

## **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

### **OPTIMALIZACE PROCESU VRTÁNÍ ŠIKMÉ DÍRY PŘERUŠOVANÝM ŘEZEM V HLINÍKOVÉM ODLITKU**

### **OPTIMALIZATION OF DRILLING PROCESS OF ANGLED HOLE BY DISCRETE CUT INTO ALUMINIUM CAST**

**KOM - 1116**

*Petr Kolařík*

Vedoucí práce: Ing. Jiří Lubina, Ph.D.

Konzultant: Ing. Vít Aidlpes, Aisan Industry Czech s.r.o.

Počet stran:.....96

Počet tabulek:.....9

Počet obrázků:.....27

Počet grafů:.....13

Počet příloh:.....9

Datum: 6. ledna 2010

TUL - Zadání

**Optimalizace procesu vrtání šikmé díry přerušovaným řezem  
v hliníkovém odlitku**

*ANOTACE:*

Tato práce popisuje současný stav daného procesu vrtání ve firmě Aisan Industry Czech s. r. o. a navrhuje jeho změny. Zabývá se vlivy různých typů nástrojů a procesních kapalin, ale také možnostmi modifikovat používaný řídicí program a konstrukční části stroje. V neposlední řadě se zabývá také ekonomickým zhodnocením tohoto procesu.

**Optimalization of drilling process of angled hole by discrete cut  
into aluminium cast**

*ANNOTATION:*

This summary describes current situation of given process of drilling in company Aisan s.r.o. and suggests it's improvements. It touches influences of different types of tools and process liquids, but also possibilities to modify the operation software and construction of the machine. Last but not least, it also counts the economical view of this process.

Klíčová slova: VRTÁNÍ, VYVRTÁVÁNÍ, OPTIMALIZACE

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2010

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 96

Počet tabulek: 9

Počet obrázků: 27

Počet grafů: 13

Počet příloh: 9

## **MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ**

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.“

V Liberci, dne 6. ledna 2010

Podpis:.....

TUL - Prohlášení

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou chci poděkovat Ing. Jiřímu Lubinovi, Ph.D. za cenné rady při tvorbě této diplomové práce. Dále děkuji firmě Aisan Industry Czech za poskytnutí možnosti vypracovat tuto diplomovou práci právě v jejím závodě v Lounech. Všem zaměstnancům firmy Aisan Industry Czech, zúčastněným na tvorbě této diplomové práce, za výbornou spolupráci.

A v neposlední řadě chci touto cestou poděkovat své rodině za podporu, kterou mě provázeli po celou dobu studia.

## Obsah

Obsah .....	7
Přehled použitých symbolů .....	10
1. Úvod.....	13
1.1 Seznámení s tématem.....	13
1.2 Aisan Industry Czech spol. s r.o. ....	14
1.2.1 Zákazníci firmy Aisan Industry Czech.....	15
1.2.2 Historie Aisan Industry Czech.....	16
2. Optimalizace obráběcího procesu.....	17
3. Optimalizace řezných podmínek .....	18
3.1 Druhy optimalizace řezných podmínek .....	18
3.2 Hodnocení produktivity procesu obrábění.....	19
3.3 Náklady na operaci obrábění .....	20
3.3 Omezující podmínky a jejich kritéria .....	21
3.3.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů .....	21
3.3.2 Kritérium maximální produktivity.....	23
3.3.3 Omezení dané výkonem obráběcího stroje.....	23
3.3.4 Omezení dané maximálním krouticím momentem .....	24
3.3.5 Omezení dané maximálně přípustnou řeznou silou.....	25
3.3.6 Omezení dané vhodným utvářením třísky.....	26
3.3.7 Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy .....	28
3.3.8 Omezení dané požadovanou přesností obrobené plochy.....	28
3.3.9 Omezení dané minimálními a maximálnímu otáčkami stroje .....	28
3.3.10 Omezení dané minimálním a maximálním posuvem stroje .....	29
3.3.11 Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem.....	29
3.3.12 Komplexní omezující podmínka .....	30
3.4 Oblast přípustných řešení.....	30
4. Teorie obráběcího procesu .....	31
4.1 Opotřebení řezného nástroje .....	31
4.1.1 Základní mechanismy opotřebení.....	31
4.1.2 Kriteria opotřebení.....	32
4.1.3 Měření opotřebení.....	34
4.2 Trvanlivost – Taylorův vztah.....	34
4.3 Proces tvoření třísky .....	35
4.3.1 Primární plastická deformace .....	35
4.3.2 Sekundární plastická deformace.....	36

4.4	Tepelná bilance řezného procesu.....	36
5.	Obecně o hliníku a hliníkových slitinách.....	37
5.1	Čistý hliník.....	37
5.2	Hliníkové slitiny.....	38
5.2.1	Tvářené slitiny hliníku.....	38
5.2.3	Slévárenské slitiny hliníku.....	39
6.	Řezné kapaliny .....	40
6.1	Účinky řezných kapalin .....	40
6.1.1	Chladicí účinek.....	40
6.1.2	Mazací účinek.....	40
6.1.3	Řezací účinek.....	41
6.1.4	Čistící účinek.....	41
6.2	Druhy řezných kapalin.....	41
6.2.1	Vodní roztoky chemických sloučenin .....	41
6.2.2	Olejové emulze.....	41
6.2.3	Řezné oleje .....	42
7.	Nástrojové materiály .....	42
7.1	Požadované vlastnosti nástrojových materiálů .....	43
7.2	Popis vybraných nástrojových materiálů.....	44
7.2.1	Rychlořezné oceli .....	44
7.2.2	Stellity.....	44
7.2.3	Coronite .....	44
7.2.4	Slinuté karbidy.....	44
7.2.5	Cermety .....	45
7.2.6	Mineralokeramické materiály.....	45
7.2.7	Kubický nitrid boru .....	45
7.2.8	Diamanty .....	46
8.	Povlakování nástrojů.....	46
8.1	Metoda PVD .....	47
8.2	Metoda CVD.....	48
8.3	Metoda PACVD.....	48
9.	Experimentální část.....	50
9.1	Úvod do experimentální části .....	50
9.1.1	Rozbor výrobní linky.....	50
9.1.2	Rozbor výrobního stroje.....	53
9.1.3	Rozbor výroby součástky .....	55
9.1.4	Rozbor obráběného materiálu.....	57
9.1.5	Rozbor obráběcího programu .....	58
9.2	Rozpis testovaných nástrojů .....	63
9.2.1	Standardně používané nástroje od firmy Gühring.....	63



9.2.2	Nástroje od firmy Tyroline .....	64
9.2.3	Nástroje od firmy Gühring .....	65
9.2.4	Nástroje od firmy Mapal .....	66
9.3	Měření během testů .....	67
9.3.1	Použitá měřicí zařízení .....	67
9.4	Test nástrojů .....	69
9.4.1	Stanovení kritického opotřebení .....	70
9.4.2	Test standardně používaných nástrojů od firmy Gühring .....	70
9.4.3	Test nástrojů od firmy Tyroline .....	72
9.4.4	Test tříbřitých nástrojů od firmy Gühring .....	73
9.4.5	Test kombinovaného nástroje od firmy Mapal .....	75
9.4.6	Shrnutí testu vrtáků .....	76
9.5	Test procesních kapalin .....	78
9.5.1	Procesní kapalina DASNOBOR 4010 .....	78
9.5.2	Procesní kapalina DASCOOL 1061 ZF .....	80
9.5.3	Průběh testu procesních kapalin: .....	81
9.5.3	Zhodnocení testu procesních kapalin: .....	82
9.6	Doprovodná měření .....	83
9.6.1	Měření tvrdosti obrobků Body lwr .....	83
9.6.2	Měření průměrů a drsností děr po obrobení .....	84
10.	Shrnutí poznatků a návrhy na opatření .....	84
10.1	Definice problémů .....	84
10.2	Problém: Příliš dlouhá doba pracovního cyklu .....	85
10.2.1	Zhodnocení problému .....	85
10.2.2	Návrhy změn .....	85
10.3	Problém: Otřepy na kusech po obrábění .....	90
10.3.1	Zhodnocení problému .....	90
10.3.2	Návrhy změn .....	91
10.4	Ekonomické zhodnocení navržených změn .....	93
11.	Závěr .....	94
	Použitá literatura .....	95
	Seznam příloh .....	96

## Přehled použitých symbolů

CBN	– Kubický nitrid boru
$c_E$	– Cena za elektrickou energii
$c_s$	– Cena stroje [Kč]
Cu	– Měď
CVD	– Chemical vapour deposition
d	– Deformace příslušného členu pod působením řezné síly
D	– Průměr nástroje [mm]
D	– Průměr vrtáků [mm]
$d_{max}$	– Maximální deformace z hlediska tolerance obrobeneé plochy [ $\mu\text{m}$ ]
$D_s$	– Náklady na 1 hodinu práce stroje [Kč/hod]
$D_v$	– Hodnota 1 hodiny pomocné, tj. vedlejší práce dělníka [Kč/hod]
E	– Modul pružnosti [MPa]
$F_{\dot{c}}$	– Časový fond stroje [hod/rok]
$F_{xkrit}$	– Kritická vzpěrná síla vrtáku [N]
$F_z$	– Tangenciální složka řezné síly [N]
$F_{zmax}$	– Maximálně přípustná velikost tangenciální složky řezné síly [N]
HSS	– High speed steel (rychlořezná ocel)
$J_{red}$	– Redukovaný moment setrvačnosti průřezu [ $\text{mm}^4$ ]
kb	– Koeficient bezpečnosti
$k_c$	– Přirážka směnového času
$k_{Mk}$	– Konstanta zahrnující vliv sklonu šroubovice a skutečný modul průřezu
$k_{us}$	– Koeficient oprav a údržby stroje
$k_{xk}$	– Konstanta zahrnující vliv úhlu sklonu šroubovice vrtáku a vliv uložení
$l_o$	– Vzpěrná délka vrtáku [mm]
M	– Mzdový tarif dělníka [Kč/hod]
Mg	– Hořčík
$M_k$	– Krouticí moment na vřetenu [N.mm]
$M_{kkrit}$	– Kritický moment [N.mm]
$M_{kmax}$	– Maximální přípustná velikost kroutícího momentu [N.mm]
Mn	– Mangan
$M_o$	– Mzda operátora [Kč/hod]

