výnosy je tlačěn dolů) nebo obchodními podmínkami (např. vliv krize, kdy je vysoká konkurence a dochází k rušení smluvních zakázek), tak vnitřními podmínkami provozu, např. jeho rozsahem (hromadná výroba versus malé provozy) nebo typem (laboratorní provoz, zakázková výroba, nesnadné odebírání vzorků v plně automatizovaných provozech,...).

Výše zmiňované situace mohou vést k těmto důsledkům: vysoká poptávka vede k velkému objemu produkce v krátkém čase. Tedy z časových důvodů může docházet ke snižování nároků na kvalitu i kvantitu dat odebíraných pro SPC. Obdobně silná konkurence může vést ke snížení objemu dat pro SPC, ale v tomto případě je důvodem

snižování nákladů. Silná konkurence však také může vést naopak ke zvýšení objemu dat pro SPC, a to z důvodu snahy o bezchybný proces. To v důsledku může vést k zajištění stabilnější pozice na trhu. Také změna obchodních podmínek, např. vliv krize, kdy není ani čas ani zdroje, pravděpodobně povede ke snížení kvantity dat odebíraných pro SPC. Vzhledem k tomu, že kontrola každého produktu není ve standardních provozech možná z pohledu nákladovosti procesu, provádí se kontrola každého kusu pouze u specialit, kde je potřeba naprosté spolehlivosti, a tam naopak není použití klasických statistických postupů smysluplné.

Pohled z hlediska nákladů a výnosů je nejčastější zejména z toho důvodu, že pro dlouhodobou existenci firmy je nezbytná její ziskovost, nebo alespoň vyrovnaný rozpočet. A protože systém nemá více zdrojů, než je známých na počátku, je nezbytné plánovat výdajovou stránku procesu. V případě nedostatku jsou zase hledány zdroje, případné úspory také patří do kategorie zdroje. Dalším důvodem je i snadná srovnatelnost na širokém poli různých procesů. Oblast lidských zdrojů lze bez problémů opět přepočítat na náklady, kdy nižší vzdělání obsluhujících osob nebo nižší rozsah potřebných školení se zobrazí v nákladovosti procesu. Jako úspora, v případě že vzdělání kombinované s praxí dostává požadavkům kladeným na pracovníka. Jako náklady navíc, jestliže nedostatečné vzdělání nebo praxe vedou k většímu počtu neshodné práce. I v případě spokojenosti zákazníka (udržení obchodního partnera, renomé-image firmy), kde požadavek naprosté spolehlivosti produktu může opravňovat vyšší nákladovost, jde v podstatě o manažerské rozhodnutí, které má přinést vyšší konkurenceschopnost, a tedy i buď vyšší zisky jako takové nebo vyšší stabilitu odbytu (zajištění procentního podílu na trhu). U zakázkové výroby, kde se řeší jednotlivé, tedy unikátní, procesy (výrobky, vědecko-výzkumná činnost,...) nelze řešit regulaci konkrétního výrobního procesu, ale shodného postupu pro více obdobných výrobků. V podstatě vše, co se dá kvantifikovat lze i ocenit, a tedy přepočítat na náklady.

Jak bylo již zmíněno, vypovídací schopnost statistického zpracování je závislá na objemu dat, pravidelnosti jejich získávání v čase a na jejich rozdělení pravděpodobnosti. Standardem z hlediska statistiky pro postupy SPC je tedy velký objem dat, tedy hodnot regulované veličiny (znaku kvality/parametru procesu). Doporučení je minimálně 4 jednotky v podskupině pro měřitelná data, cca 50 jednotek pro data s kvalitativními znaky, minimálně 20 podskupin, získávaných v pravidelných intervalech.

Při specifikaci nestandardních podmínek produkce vychází práce ze zadání.

Objem dat, získatelných z výrobního provozu, je v této práci limitovaný zadáním, kdy nízký stupeň opakování ukazuje na malosériovou, zakázkovou, popř. nárazovitou výrobu. Počet kusů byl tedy zvolen na 4 kusy v podskupině.

Nestandardní podmínky z hlediska pravděpodobnosti rozložení dat opět vychází ze zadání práce. Aby bylo možné použít SPC (pravidla pro použití SPC), musí mít data normální rozložení pravděpodobnosti dat (Gaussovo) pro regulace měřením nebo binomické či Poissonovo v případě regulace srovnáváním.

Při úvahách o normalitě rozdělení dat je možné považovat za normální rozdělení, na základě centrální limitní věty, podskupinu o velikosti 4 a více hodnot. Podskupinu této velikosti není bezpodmínečně nutné testovat na normalitu rozdělení dat. Pro menší podskupiny je testování potřebné. Z principu centrální limitní věty ve statistice vyplývá, že rozdělení průměrných hodnot znaku v podskupinách aproximuje k normálnímu rozdělení, a to tím více, čím je rozsah podskupin vyšší.