$n$	– Otáčky [1/min]
$N^+$	– Kladně nabitý atom dusíku
$N_{hs}$	– Hodinové náklady na provoz stroje [Kč/hod]
$N_i$	– Nikl
$N_n$	– Náklady na nástroje [Kč]
$N_{nT}$	– Náklady na nástroj vztažené na jednu trvanlivost břitu [Kč]
$N_{ost}$	– Náklady na přestřeni nástrojů [Kč]
$N_p$	– Pořizovací hodnota nástroje [Kč]
$N_s$	– Náklady na strojní práci [Kč/hod]
$n_{smax}$	– Maximální otáčky dosažitelné na stroji [1/min]
$n_{smin}$	– Minimální otáčky dosažitelné na stroji [1/min]
$N_{sn}$	– Náklady na strojní práci včetně nákladů na nástroje [Kč]
$N_v$	– Náklady na vedlejší práci [Kč/hod]
$N_{vn}$	– Náklady na výměnu či seřízení nástroje nebo břitové destičky [Kč/hod]
$N_z$	– Zbytková hodnota nástroje po úplném opotřebení [Kč]
$O_s$	– Odpis stroje [Kč/hod]
PACVD	– Plasma assisted vapour deposition
Pb	– Olovo
$P_e$	– Výkon elektromotoru stroje [Watt]
$P_{euž}$	– Užitečný výkon elektromotoru stroje [Watt]
PKD	– Polykrystalický diamant
$p_{MF}$	– Poměr
$P_{řez}$	– Výkon potřebný při řezání [Watt]
PVD	– Physical vapour deposition
R	– Proc. podíl režijních nákladů na práci dělníka za časovou jednotku
$R_a$	– Aritmetická úchylka obrobené plochy [ $\mu\text{m}$ ]
$R_{amax}$	– Maximální aritmetická úchylka obrobené plochy [ $\mu\text{m}$ ]
s	– Posuv [mm/ot]
$S_{Fmax}$	– Maximální velikost posuvu z hlediska působení řezné síly [mm/ot]
Si	– Křemík
$S_m$	– Směnnost
$S_{Ramax}$	– Maximální posuv z hlediska drsnosti obrobené plochy [mm/ot]
$S_{smax}$	– Maximální posuv dosažitelný na stroji [mm/ot]

$s_{smin}$	– Minimální posuv dosažitelný na stroji [mm/ot]
$s_{umax}$	– Maximální posuv z hlediska vhodného utváření třísky [mm/ot]
$s_{umin}$	– Minimální posuv z hlediska vhodného utváření třísky [mm/ot]
$s_z$	– Posun na zub [mm]
T	– Trvanlivost [min]
$t_{A11}$	– Vedlejší čas [min]
$t_{A12}$	– Hlavní strojní čas potřebný pro výrobu n součástí [min]
Ti+	– Kladně nabitý atom titanu
TiC	– Karbid titanu
TiCN	– Karbonitrid titanu
TiN	– Nitrid titanu
$t_s$	– Strojní čas [hod]
$t_u$	– Čas operačního úseku [min]
$t_{vn}$	– Čas na výměnu a znovu seřízení nástroje [min]
U	– Hospodárný úběr materiálu [cm <sup>3</sup> /min]
v	– Řezná rychlost [m/min]
V	– Vanad
$VN_u$	– Náklady na uvažovaný výrobní úsek [Kč]
$VR_d$	– Výrobní režie [%]
W	– Wolfram
$W_k$	– Modul průřezu v krutu [mm <sup>3</sup> ]
z	– Celkový počet ostření nástrojů za dobu jejich životnosti
z	– Počet zubů nástroje
Zn	– Zinek
$z_v$	– Počet výměn nástroje
$ž_s$	– Životnost stroje [roky]
$\sigma_D$	– Dovolené napětí [MPa]
$\eta$	– Mechanická účinnost stroje [%]
$\eta_s$	– Koeficient časového využití stroje

## 1. Úvod

### 1.1 Seznámení s tématem

Téma diplomové práce je zaměřeno na obrábění hliníkových odlitků Body lwr (viz obr. 1). Tyto odlitky jsou odlévány ve firmě AIDO v japonské prefektuře Aichi, obráběny ve firmě Aisan Industry Czech v Lounech, povlakovány ve firmě SGI ve francouzském městě Champagnole nebo ve firmě AHC v německém městě Kirchheim-Heimstetten a následně smontovány spolu s ostatními díly v palivové čerpadlo (viz obr. 2), opět ve firmě Aisan Industry Czech v ČR v Lounech.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit současný technologický proces vrtání na vrtacím centru CDR 002 ve firmě Aisan Industry Czech v Lounech a navrhnout případná zlepšení tohoto procesu. Tento technologický proces je posuzován nejen samostatně, ale s ohledem na celou obráběcí linku, jíž je součástí, a také na současnou i do budoucna plánovanou kapacitu výroby. Hlavními požadavky firmy Aisan Industry Czech se pod názvem optimalizace skrývá zkrácení pracovního cyklu na daném stroji a odstranění ořepů vznikajících při tomto obráběcím procesu.



**Obr. 1 – Hliníkové odlitky před obrobením, po obrobení a povlakované**



**Obr. 2 – Palivová čerpadla**

## **1.2 Aisan Industry Czech spol. s r.o.**

Společnost Aisan Industry Czech se specializuje na výrobu součástí palivového systému automobilů, které musí splňovat náročné požadavky na vysokou přesnost a dlouhou životnost. Díky stálé technické inovaci v oblasti palivových systémů a splňování nároků na bezpečnost a komfort, hraje významnou roli v rozvoji automobilového průmyslu [14].

Cílem práce celé společnosti Aisan je zvýšení přínosu automobilu do života lidí a snížení dopadu na životní prostředí. Neustále posouvá hranice kvality automobilů dle přání a požadavků zákazníků.

Závod v Lounech se specializuje na výrobu elektrických palivových čerpadel a modulů, která slouží k dopravě paliva z nádrže do vstřikovacího systému automobilu. V současné době se čerpadlo vyrábí v několika modifikacích pro různé druhy automobilů a motocyklů. Moduly jsou vyráběny ve třech modifikacích.



**Obr. 3 – Závod Aisan Industry Czech v Lounech**

Závod je certifikován ISO 9001:2000, ISO 14001, QS 9000 a ISO TS 16949. V současné době poskytuje práci 300 kmenovým zaměstnancům.

### **1.2.1 Zákazníci firmy Aisan Industry Czech**

#### **Palivová čerpadla:**

- Ergom (Fiat) – Itálie
- Bitron (Monster) – Itálie
- TTESA (DSK/VAZ) – Rusko
- Magneti Marelli (Harley Davidson) – USA
- Takosan (TMMT) – Turecko
- Magneti Marelli (Marine) – USA
- Bitron (Piaggio, Aprilia) – Itálie
- AIF (Renault) – Francie
- Bitron (KTM) – Francie
- Delphi (Harley Davidson) – Mexiko
- FPI (Nissan USA) - USA

**Palivové moduly:**

- TI Jablonec (TPCA) – Česká republika
- TI Ettlingen (Toyota) – Německo
- TI UK (Toyota) – Velká Británie
- TI Turkey (Toyota) - Turecko

**Kanistry:**

- Kautex (Ford) – Belgie

**1.2.2 Historie Aisan Industry Czech**

<b>Datum:</b>	<b>Událost:</b>
Září 2000	Založení firmy ABE
Březen 2001	Start budování závodu
Říjen 2001	Start instalace vybavení
Duben 2002	Start produkce palivových čerpadel
Srpen 2002	Otvírací ceremoniál
Červen 2003	Certifikace ISO 9001, QS 9000
Duben 2004	Rozšíření závodu
Červen 2004	Certifikace ISO 14001
Leden 2005	Start produkce palivových modulů
Červen 2006	Certifikace TS16949
Srpen 2007	Převod podílů firmy ABE na společnost AISAN
Leden 2008	Změna názvu na Aisan Industry Czech s.r.o.
Srpen 2008	Start produkce kanistrů

[13]



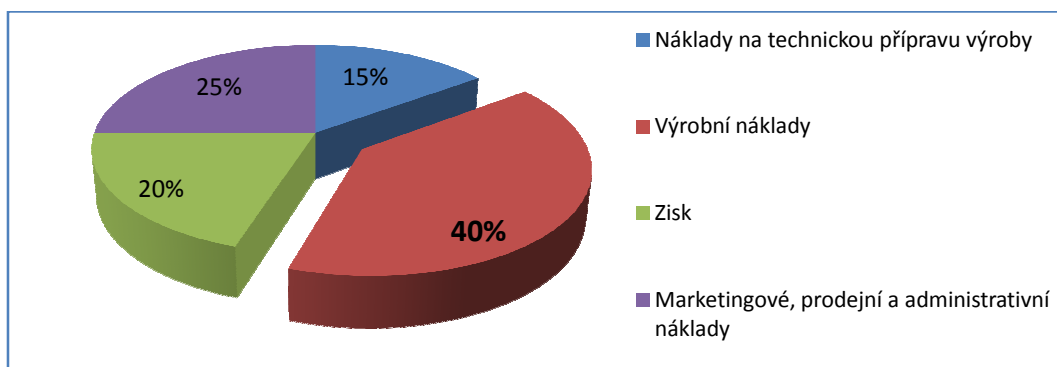
## 2. Optimalizace obráběcího procesu

Výsledky veškerého strojního obrábění lze hodnotit dle tří hledisek, a to z hlediska ekonomického, kvalitativního, nebo kvantitativního [1]. Dosažení optimálních ekonomických, kvalitativních či kvantitativních výsledků obrábění je závislé na druhu pracovního stroje, jeho parametrech a samozřejmě také na optimálním využití těchto parametrů. Celková produktivita je závislá na počtu současně pracujících nástrojů, stupni mechanizace, stupni automatizace, výkonu pracovních motorů a rozsahu pracovních možností stroje.

Z hlediska využití pracovních možností daného obráběcího stroje při současném zajištění optimálních výsledků obrábění je velmi důležitý návrh pracovních podmínek, tzv. optimálních řezných podmínek, do kterých patří: řezná rychlost, posuv, hloubka řezu, materiál břitu, geometrie břitu a řezné prostředí. Kromě řezných podmínek lze optimalizovat i další operace související s obráběcím procesem, jakými jsou např. automatické upínání obrobků, ruční obsluha apod.

Výrobní náklady dnes obvykle tvoří zhruba 40 % ceny strojírenských výrobků. Dalšími složkami, které tvoří cenu strojírenských výrobků, jsou: náklady na technickou přípravu výroby (15 %), požadovaný zisk (20 %) a marketingové, prodejní a administrativní náklady (25 %).

Technologie obrábění se velkou měrou, více než 30 %, podílí na strojírenské výrobě a je tedy velmi významnou složkou celkových výrobních nákladů, potažmo ceny výrobku i zisku.



**Graf 1 – Soubor výrobních nákladů**

### 3. Optimalizace řezných podmínek [7]

Optimální řezné podmínky jsou takové podmínky, které umožňují při využití všech pracovních možností stroje a současném dodržení všech kvalitativních požadavků obrobit danou součást co nejehospodárněji (tj. s minimálními náklady). Optimalizace řezných podmínek tedy úzce souvisí s ekonomickou, kvantitativní i kvalitativní stránkou výroby a ovlivňuje tak cenu jednotlivých součástí a z toho plynoucí celkovou výrobu. V praxi často vžitá představa o optimalizaci řezných podmínek nejsou pro řadu případů obrábění zcela správné. Pro obrábění na zařízeních s vysokým stupněm automatizace již není dostatečná optimalizace, která se dříve prováděla a dostačovala u univerzálních strojů. Hlavním důvodem pro to jsou vysoké náklady za hodinu práce na stroji, které stoupají zároveň s rostoucí cenou stroje, rostoucí režii dílny apod.

#### 3.1 Druhy optimalizace řezných podmínek

Podle okamžiku použití optimalizace řezných podmínek ji rozdělujeme na optimalizaci:

- 1) **Konvenční**
- 2) **Adaptivní**

Konvenční optimalizací nazýváme optimalizaci řezných podmínek před vlastním obráběním (u strojů bez adaptivního řízení).

Adaptivní optimalizací nazýváme optimalizaci řezných podmínek během obrábění (u strojů s adaptivním řízením). Optimalizaci zde provádí adaptivní řídicí systém na základě informací o současném stavu řezného procesu, případně o výsledku určité části řezného procesu. Tyto získané informace adaptivní řídicí systém okamžitě zpracuje, určí optimální řezné podmínky a stroj je ihned realizuje.

Oba typy optimalizací jsou v podstatě stejné a vycházejí z omezujících podmínek a z kritéria optimálnosti. Jejich matematické formulace jsou v principu totožné.

Nevýhodou konvenční optimalizace je, že některé potřebné údaje nejsou přesně známé, ale pohybují se s určitou přesností v daném intervalu. Mezi tyto údaje patří např. řezivost nástroje, obrobiteľnosť materiálu, veľikost prídavku pro obrábění a další. Kvůli tomu při konvenční optimalizaci řezných podmínek uvažujeme nejméně příznivý stav a z něho navrhujeme optimální řezné podmínky. V případě, že při reálném obrábění nenastane nejméně příznivý stav, nemáme nastaveny skutečně optimální řezné podmínky. Tento nedostatek zcela řeší adaptivní optimalizace, avšak za cenu vysokých pořizovacích nákladů.

### 3.2 Hodnocení produktivity procesu obrábění

Produktivita obráběcího stroje je obecně hodnocena počtem součástí obroběných za danou časovou jednotku, nebo časem potřebným k výrobě dané součásti. Z toho důvodu nelze hodnotit produktivitu absolutně, ale pouze lze porovnávat produktivitu při výrobě stejných výrobků na různých strojích, případně na jednom stroji za různých řezných podmínek.

Vhodným kritériem pro posouzení produktivity procesu řezání při různých kombinacích hodnot pracovních podmínek, je úběr materiálu, dosažený za určitou časovou jednotku –  $U$  [ $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ], u dokončovacích operací (honování, lapování, superfinišování) [ $\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ]. Hodnocení pomocí tohoto kritéria lze vyjádřit absolutně. Buď se určuje maximální, nebo hospodárny úběr. Maximální úběr je takový, který lze dosáhnout na daném stroji a daném materiálu z hlediska volby řezných podmínek. Hospodárny úběr bere v potaz ekonomické hledisko a vyjadřuje se jím hodnota úběru, při které se dosáhne požadovaná kvalita obroběné plochy s minimálními náklady.

Pro vrtání platí pro výpočet hospodárneho úběru vztah:

$$U = \frac{D \cdot s \cdot v}{4} \quad [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že velikost úběru závisí na řezných podmínkách. Pro dosažení maximálního nebo hospodárneho úběru se tedy volí adekvátní řezné podmínky.

Řezné podmínky tedy volíme také podle dvou hledisek. V prvním případě se snažíme o maximální produktivitu bez ohledu na výrobní náklady (zvýší se hlavně náklady na nástroje) a ve druhém případě se volíme takové podmínky, které zaručí optimální produktivitu při minimálních výrobních nákladech. Druhý případ je obvyklejší, a to z ekonomických důvodů. V poslední době je kladen stále větší důraz na tzv. pružnou produktivitu, která se přizpůsobuje současné poptávce po výrobcích.

### 3.3 Náklady na operaci obrábění

Základní podmínkou hospodárného obrábění je, aby celkové výrobní náklady vynaložené na obrobení daného počtu obrobků, byly minimální.

Základní rozdělení nákladů na výrobní úsek, pokud neuvažujeme cenu jednotkového a strojního materiálu a všeobecné režijní náklady (osvětlení, vytápění, administrativa apod.) je:

#### 1) Náklady na strojní práci

$$N_S = t_{A12} \cdot \frac{D_S}{60} \quad (2)$$

#### 2) Náklady na vedlejší práci

$$N_V = t_{A11} \cdot \frac{D_V}{60} \quad (3)$$

Hodnoty členů  $D_S$  a  $D_V$  jsou určeny vztahem:

$$D_S = D_V = M \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \quad (4)$$

#### 3) Náklady na nástroje

$$N_n = \frac{(N_p + N_z) + (z+1)N_{ost}}{T(z+1)} \cdot t_{A12} \quad (5)$$

**Souhrn celkových nákladů je tedy:**

$$N_C = N_S + N_V + N_n = t_{A12} \cdot \frac{D_S}{60} + t_{A11} \cdot \frac{D_V}{60} + \frac{(N_p + N_z) + (z + 1)N_{ost}}{T(z + 1)} \cdot t_{A12} \quad (6)$$

### 3.3 Omezující podmínky a jejich kritéria

Při výpočtu optimálních řezných podmínek jsme omezováni možnými výrobními podmínkami. Takovéto omezení lze matematicky vyjádřit pomocí nerovnic. Výjimkou je komplexní Taylorův vztah, který je rovnicí. Omezující podmínky obecně vyjadřují vlastnosti obráběcího stroje, nástroje, obrobku, pracovního prostředí a požadované kvality výsledného povrchu. Základní rozdělení omezujících podmínek je na: spojité, nespojité a linearizovatelné omezující podmínky. Vyskytuje se ale také dost podmínek nelinearizovatelných a v poslední době také nespojitých.

#### 3.3.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů

Obecně je kritérium minimálních výrobních nákladů formulováno ve tvaru:

$$VN_u = ! \min \quad (7)$$

Do výrobních nákladů uvažujeme náklady na strojní práci a náklady na výměnu, resp. seřízení opotřebeného nástroje viz vzorec č. 8.

$$VN_u = N_{sn} + N_{vn} \quad (8)$$

Náklady na strojní práci obsahují:

- Náklady na mzdu dělníka
- Náklady na provoz stroje
- Náklady na nástroje
- Dílenské režijní náklady

Vyjádřit je lze vztahem:

$$N_{sn} = N_s + N_n = t_s \cdot \left[ k_C \cdot \frac{M_O}{60} \left( 1 + \frac{VR_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] + z_V \cdot N_{nT} =$$

$$= t_s \cdot N_{sm} + z_V \cdot N_{nT} \quad (9)$$

Hodinové náklady na provoz stroje se vyjadřují vztahem:

$$N_{hs} = O_S \cdot k_{uS} + C_E \quad (10)$$

Do hodinových nákladů vstupuje parametr „odpis stroje“:

$$O_S = \frac{C_S}{\check{Z}_S \cdot F_{\check{c}} \cdot s_m \cdot \eta_S} \quad (11)$$

$\eta_S$	Druh výroby
0,8	hromadná výroba
0,65 ÷ 0,75	obráběcí centra v malosériové výrobě
0,6 ÷ 0,75	programově řízené stroje
0,5 ÷ 0,65	konvenční malosériová výroba

**Tab. 1 – Koeficient využití stroje**

Náklady na výměnu nástroje obsahují:

- Náklady na mzdu seřizovače
- Náklady na provoz stroje
- Dílenské režijní náklady

Formulovat je lze ve tvaru:

$$N_{vn} = t_{vn} \cdot \left[ k_c \cdot \frac{M_s}{60} \cdot \left( 1 + \frac{VR_d}{100} + \frac{O_s}{60} \right) \right] \cdot z_v = t_{vn} \cdot N_{vnm} \cdot z_v \quad (12)$$

### 3.3.2 Kritérium maximální produktivity

Kritérium maximální produktivity, tj. maximálního počtu vyráběných součástí za jednotku času se uplatňuje všude tam, kde jsme omezeni kapacitou výrobního zařízení resp. daným termínem dohotovení určitého počtu součástí.