Nestandardní podmínky produkce z hlediska pravidelnosti získávaných dat jsou tedy jediným volně stanovitelným parametrem. Pro potřeby této bakalářské práce byly stanoveny jako nárazovité vytížení provozu, jehož frekvence využití je nízká, nicméně v dlouhodobém časovém horizontu stálá. Nejkratší možný produkční cyklus bude trvat jeden den, teprve poté je možné měnit nastavení výroby, protože změna nastavení je časově náročná. Nicméně je-li to možné (dovolují-li to již přijaté zakázky) produkční cykly se kumulují, aby se ušetřil pracovní čas.

Z těchto faktů a údajů zmiňovaných v úvodní kapitole vyplývá, že procesy s nízkým počtem opakování produkce, zohledňující potřeby malých provozů s často se měnícími vstupními podmínkami, tedy s vysokou variabilitou na vstupu, je nejvhodnější hodnotit regulačními diagramy typu Short Run pro měřitelné znaky kvality, protože regulace srovnáváním vyžaduje vyšší počet kusů v sérii.

3. Vypracování návrhu přístupu k statistické regulaci v nestandardních podmínkách produkce s nízkým stupněm opakování

Statistická regulace procesu je bezprostřední a průběžná kontrola výrobního procesu založená na použití matematicko-statistických metod vyhodnocování kvality produkce. Jejím cílem je dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutelném stavu tak, aby se zajistila shoda produktů se specifikovanými požadavky (tzv. způsobilý proces). (3) Jak již bylo zmíněno v úvodu, dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutelném stavu má 4 fáze (6), které lze shrnout do následujících bodů:

1. Volba regulované veličiny. (přípravná fáze)
2. Ověření požadovaných předpokladů o datech. (přípravná fáze)
3. Volba rozsahu výběru (podskupin). (přípravná fáze)
4. Sběr a záznam dat. (přípravná fáze)
5. Volba vhodného regulačního diagramu. (přípravná fáze)
6. Výpočet hodnot zvoleného testového kritéria pro jednotlivé výběry. (fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu)
7. Ověření a zajištění statistické zvládnutelnosti procesu. (fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu)
8. Výpočet způsobilosti procesu pomocí indexů způsobilosti. (fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu)
9. Ověření způsobilosti výrobního procesu podle požadavků zákazníka. (fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu)
10. Tvorba regulačních diagramů k signalizaci a následná identifikace poruchy ve stabilitě procesu. (fáze vlastní statistické regulace procesu)
11. Odstranění eventuálních poruch stability procesu. Opakování kroků 10. a 11. sloužící k udržování výroby v zavedeném statisticky zvládnutém a způsobilém stavu. (fáze vlastní statistické regulace procesu)

3.1.Postup SPC při výrobě teploměrů

Modelovým příkladem pro potřeby této práce je firma vyrábějící teploměry pro sestavování vlastních zařízení i pro přímý prodej. Jde tedy o malosériovou výrobu různých typů teploměrů a s odlišnými rozsahy měřených hodnot.

3.1.1. Přípravná fáze

Cílem regulace je přesnost měření teploty, která nejlépe charakterizuje funkci teploměru.

- Znakem kvality procesu byla stanovena teplota, která bude představovat regulovanou veličinu. Je to měřitelný znak kvality a proto není třeba tak velkých souborů hodnot jako pro data kvalitativní.
- Zaznamenávanými hodnotami budou teploty specifické pro daný rozsah teploměru (např. pro lékařský je to 37°C, u laboratorních přibližně uprostřed rozsahu teploměru) s přesností měření odpovídající typu teploměru.
- Bude hodnocen 1 znak kvality pro každý rozsah teploměru pro každý konstrukční typ. Jedna hodnota teploty, specifická pro daný rozsah, je postačující k ohodnocení stavu výrobku.
- Optimální metodou pro získání hodnot regulované veličiny je kalibrace podle pracovního etalonu, která je prováděná jiným než vyrábějícím pracovníkem podle interního předpisu.
- Klíčovým místem procesu bude kalibrace dávky vybraných teploměrů před jejich finální úpravou nebo zasazením do měřicího přístroje.
- Kontrolním intervalem byl zvolen každý jednotlivý pracovní den, protože v závislosti na objednávkách může docházet ke změně nastavení jednotlivých výrobních strojů pouze 1x denně.
- Výběr jednotlivých teploměrů pro testování bude prováděn náhodně pracovníkem, který není přímo zařazen do výroby daného typu teploměru.
- Podskupinu budou tvořit 4 teploměry náhodně vybrané z produkce každého pracovního dne. Důvodem je malý objem dat pro řízení výroby, protože jde o malosériovou výrobu konstrukčně různých typů teploměrů a s odlišnými rozsahy měřených hodnot. Při průměrné denní produkci 6-10 výrobků tvoří podskupina 4 kusů optimální výběr, který nebude problematické splnit a zároveň i při maximální produkci bude tvořit téměř polovinu z vyrobených jednotek. Pro menší počet kusů

v podskupině by bylo navíc nutné testovat normalitu dat. Protože lze předpokládat, že proměnlivost hodnot naměřené teploty bude mít normální rozdělení, není při 4 jednotkách nezbytné normalitu testovat. Počet jednotek výběru je také ovlivněn výrobními podmínkami, kdy kalibrační lázeň je uzpůsobena právě pro počet 4 kusů teploměrů.