V případě uvažování určitého výrobního úseku lze toto kritérium formulovat ve tvaru:

$$t_u = t_s + t_{vn} \cdot z_v = !min \quad (13)$$

### 3.3.3 Omezení dané výkonem obráběcího stroje

Toto omezení je nejdůležitějším omezením při hrubování a lze jej formulovat:

$$P_{řez} \leq P_{euž} = P_e \cdot \eta \quad (14)$$

Výkon potřebný pro řezání lze vyjádřit jako funkci řezných podmínek:

$$60 \cdot P_{řez} = F_z \cdot v \quad (15)$$

Pro vyvrtávání, taktéž i pro soustružení platí vztah:

$$F_z = k_{Fz} \cdot h^{x_{Fz}} \cdot s^{y_{Fz}} \cdot v^{z_{Fz}} \quad (16)$$

Závislost tangenciální složky řezné síly na řezné rychlosti je však velice malá a můžeme proto uvést pouze vztah:

$$F_z = k_{Fz} \cdot h^{x_{Fz}} \cdot s^{y_{Fz}} \quad (17)$$

Po dosazení řezné rychlosti a úpravě lze zapsat výslednou omezující podmínku ve tvaru:

$$h^{x_{Fz}} \cdot s^{y_{Fz}} \cdot n \leq \frac{60 \cdot 10^3 \cdot P_e \cdot \eta}{\pi \cdot k_{Fz} \cdot D} \quad (18)$$

### 3.3.4 Omezení dané maximálním krouticím momentem

Z hlediska upínacího zařízení stroje (síly upnutí), případně i z jiných důvodů, je nutno uvažovat omezení dané maximálně přípustným krouticím momentem.

$$M_k \leq M_{kmax} \quad (19)$$

Kde  $M_k$  působící na vřetenu můžeme vyjádřit:

$$M_k = \frac{F_z \cdot D(n)}{2} \quad (20)$$

Dosazením do dříve uvedených rovnic lze pro vyvrtávání zapsat omezující podmínku ve tvaru:

$$h^{x_{Fz}} \cdot s^{y_{Fz}} \leq \frac{2 \cdot M_{kmax}}{k_{Fz} \cdot D} \quad (21)$$

a pro vrtání ji lze zapsat ve tvaru:

$$h^{x_{Mk}} \cdot s^{y_{Mk}} \leq \frac{M_{kmax}}{k_{Mk} \cdot D_n^{w_{Mk}}} \quad (22)$$

V některých případech však uvažované napětí pouze z hlediska maximálně přípustného krouticího momentu není vždy spolehlivým měřítkem v pevnosti nástroje. Na základě experimentálního výzkumu bylo zjištěno, že o pevnosti šroubovitých vrtáků prakticky rozhoduje buď vzpěrná pevnost, nebo pevnost v krutu.

Kritická vzpěrná síla vrtáku:

$$F_{xkrit} = \frac{k_{xk} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J_{red}}{l_0^2} \quad (23)$$



Kritický krouticí moment z hlediska pevnosti vrtáku:

$$M_{kkrit} = k_{Mk} \frac{\sigma_D \cdot W_k}{\alpha} \quad (24)$$

### 3.3.5 Omezení dané maximálně přípustnou řeznou silou

Z hlediska pevnosti nástroje nebo obrobku je nutné uvažovat omezující podmínku z hlediska maximálně přípustného řezného odporu R, respektive řezné síly  $F_z$ .

$$F_z \leq F_{zmax} \quad (25)$$

U vrtání se tato omezující podmínka uplatní především z hlediska kombinovaného namáhání na vzpěr a krut. Někdy uvažované namáhání pouze z hlediska maximálního krouticího momentu není vždy spolehlivým měřítkem pevnosti nástroje. Na základě experimentálního výzkumu bylo zjištěno, že o pevnosti šroubovitých vrtáků prakticky rozhoduje buď vzpěrná pevnost, nebo pevnost v krutu.

Pro určení omezující podmínky je potřeba určit:

1. Kritickou vzpěrnou sílu vrtáku viz vzorec č. 23.
2. Kritický krouticí moment z hlediska pevnosti vrtáku viz vzorec č. 24.
3. Poměr

$$p_{MF} = \frac{M_{kkrit}}{F_{xkrit}} \quad (26)$$

4. Rozhodující veličinu

$$p_{MF} > k_{kv} \cdot D_n \rightarrow \text{rozhoduje } F_{xkrit} \quad (27)$$

$$p_{MF} > k_{kv} \cdot D_n \rightarrow \text{rozhoduje } M_{kkrit} \quad (28)$$

V případě, že rozhoduje  $M_{kkrit}$ , pak omezující podmínka má tvar:

$$M_k \leq M_{kkrit} \cdot k_B \quad (29)$$

V případě, že rozhoduje  $F_{xkrit}$ , pak omezující podmínka má tvar:

$$F_x \leq F_{xkrit} \cdot k_B \quad (30)$$

Omezující podmínku z hlediska maximálně přípustné síly je možné uvažovat také ve zjednodušeném tvaru:

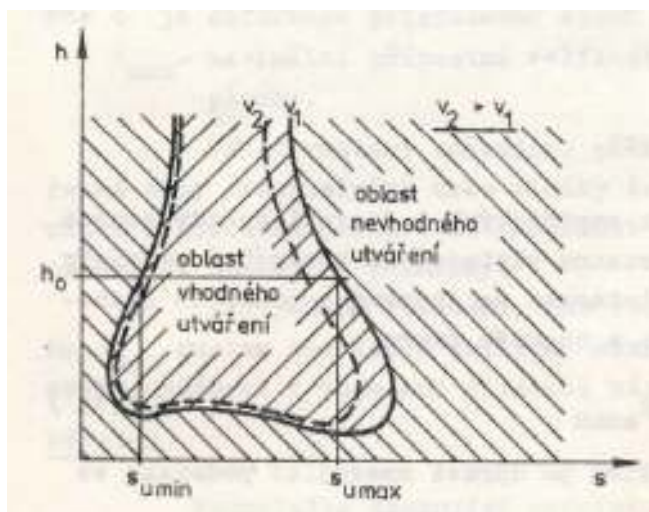
$$s \leq s_{Fmax} \quad (31)$$

### 3.3.6 Omezení dané vhodným utvářením třísky

Omezení dané vhodným utvářením třísky plyne ze dvou hlavních požadavků:

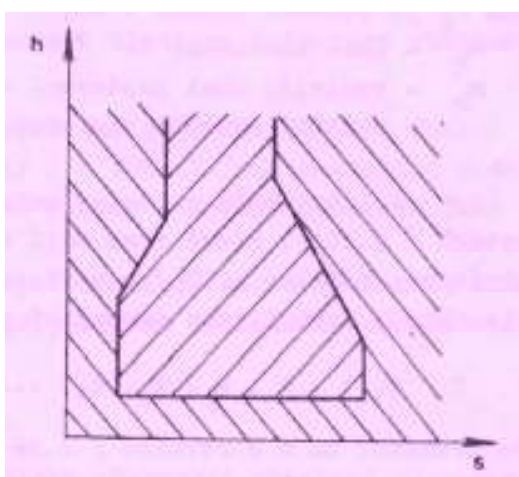
1. Třísky se nesmí dostávat zpět k ostří, kde by mohly způsobit destrukci břitu, což může vést k havárii v soustavě stroj – nástroj – obrobek – přípravek.
2. Třísky nesmí obalovat nástroj a neznemožňovat tak jeho automatickou výměnu.

Experimentálně jsou zjišťovány oblasti vhodného utváření třísky vždy pro daný obráběný materiál a daný nástroj. Typický tvar oblasti vhodného utváření třísky je na obr. 4. Hranice vhodného a nevhodného utváření třísky se mění společně se změnou řezné rychlosti, resp. se zvyšující se řeznou rychlostí se oblast vhodného utváření zmenšuje.



**Obr. 4 – Experimentálně zjištěná oblast vhodného utváření třísky**

Pro matematický popis hranice oblasti vhodného utváření třísky se tato nahrazuje lomenou čarou, kterou lze vyjádřit systémem nerovnic, viz obr. 5.



**Obr. 5 – Oblast vhodného utváření třísky z matematického zápisu**

S úvahou, že se optimalizace řezných podmínek provádí pro danou hloubku řezu, jsou omezující podmínky:

$$s \leq s_{umax} \quad (32)$$

$$s \geq s_{umin} \quad (33)$$

### 3.3.7 Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy

Toto omezení je důležitým faktorem pro obrábění na čisto. Formulovat ho lze ve tvaru:

$$R_a \leq R_{amax} \quad (34)$$

Obecně platí, že drsnost  $R_a$  je závislá na řezných podmínkách a geometrii nástroje.

$$R_a = f(s, v, h, r_e, \kappa_r, \kappa'_r, \dots) \quad (35)$$

Se zřetelem na to, že pro určitý případ obrábění nemusí být předešlý vztah znám, uvažuje se zjednodušená omezující podmínka ve tvaru:

$$s \leq s_{Ramax} \quad (36)$$

### 3.3.8 Omezení dané požadovanou přesností obrobené plochy

Toto omezení je opět důležitým faktorem při dokončovacích operacích. Neuvažuje-li se nepřesnost vlivem radiálního otupení nástroje, je nepřesnost způsobena elastickou deformací soustavy stroj – nástroj – obrobek pod působením řezné síly. Obvykle je rozhodující deformace jednoho z členů soustavy a deformace dalších je možno zanedbat. Formulace omezující podmínky vychází ze vztahu z pružnosti a lze ji zapsat ve tvaru:

$$d \leq d_{max} \quad (37)$$

U dokončovacích operací je však velmi významné radiální opotřebení a proto je zapotřebí  $d_{max}$  zmenšit právě o hodnotu radiálního opotřebení.