- Nejvhodnějším typem regulačního diagramu bude Short Run regulační diagram pro průměr a diagram pro rozpětí (\bar{x} , R), protože bude zpracováván výběr z denní produkce, ale s malým objemem získávaných dat. Zpracování dat bude provedeno pomocí software Excel.

Všechny teploměry se vyrábí najednou v procesních krocích - u stonkových jsou to: vyfouknutí baňky, naplnění, zavakuování, osazení stupnicí, dokončení.

- Záznam naměřených teplot bude proveden do tabulky (viz kapitola 3.2.1.).

3.1.2. Fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu

Analýza vytvořených regulačních diagramů bude identifikovat působení vymezených vlivů a na jejím základě budou vytvořeny podmínky pro minimalizaci nebo zamezení jejich vlivu na proces výroby teploměrů.

- 1) Z hodnot naměřených při kalibraci podskupin teploměrů bude vytvořen regulační diagram pro výběrová rozpětí (R).
- 2) Analýza regulačního diagramu (R) identifikuje body mimo regulační meze či iterace. Na základě výsledků analýzy budou hledány eventuelní vymezené příčiny a přijata příslušná provozní opatření.
- 3) Výběry, u kterých byly signalizovány vymezené příčiny, budou po identifikaci příčin vypuštěny a poté přepočteny střední přímkou i regulační meze.
- 4) Body 1-3 budou zopakovány, až všechny body budou ležet uvnitř regulačních mezí a nebudou vykazovat žádná nenáhodná seskupení. Bude tak vypočteno pásmo působení pouze náhodných vlivů a proces bude možno považovat z hlediska variability za statisticky zvládnutý.
- 5) Stejný postup bude následně aplikován na výběrové průměry \bar{x} . Pokud diagram \bar{x} bude signalizovat nestabilitu polohy procesu, budou přijata příslušná opatření a budou vypuštěny výběry s touto nestabilitou. V takovém případě budou po identifikaci příčin příslušné podskupiny vyřazeny a poté přepočteny střední přímkou i regulační meze obou diagramů (\bar{x} ,R).

3.1.3. Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

Analýza umožní kontrolovat, zda statisticky zvládnutý proces zároveň dosahuje stanovených požadavků přesnosti měření pro daný konstrukční typ teploměru. Výpočet způsobilosti procesu bude proveden pomocí indexu způsobilosti.

3.1.4. Fáze vlastní statistické regulace procesu

Udržuje výrobu teploměrů v zavedeném statisticky zvládnutém a způsobilém stavu. Dlouhodobě budou tvořeny regulační diagramy sloužící k signalizaci a identifikaci poruch ve stabilitě procesu, které by mohly vést ke vzniku neshodných produktů a umožní včasné odstranění příčin.

3.2. Postup realizace SPC

Firma vyrábí různé druhy teploměrů pro sestavování vlastních zařízení i pro přímý prodej. Je to malosériová výroba konstrukčně různých typů teploměrů a s výrazně odlišnými rozsahy měřených hodnot. Bimetalové teploměry, stonkové teploměry s různým měřicím médiem (rtuť nebo líh) a elektronické teploměry jsou vyráběny s nízkou, ale stálou frekvencí produkce, která je nárazovitá. To znamená, že vzhledem k vysoce specializovaným teploměrům, jsou jednotlivé objednávky na nízký počet kusů, které zvládnou vyrobít v několika dnech. Podle garantovaných dodacích lhůt maximálně 1 měsíc se tedy každý typ teploměru vyrábí minimálně 1x měsíčně. Nejkratší možný produkční cyklus trvá jeden den, teprve poté je možné měnit nastavení výroby, protože změna nastavení je časově náročná. Je-li to z obchodního pohledu (podle termínů objednávek) možné, produkční cykly se kumulují, aby se ušetřil pracovní čas nutný pro změnu výroby. Podrobné parametry výroby a z nich vyplývající jednotlivé kroky SPC jsou uvedeny v kapitole 3.1.

3.2.1. Sběr dat, rozbor výrobního procesu

Náměrem je podskupina 4 náhodně vybraných teploměrů z denní produkce vysoce přesných laboratorních teploměrů s přesností 0,1°C. Hodnoty naměřené v průběhu 1 měsíce jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č.2: Hodnoty naměřené při výrobě teploměrů s vypočtenými základními statistickými parametry