### 3.3.9 Omezení dané minimálními a maximálními otáčkami stroje

Se zřetelem na to, že na stroji se dají nastavit otáčky v určitém rozsahu, platí omezující podmínky ve tvaru:

$$n \leq n_{smax} \quad (38)$$

$$n \geq n_{smin} \quad (39)$$

### 3.3.10 Omezení dané minimálním a maximálním posuvem stroje

Se zřetelem na to, že na stroji se dají nastavit posuvy v určitém rozsahu, platí omezující podmínky ve tvaru

- V případě, že posuvy jsou udávány za jednu otáčku:

$$s \leq s_{smax} \quad (40)$$

$$s \geq s_{smin} \quad (41)$$

- V případě, že posuvy jsou udávány v mm za minutu:

$$s \cdot n = s_m \leq s_{smax} \quad (42)$$

$$s \cdot n = s_m \geq s_{smin} \quad (43)$$

### 3.3.11 Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem

Toto omezení je mezi ostatními výjimečné. Omezující podmínka je rovnicí a navíc je funkcí trvanlivosti nástroje. Komplexní Taylorův vztah vyjadřuje při optimalizaci řezných podmínek obrobitelnost materiálu a zároveň také řezivost a řezné prostředí. V současné době totiž nelze popsat tyto charakteristiky pomocí základních chemických či fyzikálních veličin.

Pro vrtání má komplexní Taylorův vztah tvar:

$$v = \frac{c_v \cdot D^{Wv} \cdot n}{h^{xv} \cdot s^{yv} \cdot T^{1/m}} \quad (44)$$

Pro vyvrtávání má komplexní Taylorův vztah tvar:

$$v = \frac{c_v}{h^{xv} \cdot s^{yv} \cdot T^{1/m}} \quad (45)$$

### 3.3.12 Komplexní omezující podmínka

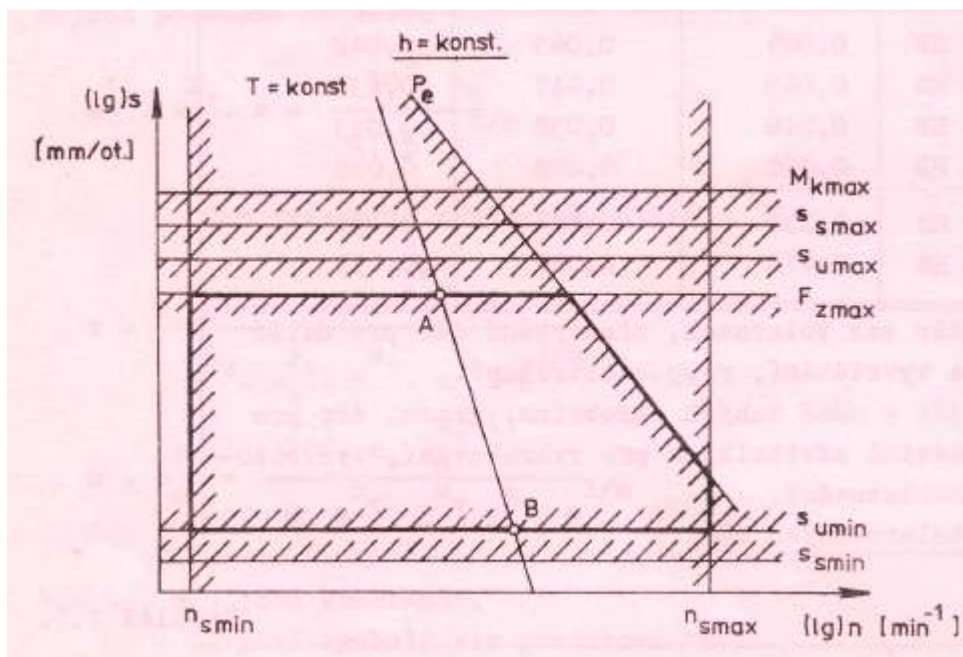
Kvůli relativně velkému počtu obtížně podchytitelných faktorů se formulovali omezující podmínky dle druhu obrábění. Např. pro vrtání šroubovitými vrtáky platí omezující podmínka ve tvaru:

$$s \leq k_s \cdot D_n^{0,6} \quad (46)$$

Tyto komplexní podmínky však na vrub své jednoduchosti vykazují určitou nepřesnost.

### 3.4 Oblast přípustných řešení

Oblastí přípustných řešení optimalizace řezných podmínek je společná oblast všech omezujících podmínek, které se v dané optimalizační úloze vyskytují. Většina omezujících podmínek je mocninového charakteru a lze je tedy logaritmováním linearizovat. Můžeme je tedy pro určitou hloubku řezu vynést jako přímky, viz obr. 6



Obr. 6 – Oblast přípustných řešení

## **4. Teorie obráběcího procesu**

### **4.1 Opotřebení řezného nástroje**

Opotřebení je přirozeným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Během obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroj-obrobek a nástroj-tříška, i ke kontaktu nástroje s obrobkem a odcházející třískou, což přirozeně vede k opotřebení nástroje [4].

#### **4.1.1 Základní mechanismy opotřebení**

##### **1. Abraze**

→ Brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje.

##### **2. Adheze**

→ Vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů.

##### **3. Difúze**

→ Migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplívající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje.

##### **4. Oxidace**

→ Vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí.

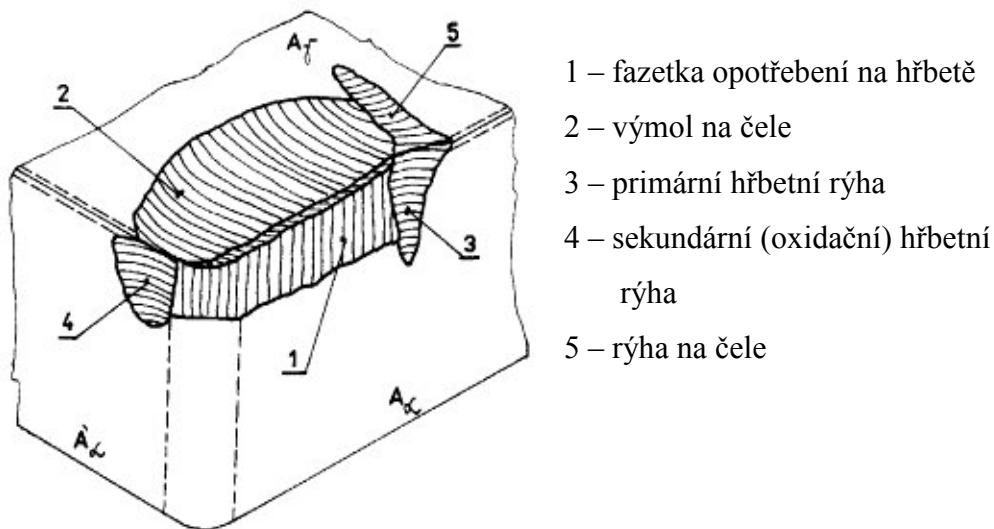
## 5. Plastická deformace

→ Důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase, které se může ve svém nejnepríznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení.

## 6. Křehký lom

→ Důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu, atd.

Hřbet nástroje se opotřebovává především v důsledku abraze a oxidace, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Dále mají na místo opotřebení nástroje vliv: geometrie nástroje, řezné podmínky a druh operace.



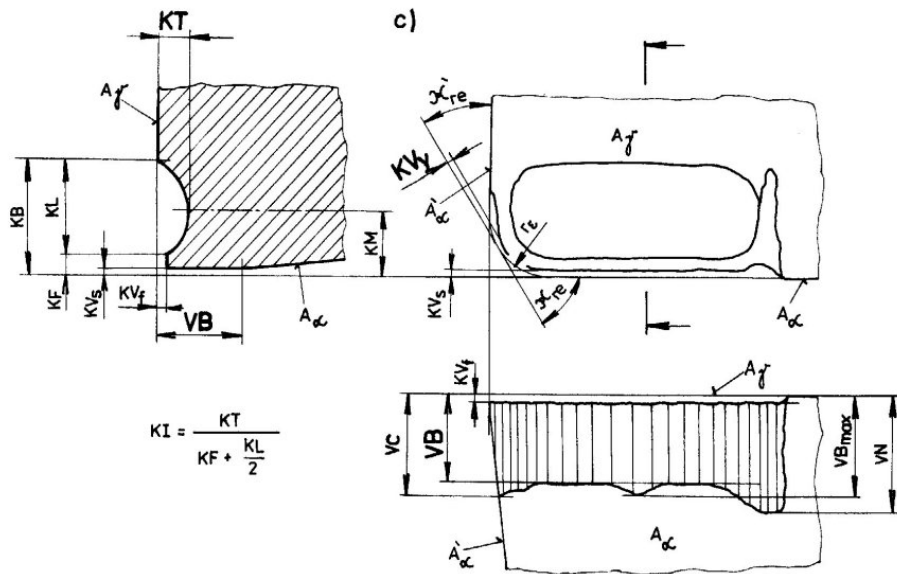
Obr. 7 – Formy opotřebení břitu nástroje z SK

### 4.1.2 Kriteria opotřebení

Nejběžnějšími kritérii opotřebení jsou:

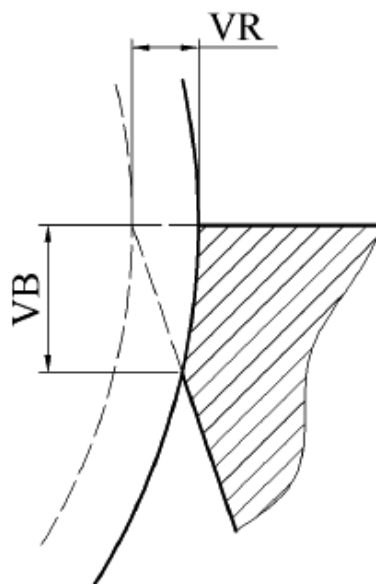
- VB – šířka opotřebení fazetky na hřbetě
- KT – hloubka výmolů na čele
- KV<sub>y</sub> – radiální opotřebení špičky





**Obr. 8 – Kritéria opotrebení rezného nástroje**

Z technologického hlediska se považuje břit za otupený, když již není schopen obrábět v požadované jakosti. Toto hledisko se uplatňuje většinou při dokončovacích operacích. Kritériem opotrebení je zde velikost radiálního opotrebení VR (přímo závislé na velikosti VB), nebo takový stav porušení ostří, kdy jím již nelze dosáhnout požadované drsnosti obrobeneé plochy.



**Obr. 9 – Závislost radiálního otupení na opotrebení hřbetu nástroje.**

### 4.1.3 Měření opotřebení

#### Přímé metody:

- Měření vybraného kritéria opotřebení (VB, KT, KVy)
- Vážení břitové destičky
- Optické sledování funkční plochy
- Elektrické metody (odporové, indukční, odměřování polohy)
- Ultrazvukové metody
- Radioaktivní metody (ozářený nástroj či mikroizotopový snímač)
- Měření rozměrů obrobku

#### Nepřímé metody:

- Měření s vyhodnocování jednotlivých složek řezné síly
- Měření a vyhodnocování elektrického příkonu obráběcího stroje
- Měření kmitání
- Měření teploty řezání
- Měření struktury povrchu obrobenej plochy
- Sledování druhotných projevů opotřebení (lesklé proužky na obrobenej ploše, charakteristický zvuk, změna tvaru či barvy třísky apod.)

## 4.2 Trvanlivost – Taylorův vztah

Trvanlivost řezných nástrojů se vyjadřuje jako čas řezného procesu vyjádřená v minutách, nebo jako dráha řezu vyjádřená v metrech. Pro operace jako jsou vrtání, vyhrubování či vystružování se trvanlivost udává jako délka obrobenej díry vyjádřená v metrech.

Trvanlivost břitu je závislá primárně na řezných podmínkách. Proto ji lze snadno vyjádřit pomocí Taylorova vztahu ve tvaru[6]:

$$T = f(v_c) = \frac{c_T}{v_c^m} \quad (47)$$

Ke stanovení trvanlivosti nástroje je třeba určit kriteria opotřebení viz kapitola 4.1.2 Kriteria opotřebení.

### 4.3 Proces tvoření třísky

Při tvorbě třísky se jedná o proces plastické deformace, která probíhá v odřezávané vrstvě. Tato plastická deformace probíhá za vyšších teplot, vysokých měrných tlaků a za vysoké deformační rychlosti. Produktem plastické deformace je oddělení odřezávané vrstvy (tříška). Druh třísky závisí na obráběném materiálu, řezných podmínkách, geometrii nástroje, řezné kapalině apod.

Hlavní klasifikace třísek je na [2]:

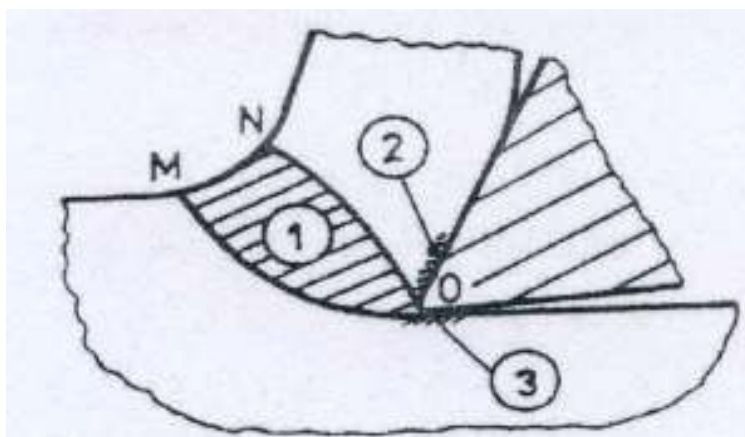
- **Třísky tvářené**
- **Třísky netvářené (vytrhávané)**

Další podrobnější rozdělení třísek je dle typu a tvaru třísek.

#### 4.3.1 Primární plastická deformace

Během primární plastické deformace se materiál zpevňuje a obvykle na konci oblasti primární plastické deformace je vyčerpána plasticita materiálu a dochází ke kluzu uvnitř materiálu. Vznikají tak jednotlivé elementy třísky.

Tvorbě tvářené třísky předchází právě plastická deformace v oblasti tzv. primární plastické deformace. Tvářená tříška vzniká při většině obrábění.



Obr. 10 – Oblasti deformací třísky

### 4.3.2 Sekundární plastická deformace

Za určitých podmínek má sekundární plastická deformace za následek adhezi. Dochází v podstatě ke svařování obráběného a řezného materiálu za studena. Malé částice řezaného materiálu ulpívají na nástroji, na němž se hromadí, a vytváří se tak nežádoucí nárůstek.

Nárůstek může být stabilní či nestabilní. V případě stabilního nárůstku přebírá nárůstek v podstatě funkci břitu a zmenšuje opotřebení nástroje. Mění tím však řeznou geometrii a zhoršuje drsnost obrobeneé plochy. Nestabilní nárůstek se rozpadá při dosažení určité velikosti nárůstku. Tento děj je opakující se a velmi zhoršuje drsnost i přesnost obrobeneé plochy.

### 4.4 Tepelná bilance řezného procesu

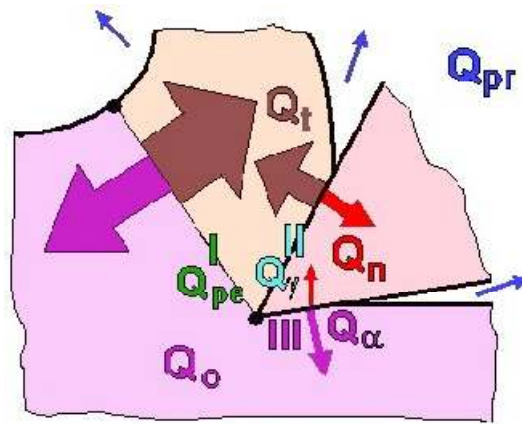
Během obráběcího procesu se téměř veškerá práce řezání transformuje v teplo. Teplo řezného procesu, vzniklé při odebrání určitého množství materiálu, je přibližně rovné práci řezného procesu. Vzniklé teplo výrazně ovlivňuje řezný proces, protože:

- Negativně působí na řezné vlastnosti nástroje.
- Ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného materiálu.
- Ovlivňuje pēchování a zpevnování obráběného materiálu.
- Ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje.

Teplo při obrábění vzniká v oblasti primární plastické deformace (I) v důsledku plastických a elastických deformací, v oblasti sekundární plastické deformace (II) v důsledku tření mezi čelem nástroje a třískou a v oblasti III v důsledku tření hlavního hřbetu nástroje o přechodovou plochu na obrobku. Vzniklé teplo je odváděno třískou, nástrojem, obrobkem a řezným prostředím.

Na základě předpokladu, že vzniklé a odvedené teplo musí být v rovnováze, lze zapsat rovnici tepelné bilance řezného procesu ve tvaru:

$$Q_{pe} + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} = Q_t + Q_n + Q_a + Q_{pr} \quad (48)$$



Obr. 11 – Tepelná bilance řezného procesu

Z hlediska efektivnosti procesu řezání jsou podíly tepelné energie odvedené jednotlivými účastníky řezného procesu důležité z následujících důvodů:

- **Teplo odvedené nástrojem:** velké množství tepla odvedené nástrojem znamená vysokou teplotu nástroje → teplota výrazně zvyšuje intenzitu opotřebení, a proto dochází ke snížení trvanlivosti nástroje.
- **Teplo odvedené obrobkem:** pokud do obrobku přechází velké množství vzniklého tepla, má to negativní vliv na kvalitu obrobeného povrchu a to zejména s ohledem na tahová vnitřní pnutí, která podstatně snižují spolehlivost součástí při jejich funkci.
- **Teplo odvedené řezným prostředím:** velké množství tepla odvedené okolním prostředím znamená, že do nástroje a obrobku přejde menší díl vzniklého tepla, čímž se zmenší jeho negativní vlivy na nástroj a obrobek.
- **Teplo odvedené třískou:** obdobný vliv jako v případě tepla odvedeného řezným prostředím.

## 5. Obecně o hliníku a hliníkových slitinách

### 5.1 Čistý hliník

Čistý hliník [10] vyniká malou měrnou hmotností, vysokou tepelnou i elektrickou vodivostí, dobrou chemickou odolností, dobrými mechanickými vlastnostmi a velmi dobrou tvárností. Mechanické i elektrické vlastnosti jsou

významně ovlivněny obsahem nečistot. Standardní hliník má obsah nečistot nižší než 0,5 %. Pro zvláštní účely se však vyrábí hliník s obsahem nečistot pohybujícím se v řádu tisícín. Hliník o takto vysoké čistotě se vyrábí pomocí zonální rafinace. Nečistoty ovlivňují zvláště elektrický odpor za nízkých teplot cca. 4,2 až 20 K. Přísadami některých prvků lze docílit požadovaných vlastností, především mechanických.

## 5.2 Hliníkové slitiny

Hliníkové slitiny [10] se rozdělují do dvou hlavních skupin, a to na tvářené hliníkové slitiny a slévárenské slitiny hliníku.

### 5.2.1 Tvářené slitiny hliníku

Tvářené hliníkové slitiny se rozdělují do dvou skupin podle toho, zda ke zlepšení jejich mechanických vlastností dochází legováním a tvářením nebo tepelným zpracováním.