den	druh teploměru	nominální teplota C	vzorek x_1	vzorek x_2	vzorek x_3	vzorek x_4	x_j -C průměr	R skupiny
pondělí	A	37	37,01	37,02	36,99	37,00	0,0050	0,0300
úterý	A	37	37,00	37,02	37,01	36,98	0,0025	0,0400
středa	B	50	50,03	49,98	49,96	49,99	-0,0100	0,0700
čtvrtek	B	50	50,03	50,03	49,98	50,02	0,0150	0,0500
pátek	B	50	50,00	50,03	50,04	50,02	0,0225	0,0400
pondělí	B	50	49,99	49,98	50,00	50,01	-0,0050	0,0300
úterý	B	50	50,03	50,03	49,99	50,01	0,0150	0,0400
středa	C	150	149,96	149,99	149,97	149,99	-0,0225	0,0300
čtvrtek	C	150	149,95	149,97	150,03	150,03	-0,0050	0,0800
pátek	D	150	150,09	150,09	150,05	150,08	0,0775	0,0400
pondělí	D	250	249,98	249,98	249,99	249,95	-0,0250	0,0400
úterý	D	250	249,99	250,02	250,03	249,98	0,0050	0,0500
středa	D	250	249,99	250,04	250,04	250,01	0,0200	0,0500
čtvrtek	B	50	49,98	49,99	49,98	50,00	-0,0125	0,0200
pátek	B	50	49,97	49,99	49,97	50,01	-0,0150	0,0400
pondělí	B	50	49,97	50,02	50,00	50,02	0,0025	0,0500
úterý	A	37	36,99	37,03	37,03	37,02	0,0175	0,0400
středa	A	37	36,96	36,98	37,00	36,98	-0,0200	0,0400
čtvrtek	C	150	149,99	150,03	150,04	149,97	0,0075	0,0700
pátek	D	250	249,99	249,98	250,04	249,99	0,0000	0,0600
pondělí	B	50	49,95	49,97	49,98	49,99	-0,0275	0,0400
úterý	B	50	50,01	49,99	50,04	50,02	0,0150	0,0500

3.2.2. Výpočty a konstrukce diagramů

Naměřené hodnoty byly transformovány a byla vypočtena odchylka od nominální hodnoty pro každý vyrobený rozsah teploměru a regulační meze podle vzorců, uvedených v příslušných kapitolách (1.4.3., 1.4.4.). Transformované hodnoty byly vyneseny do diagramů. Diagram pro rozpětí (R diagram DNOM 1) ukazuje proces zvládnutý z hlediska variability, ale regulační diagram pro \bar{x} ukázal jednu hodnotu podskupiny nad horní regulační mez (UCL) (\bar{X} diagram DNOM 1).

$$CL_R = \bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k R_j = +0,0455$$

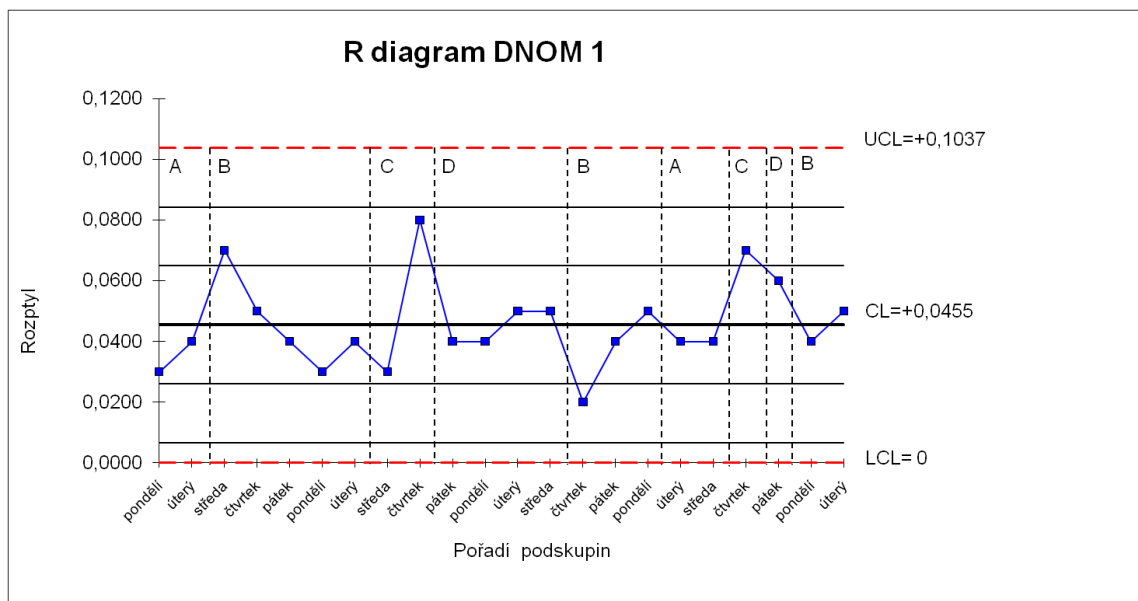
$$UCL_R = \bar{R} \cdot D_4 = 0,0455 \cdot 2,282 = +0,1037$$

$$LCL_R = \bar{R} \cdot D_3 = 0,0455 \cdot 0 = 0$$

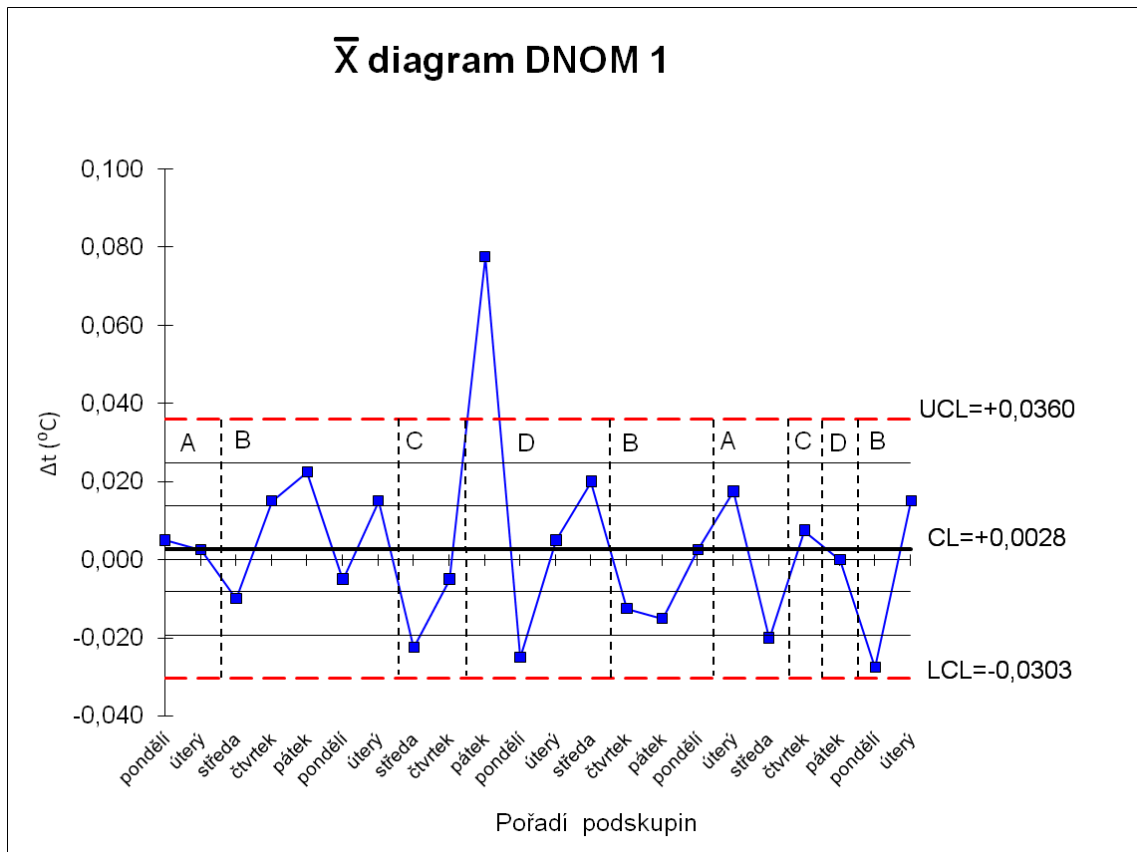
$$CL_x = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_j - C) = +0,0028$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 0,0028 + 0,7290 \cdot 0,0455 = +0,0360$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 0,0028 - 0,7290 \cdot 0,0455 = -0,0303$$



Obrázek 10: R diagram naměřených podskupin



Obrázek 11: \bar{X} s pruhem diagram naměřených podskupin

Na základě analýzy diagramu byly zjištěny problémy ve výrobě, daná podskupina byla vyřazena a přepočítány regulační meze. Přepočtené hodnoty byly vyneseny do regulačních diagramů R diagram DNOM 2 a \bar{X} diagram DNOM 2, kde již opatření přijatá ve výrobě vedla k produkci shodných výrobků ve všech dnech výroby.

Tabulka č.3: Hodnoty naměřené při výrobě teploměrů po vyřazení podskupiny

den	druh teploměru	nominální teplota C	vzorek x ₁	vzorek x ₂	vzorek x ₃	vzorek x ₄	x _j -C průměr	R skupiny
pondělí	A	37	37,01	37,02	36,99	37,00	0,0050	0,0300
úterý	A	37	37,00	37,02	37,01	36,98	0,0025	0,0400
středa	B	50	50,03	49,98	49,96	49,99	-0,0100	0,0700
čtvrtek	B	50	50,03	50,03	49,98	50,02	0,0150	0,0500
pátek	B	50	50,00	50,03	50,04	50,02	0,0225	0,0400
pondělí	B	50	49,99	49,98	50,00	50,01	-0,0050	0,0300
úterý	B	50	50,03	50,03	49,99	50,01	0,0150	0,0400
středa	C	150	149,96	149,99	149,97	149,99	-0,0225	0,0300
čtvrtek	C	150	149,95	149,97	150,03	150,03	-0,0050	0,0800
pondělí	D	250	249,98	249,98	249,99	249,95	-0,0250	0,0400
úterý	D	250	249,99	250,02	250,03	249,98	0,0050	0,0500
středa	D	250	249,99	250,04	250,04	250,01	0,0200	0,0500
čtvrtek	B	50	49,98	49,99	49,98	50,00	-0,0125	0,0200
pátek	B	50	49,97	49,99	49,97	50,01	-0,0150	0,0400
pondělí	B	50	49,97	50,02	50,00	50,02	0,0025	0,0500
úterý	A	37	36,99	37,03	37,03	37,02	0,0175	0,0400
středa	A	37	36,96	36,98	37,00	36,98	-0,0200	0,0400
čtvrtek	C	150	149,99	150,03	150,04	149,97	0,0075	0,0700
pátek	D	250	249,99	249,98	250,04	249,99	0,0000	0,0600
pondělí	B	50	49,95	49,97	49,98	49,99	-0,0275	0,0400
úterý	B	50	50,01	49,99	50,04	50,02	0,0150	0,0500

$$CL_R = \bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k R_j = +0,0457$$