Do první skupiny se jako legující prvky přidávají hlavně Mn nebo Mg v rozsahu tuhého roztoku, u Mn zpravidla do 1,5 %, u Mg do 9 %. Přísady Mn zvyšují mechanické vlastnosti výsledné slitiny nevýznamně a naopak přísady Mg zvyšují mechanické vlastnosti velice významně a rychle a zhoršují tvářitelnost za tepla i za studena. Slitiny s přísadou Mg mezi 3 až 5 % se navíc vyznačují velice dobrou korozní odolností proti mořské vodě i jiným agresivním látkám a velmi dobrou leštitelností. Slitiny Al-Mg-Si vynikají velice dobrou zpracovatelností za tepla i za studena používají se pro výrobu dílů složitých průřezů.

Do druhé skupiny patří slitiny zpevňované vytvrzováním za studena nebo za tepla. Sem patří slitiny Al-Cu-Mg s vysokou pevností, ale horší korozní odolností, nebo slitiny Al-Zn-Mg-(Cu) s ještě vyššími pevnostními vlastnostmi, jsou však také více náchylnější na mezikrystalickou korozi. U slitin této skupiny se rovnání, napínání či tvarování provádí pouze mezi rozpouštěcím žíháním a umělým stárnutím.

Obecně se tvářené hliníkové slitiny podle normy EN 573-1 zařazují do skupin 1000, 2000, ..., 9000, a to podle druhu hlavního legujícího prvku, viz tab. 2.

<i>Hlavní legující prvek</i>	<i>Označení série</i>
Hliník čistoty minimálně 99,0 %	1000
Měď	2000
Mangan	3000
Křemík	4000
Hořčík	5000
Hořčík a křemík	6000
Zinek	7000
Jiné prvky	8000
Nepoužitá skupina	9000

**Tab. 2 – Rozdělení Al slitin pro tvářené podle EN 573-1**

### 5.2.3 Slévárenské slitiny hliníku

Slévárenské slitiny jsou velmi rozšířené a používané pro široké spektrum různých způsobů lití. Slitiny typu Al-Mg mívají obsah Mg až 11 % a velmi malé přísady dalších prvků. Tento druh slitin má ale horší slévárenské vlastnosti. Slitiny Al-Si, které mají obsah Si blízký eutektickému složení (13 %) mají nejlepší slévárenské vlastnosti, a to velice dobrou zabíhavost, malé smrštění a malou náchylnost k praskání za tepla. Slitiny s příměsí Cu a Ni se používají pro součásti namáhané za vyšších teplot. Příměsí Pb se do Al slitin přidávají pro zlepšení obrobiteľnosti. Pro zajištění jemnozrnné struktury po lití se do slitin přidávají navíc modifikátory, především siluminového typu.

## 6. Řezné kapaliny

Řezné kapaliny [12] mají významný vliv na prostředí, ve kterém probíhá řezný proces. Ovlivňují velikost primární i sekundární plastickou deformaci, teplotu řezání, řezný odpor, trvanlivost nástroje, jakost a přesnost obrobené plochy. Řezné prostředí tvoří nejčastěji kapaliny, ale také olejová mlha nebo plyn.

### 6.1 Účinky řezných kapalin

#### 6.1.1 Chladicí účinek

→ se projevuje snížením teploty řezání. Ochladuje se povrch obrobku, nástroje i volné části třísky. Chladicí účinek řezných kapalin závisí na jejich měrném a výparném teple, součiniteli tepelné vodivosti, součiniteli přestupu tepla mezi obrobkem, nástrojem a kapalinou a také na jejich smáčivosti.

Předpokladem dobrého chladicího účinku je, aby řezné kapaliny byly k místu řezu přiváděny v dostatečném množství, aby byla pokryta pracovní část nástroje i část obrobku v místě řezu. Rychlost proudění řezné kapaliny zvyšuje součinitel přestupu tepla a tím se zvyšuje také chladicí účinek.

#### 6.1.2 Mazací účinek

→ se projevuje zmenšením tření na stykových plochách bříty. Proto, aby se tření skutečně zmenšilo, je však nutné, aby řezná kapalina pronikla na stykové plochy a vytvořila zde mazací film. Takovýto předpoklad však není vždy splněn. Mezi styčnými plochami bříty a obrobku působí velice vysoké tlaky (řádově  $10^3$  MPa) a vysoké teploty (až 1000 °C), při kterých např. olej již není schopen vytvořit film, umožňující polosuché tření. Povrchově aktivní řezné kapaliny, mezi které patří např. minerální oleje a olejové emulze však vytváření mazacích filmů za vysokých tlaků a teplot umožňují.

Do řezných kapalin se také přidávají aditiva, která vytváří na stykových plochách tzv. kovová mýdla nebo chemické sloučeniny s kovem, které snižují adhezní i difuzní otěr při vyšších řezných rychlostech. Sem patří např. mastné



kyseliny, sloučeniny síry, fosforu apod. Pro zvýšení pevnosti mazacího filmu za nižších teplot se používají některé druhy alkoholů, aldehydy a estery.

### **6.1.3 Řezací účinek**

→ mají pouze aktivní řezné kapaliny, který se projevuje vnikáním do mikrotrhlin obráběného materiálu v oblasti střížné roviny, kde svým tlakem snižují v určité míře deformační odpor.

### **6.1.4 Čistící účinek**

→ je dalším a nezanedbatelným účinkem, díky kterému se odstraňují z místa řezu drobné částičky a třísky. Zmenšuje se jím zanášení např. brusných kotoučů, nalepování třísek a břity apod.

## **6.2 Druhy řezných kapalin**

### **6.2.1 Vodní roztoky chemických sloučenin**

Vodní roztoky chemických sloučenin tvoří vodní roztoky elektrolytů a vodní roztoky povrchově aktivních látek.

Vodní roztoky elektrolytů jsou roztoky např. uhličitanu sodného, křemičitanu sodného a draselného, dvojchromanu draselného apod. Mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek.

Vodní roztoky povrchově aktivních látek jsou např. roztoky mýdel, směsi sulfonových kyselin, alizarinový olej apod. Mají vysoký chladicí účinek, protože zvyšují smáčivost vody.

### **6.2.2 Olejové emulze**

Olejové emulze tvoří látky nerozpustné ve vodě, ve které se vytvářejí jemné kapičky. Spojování v kapičky se zabraňuje přidáním emulgátorů. Olejové emulze se tedy skládají z emulgační látky, vody a emulgátoru. Mezi emulgační látky patří minerální oleje, tuky a mastné kyseliny. Mezi emulgátory patří sodná a draselná mýdla, či mýdla mastných kyselin. Olejové emulze vynikají svým chladicím účinkem a podle obsahu olejových složek také mazacím účinkem.

### 6.2.3 Řezné oleje

Řezné oleje se získávají z minerálních, živočišných i rostlinných olejů. Mezi základní druhy patří minerální oleje bez přísad, mastné oleje z živočišných tuků, smíšené mastné a minerální oleje, smíšené mastné a minerální oleje na bázi síry, chloru a fosforu, používané při velmi těžkých řezných podmínkách. Řezné oleje mají velice dobré mazací účinky díky své výborné smáčivosti a zabíhavosti. Mají však také velice malý chladicí účinek.

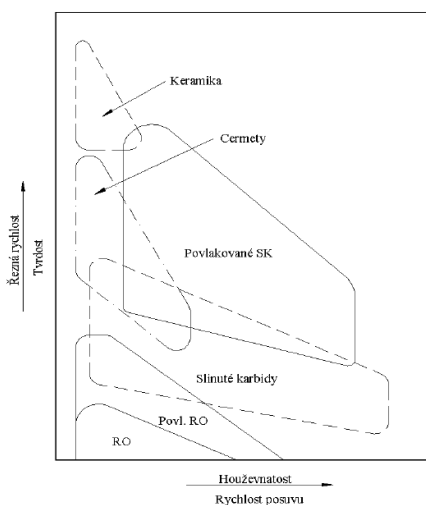
*Pozn.*

*Emulgátory se přidávají do koncentrátů řezných kapalin nejen pro snížení povrchového napětí mezi olejovou a vodní fází, aby se umožnilo rozptýlení olejových kapiček ve vodě. Další důležitou skupinou jsou emulgátory, které mají funkci odpěňovadel, baktericidů, přilnavostech přísad, ochran proti korozi apod.*

## 7. Nástrojové materiály

Volba vhodného materiálu nástroje patří mezi základní povinnosti pro splnění předpokladu dobrého obráběcího procesu.

Rozsahy použití jednotlivých nejčastěji aplikovaných řezných materiálů jsou uvedeny v obr. 13. Oblast použití je zde vyjádřena závislostí řezné a posuvové rychlosti, respektive tvrdostí a houževnatostí.



**Obr. 12 – Rozsah oblastí aplikace řezných materiálů**

## 7.1 Požadované vlastnosti nástrojových materiálů

Od nástrojových materiálů jsou požadovány především tyto vlastnosti [12]:

- **Tvrдость**
  - je závislá na obsahu uhlíku, vzrůstá s jeho rostoucím obsahem cca do 0,8%, nad 1% se tvrdost již nemění. Ve struktuře však roste množství cementitu, který zvyšuje odolnost proti opotřebení. Zvýšení tvrdosti lze také docílit přísadou karbidotvorných prvků (např. Cr, Mo, V, W, popř. Ti).
- **Houževnatost**
  - je závislá na chemickém složení oceli, tepelném zpracování, výsledné struktuře a její stejnosměrnosti, velikosti zrna a obsahu nečistot. Nežádoucí struktura je např. struktura s výraznou karbidickou řádkovitostí, která způsobuje nestejněměrné vlastnosti nástroje.
- **Kalitelnost a prokalitelnost**
  - u většiny nástrojů je požadována vysoká tvrdost povrchu při velmi dobré houževnatosti jádra. V jiných případech je požadováno dobré prokalení i ve větších průřezech. Uhlíkové oceli těmto požadavkům vyhovují pouze omezeně a musí se proto použít oceli legované, jejichž složení se volí podle požadavků na jejich použití.
- **Odolnost proti popouštění**
  - je rozhodující pro nástroje, pracujících za vyšších teplot, zejména řezné nástroje a nástroje pro tváření za tepla. Odolnost se posuzuje podle poklesu tvrdosti při dlouhodobém ohřevu nástroje na vyšší teplotu. Např. u uhlíkových ocelí výrazně klesá tvrdost již při teplotách okolo 200°C. Odolnost proti popouštění se zvyšuje nejčastěji přísadou karbidotvorných prvků, případně přísadou kobaltu nebo chlazením nástroje.