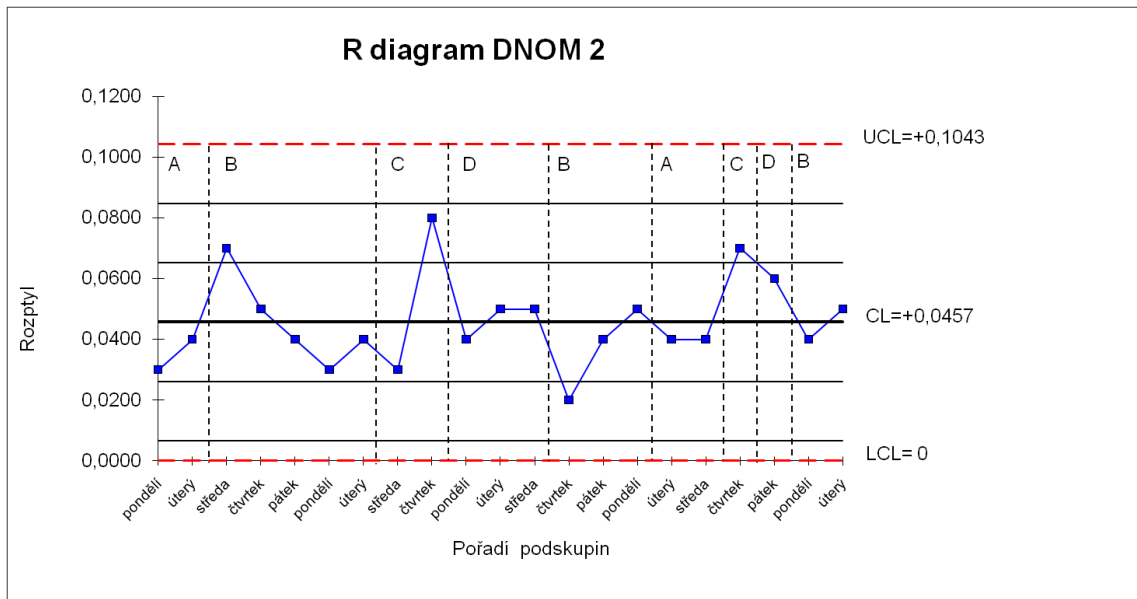
$$UCL_R = \bar{R} \cdot D_4 = 0,0457 \cdot 2,282 = +0,1043$$

$$LCL_R = \bar{R} \cdot D_3 = 0,0457 \cdot 0 = 0$$

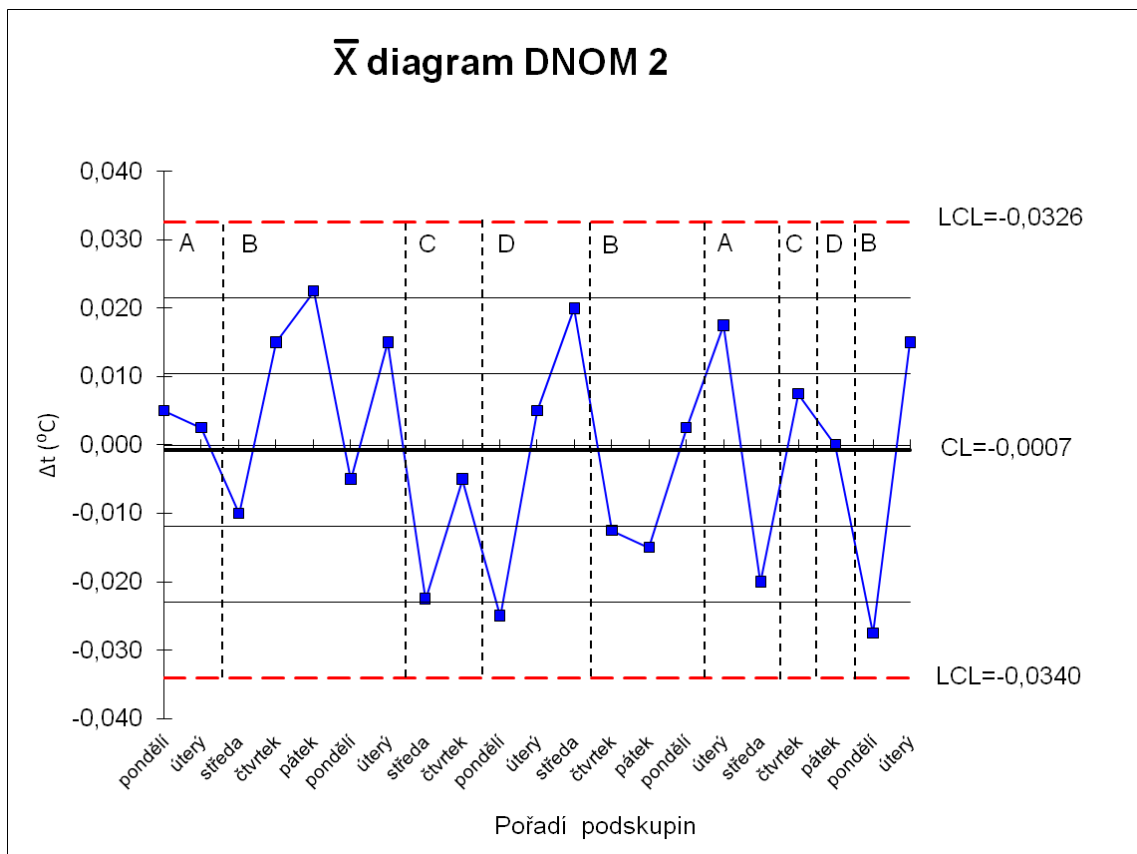
$$CL_x = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_j - C) = -0,0007$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = -0,0007 + 0,7290 \cdot 0,0457 = +0,0326$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = -0,0007 - 0,7290 \cdot 0,0457 = -0,0340$$



Obrázek 12: R diagram podskupin po vyřazení vymezené příčiny



Obrázek 13: X s pruhem diagram podskupin po vyřazení vymezené příčiny

3.2.3. Analýza diagramů, výpočet způsobilosti

Analýza umožní kontrolovat, zda statisticky zvládnutý proces zároveň dosahuje stanovených požadavků přesnosti měření pro daný konstrukční typ teploměru. Výpočet způsobilosti procesu byl proveden pomocí indexů způsobilosti.

Při analýze výsledků prvního páru regulačních diagramů (DNOM 1) bylo zjištěno, že na výrobní proces působila vymežitelná příčina variability. Kontrolou výrobního procesu v daný den bylo zjištěno, že výrobu poslední den pracovního týdne zajišťoval nedostatečně proškolený pracovník a byla přijata příslušná nápravná opatření. Proto nebylo možné použít naměřené hodnoty k výpočtu způsobilosti procesu bez zohlednění tohoto faktu. Analýza druhého páru regulačních diagramů po odstranění vymežitelné příčiny (DNOM 2) prokázala, že proces je možno považovat z hlediska variability za statisticky zvládnutý a variabilita naměřených hodnot je způsobena působením pouze náhodných vlivů. Proto byla tato data použita k výpočtu indexu způsobilosti. (17)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{+0,1 - (-0,1)}{6 \cdot \frac{0,0457}{2,059}} = 1,5018 > 1,33$$

Nicméně právě s ohledem na působení vymežitelné příčiny bude nutné v dalších kontrolních cyklech index kontrolovat a potvrdit způsobilost procesu.

3.2.4. Regulace procesu

Výsledky analýzy i výpočet indexu způsobilosti ukázaly, že výrobní proces je statisticky zvládnutý a zároveň dosahuje stanovených požadavků. Pravidelná tvorba SR regulačních diagramů bude i nadále hlídat působení vymežitelných příčin variability a tak udržovat proces v stabilním stavu.

4. Závěr

Statistika je založena na používání empirických dat k analýze a predikci chování sledovaných procesů nebo subjektů. Cílem statistiky je najít „nejlepší“ informace z dostupných dat, proto je často označována jako součást teorie rozhodování. Statistický průzkum je časově velmi náročný. Významným omezením může být nejen druh zkoumaných dat, ale zejména jejich množství, dostupné pro analýzu v relevantním časovém úseku.

Cílem teoretické části této bakalářské práce bylo poskytnout přehled o statistických metodách vhodných pro analýzu a řízení kontroly kvality výrobních procesů s krátkým produkčním cyklem. Převaha tohoto typu produkce je v současné době zřejmá a pravděpodobně způsobená modernizací výroby a snahou o rychlé řešení požadavků trhu. Pomocí statistické regulace tak může výrobce kontrolovat svůj produkční proces a operativně do něj zasáhnout.

V praktické části je aplikován postup SPC výpočtu na krátké produkční cykly výroby specializovaných laboratorních teploměrů, včetně zpracování a vyhodnocení naměřených dat (údajů o zvoleném znaku kvality teploměrů - teplotě v kontrolovaných podskupinách o rozsahu 4 jednotek) včetně analýzy a vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu.

Z regulačních diagramů je zřejmé, že v průběhu výrobního procesu působila vymežitelná příčina variability, která byla identifikována při zpětné kontrole výroby. V návaznosti na tato zjištění byl proveden operativní zásah a příčina odstraněna. Analýza následné dvojice regulačních diagramů nesignalizuje působení vymežitelných příčin variability, nevyskytují se zde žádné body vně regulačních mezí a ani nenáhodná seskupení. Proces je možno podmíněčně považovat za statisticky zvládnutý a zároveň dosahuje stanovených požadavků. Proces je tedy způsobilý, je však potřeba způsobilost sledovat v delším období. Z výsledků práce vyplývá, že použitím příslušných regulačních diagramů je možné analyzovat výrobní procesy a účinně je regulovat i v případech nestandardních podmínek a krátkých produkčních cyklů.

Při studiu odborné literatury, jsem narazil na velké množství variací jednotlivých postupů, které umožňují transformovat data s rozdílnou variabilitou. Jejich komplikovanost a také rozsah bakalářské práce je bohužel neumožňuje uvést podrobněji. Navíc tato oblast je stále podrobována zkoumáním. Tyto modifikace

základního postupu transformací hodnot získaných ve výrobním procesu sice vedou k výrazně přesnějším výsledkům, ale jejich provádění vyžaduje značné zkušenosti i technické zázemí, a proto v rutinním výrobním provozu nebude využíváno tak často jako jednodušší procedury. Významně bude záležet na nákladovosti a komplikovanosti procesu a zejména na požadavcích zákazníka. Postup transformace pro data o stejné variabilitě (DNOM, cílové SR diagramy) je ověřený a postup transformace je spolehlivý ve srovnání se standardizovanými regulačními diagramy.

Nicméně i v případě diagramů DNOM nemají všechna data zcela identickou variaci. Zjednodušující předpoklad stabilní odchylky pro všechny srovnávané produkty zanáší nepřesnosti do celkového výpočtu vedoucí k menší citlivosti SR diagramů na změny polohy výrobního procesu. Aby mohly být nepřesnosti vzniklé transformací dat ignorovány a výsledky analýzy považovány za spolehlivé, je třeba pro sestavování SR diagramů použít větší množství hodnot získaných z výrobního procesu.

5. Bibliografie

1. **Hůlová, M. a Jarošová, E.** *Statistické metody v managementu kvality, prostředí a bezpečnosti*. Praha : VŠE v Praze, 2001.
2. **Fabian, F., Horálek, V. a kol.** *Statistické metody řízení jakosti*. Praha : Česká společnost pro jakost, 2007.
3. **Noskievičová, D.** *Statistické metody v řízení jakosti*. Ostrava : VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 1997.
4. **Verberger, J.** *Porovnání softwarových produktů pro podporu hodnocení způsobilosti technologických procesů. [Diplomová práce.]*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006.
5. **Militký, J.** Řízení jakosti 1. [Online] 2006. [Citace: 8. 3 2009.] http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060425/jakost_1.pdf.
6. **Tošenovský, J. - Noskievičová, D.** *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. MONTANEX, Ostrava : autor neznámý, 2000.
7. **Horálek V., Král J.** STATISTICKÉ METODY V LABORATOŘÍCH. [Online]
8. ČSN ISO 8258:1994. *Shewhartovy regulační diagramy*.
9. **Noskievičová, D.** Statistická regulace procesů při autokorelovaných datech. *AUTOMA*. 2008, 10.
10. qimacros. [Online] [Citace: 9. 5 2009.] <http://www.qimacros.com/free-excel-tips/short-run-spc-qimacros.html>.
11. **Tyler, Mangin.** <http://www.amstat-online.org/sections/qp/qpr/QPRC2003/papers/Mangin2003qprc.ppt>. [Online]
12. **Quesenberry, Ch.** Statistical Gymnastics. *Quality Progress*. September 1998.
13. **Vermani, S.K.** *Modified nominal/target control charts - a case study in supplier development*. Milwaukee : The Quality Management Journal, January 2003.
14. **Castillo, E. Del, a další.** *A review of statistical process control techniques for short run manufacturing systems*. : Commun. Statistics-Theory Methods, 1996.
15. clayton.edu. [Online] [Citace: 11. 5 2009.] <http://business.clayton.edu/arjomand/business/textbook/stquacon.html>.

16. **Macháč, J.** *VŠCHT*. [Online] [Citace: 12. 5 2009.]

www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/MET-P7.ppt.

17. **Nenadál, J. - Noskivičová, D. - Petříková, R. - Plura, J. - Tošenovský, J.**

Moderní systémy řízení jakosti. Praha : Management Press, 2007.

6. Obrázky

Obrázek 1: Schema SPC pro udržování regulovaného stavu a zlepšování.	12
Obrázek 2: Hodnota regulované veličiny mimo regulační meze UCL, LCL.	17
Obrázek 3: 2 ze 3 hodnot mimo UWL, LWL.	17
Obrázek 4: 15 hodnot uvnitř $\pm 1\sigma$	18
Obrázek 5: Pravidelné kolísání 14 hodnot nahoru a dolů.	18
Obrázek 6: 4 z 5 bodů za sebou mimo interval $\pm 1\sigma$ na téže straně od CL.....	19
Obrázek 7: 9 hodnot za sebou leží pod nebo nad CL.....	19
Obrázek 8: 6 hodnot za sebou roste nebo klesá.	20
Obrázek 9: 8 hodnot za sebou je mimo interval $\pm 1\sigma$	20
Obrázek 10: R diagram naměřených podskupin	37
Obrázek 11: X s pruhem diagram naměřených podskupin	38
Obrázek 12: R diagram podskupin po vyřazení vymežitelné příčiny.....	40
Obrázek 13: X s pruhem diagram podskupin po vyřazení vymežitelné příčiny.	40

7. Rejstřík

AR, ARMA, ARIMA.....	23
CL - střední přímka.....	15
CUSUM	23
DNOM	24
Hotellingův diagram	22
logická podskupina	15
MA, EWMA	23
náhodné vlivy.....	10
náhodný výběr.....	15
nenáhodná seskupení	16
regulace měření.....	13
regulace srovnáváním	13
Short Run	23
standard.....	29
statistická regulace procesu	11, 32
UCL, LCL - regulační meze	15
UWL, LWL - výstražné meze.....	15
vymežitelné vlivy.....	10