## 7.2 Popis vybraných nástrojových materiálů

### 7.2.1 Rychlořezné oceli

Rychlořezná ocel (anglicky High speed steel nebo zkráceně HSS), je druh oceli určený na rychlé obrábění a pro výrobu vysoce namáhaných řezných nástrojů určených pro obrábění kovových součástí v tepelně nezpevněném stavu. Mezi její významné vlastnosti patří vysoká tvrdost a žárupevnost (zůstává tvrdá i po zahřátí). Používá se k výrobě nástrojů jako například pil, pilových pásů, pilových listů, soustružnických nebo hoblovacích nožů, fréz a dalších.

Ocel HSS vydrží v místě řezu až 600°C. Pro výrobu se používá ocel třídy 19 která se dále kalí a popouští. Nevýhodou HSS je nízká životnost, rychlé opotřebení a neposlední řadě i fakt že při velkém zahřátí v místě řezu se změní struktura kovu, ocel se začne drolit a je dále nepoužitelná.

### 7.2.2 Stelity

Stelity jsou neželeznými slitinami, jejichž základ tvoří prvky, jako jsou např. kobalt, wolfram, chrom apod. Tyto slitiny vynikají hlavně vysokou tvrdostí za tepla (až 800°C) a vysokou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Jejich hlavní negativní vlastností je však velmi vysoká křehkost. Používají se prakticky pouze pro úpravy nástrojů z rychlořezných ocelí.

### 7.2.3 Coronite

Materiál coronite je poměrně novým řezným materiálem. Slučuje v sobě houževnatost rychlořezných ocelí spolu s vysokou odolností proti opotřebení, vlastní slinutým karbidům. Obecně materiál coronite vykazuje dlouhou trvanlivost břitů při vysoké produktivitě obrábění a vynikající jakost obrobeného povrchu.

Jeho určením je hlavně obrábění ocelí. Dobré vlastnosti také vykazuje při obrábění slitin neželezných kovů a šedé litiny.

### 7.2.4 Slinuté karbidy

Jsou slitiny vyrobené metodami práškové metalurgie. Skládají se z jednoho nebo více karbidů vysokotavitelných kovů (např. karbid wolframu) a pojícího kovu nebo slitiny ze skupiny železa (např. kobalt či nikl). Odolávají

teplotám až 1000 °C, maximální řezné rychlosti jsou 6 m/s, resp. 360 m/min, což není mnoho. Bez problémů ale zvládají vysoké posuvové rychlosti a do jisté míry také přerušované řezy. Slinuté karbidy patří mezi nejčastěji povlakované nástroje.

### 7.2.5 Cermety

Název pochází z anglické zkratky CERamics + METal. Jedná se o společný název pro materiály vyráběné slisováním a spékáním keramických a kovových prášků. Jejich tvrdé složky jsou tvořeny karbidem titanu (TiC), karbonitridem titanu (TiCN), nebo nitridem titanu (TiN). Vlastnosti cermetů závisí na vzájemném poměru práškovitých složek a na výrobním postupu. Kovové složky propůjčují cermetům pevnost, keramické složky zase chemickou a tepelnou odolnost.

Prakticky lze cermety považovat za slinuté karbidy, které jsou místo na bázi karbidů wolframu, zhotoveny na bázi titanu. V praxi se cermety používají nejen na obráběcí nástroje, ale také na tepelně namáhané díly, jakými jsou např. spalovací komory tryskových motorů, topné články apod.

### 7.2.6 Mineralokeramické materiály

Tímto názvem se označuje veškerá řezná keramika. Keramiku lze třídit dle použitého procesu zpracování na: lisovanou za studena (bílá) a lisovanou za tepla (šedá), podle velikosti zrn a také podle použitých přísad. Keramika může být vyztužena i whiskery (vlákny tenkými cca 1µm z karbidu křemíku).

### 7.2.7 Kubický nitrid boru

CBN je zvlášť tvrdý materiál, jehož tvrdost překonává již jen diamant. CBN má vynikající výkonnost, vykazuje mimořádnou tvrdost za tepla i při extrémních teplotách (2000°C), velkou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a při obrábění má vždy dobrou chemickou stabilitu. CBN je relativně křehký, houževnatější a tvrdší než keramika, avšak nemá tak dobrou tepelnou a chemickou odolnost. Obecně se nástroje z CBN používají pro obrábění materiálů o tvrdosti vyšší než 48 HRC. Jsou-li obrobky příliš měkké, musíme počítat s

mimořádně velkým opotřebením břitu → čím tvrdší je materiál, tím menší je opotřebení břitu nástroje.

Nástroji z CBN se obrábí ocelové výkovky, kalená ocel a litina, povrchově kalené obrobky, žáruvzdorné materiály a slinované materiály na bázi kobaltu a železa. Je možné ho použít za teplot až 1500°C a maximální řezné rychlosti až 3 m/s, resp. 180 m/min.

### **7.2.8 Diamanty**

Diamant je nejtvrdší přírodní materiál s výbornou odolností proti abrazivnímu opotřebení, nízkým koeficientem tření a dobrou tepelnou vodivostí. Mezi jeho záporné vlastnosti patří vysoká křehkost, možná pouze nízká pracovní teplota (cca. do 700°C) a afinita k železným kovům a slitinám niklu.

Umělý diamant označovaný zkratkou PKD, je polykrystalický diamant na tvrdokovové podložce používaný u řezných nástrojů. V zahraničí se používá označení PCD. PKD je kombinací diamantové tvrdosti, životnosti, tepelné vodivosti a tvrdokovové houževnatosti. Stejně jako přírodní diamant je velmi křehký.

Polykrystalickým diamantem se obrábí hlavně hliníkové slitiny s vysokým obsahem Si, keramika, slinuté karbidy, slitiny mědi, kámen a plasty vyztužené whiskery. Nástroji jsou např. vrtáky či frézy osazené PKD plátky. V poslední době se také rozšiřuje použití nástrojů osazených 0,1 mm tlustou polykrystalickou diamantovou fólií. Ta se vytváří tepelně aktivovaným CVD procesem z metanu a vodíku. Na tělo nástroje se připevňují pomocí letování.

## **8. Povlakování nástrojů**

Pro povlakování břitových destiček a řezných či tvářecích nástrojů se dnes v zásadě používají tři metody. První je metoda PVD (Physical Vapour Deposition), druhou je metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) a třetí je metoda PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition).

Požadované vlastnosti povlaků:

- Otěruvzdornost
- Tepelná odolnost
- Snížení třecího odporu
- Vysoká mikrotvrdost (přesahuje až 30 GPa)  
→ obecně zvýšení životnosti nástrojů

## 8.1 Metoda PVD

Metoda PVD je založena na odpaření nebo odprášení pevné látky v řízené atmosféře. Povlaky vznikají při tlaku mezi 0,1 až 1 Pa ve vakuové komoře, do níž je vpouštěn pracovní plyn, např. argon nebo dusík. Podle způsobu získání kovových iontů rozlišujeme metodu odpaření nízkonapěťovým obloukovým výbojem (obloukové odpařování) nebo metodu odprášení ionty (magnetronové naprašování).

Přípravnou fází je očištění, odmaštění a sušení nástrojů. K tomu se používají alkalické vodné roztoky tenzidů, ultrazvukové lázně a vodné oplachy. Sušení se provádí proudem teplého vzduchu nebo v sušičkách. Druhá část přípravné fáze probíhá ve vakuové komoře, kde se nejprve odčerpají povrchově vázané plyny a následně se proudem iontů plynu nebo kovu odstraní několik nanometrů povrchové vrstvy. Zároveň se nástroje ohřívají. Touto přípravnou fází se dosáhne maximální kovové čistoty povrchu nástrojů.

Fáze tvorby samotné vrstvy při obloukovém odpařování využívá skutečnosti, že obloukový výboj za nízkého tlaku hoří na katodě v náhodně proměnlivém bodě, vysokou teplotou odpařuje materiál katody, přičemž převážná část je ionizována. Pohyb katodové skvrny lze do jisté míry řídit magnetickým polem. Princip magnetronového odprašování je složitější v tom, že je nejprve potřeba ionizovat pomocný inertní plyn, např. argon, a pomocí urychlení těchto iontů bombardovat katodový terč a tak odprášit požadované částice.

V případě obloukového odpařování jsou odpařené částice, převážně kladné ionty, urychlovány záporným předpětím na planetový stolek s vhodně rozmístěnými nástroji. V této fázi mají ionty kvazikapalný charakter a po povrchu

nástrojů se pohybují, spojují a postupně vytvářejí vrstvu po celém povrchu. Pohyb částic po povrchu nástrojů je žádoucí z hlediska rovnoměrnosti vrstvy. Je ovlivňován teplotou povrchu a energií částic. Po zakotvení probíhá růst vrstvy dle požadavků na výsledné vlastnosti. Tato část procesu probíhá za teplot 30 až 500 °C v závislosti na vlastnostech povlakovaných předmětů a druhu povlaku.

Závěr povlakovacího procesu spočívá ve zchlazení povlakovaných nástrojů pod teplotu oxidace oceli, tedy pod 200 °C a vyjmutí z komory.

## **8.2 Metoda CVD**

Metoda CVD je nanášení povlaků chemickou cestou, tj. chemickou reakcí určitých plynů s materiálem při teplotách v rozmezí 800 ÷ 1100 °C. Rychlost narůstání vrstvy povlaku činí 1 ÷ 3 μm/hod. U této metody je častá aplikace vícevrstvých povlaků, které se vytváří tak, že se do komory, ve které probíhá povlakování, přivádí střídavě různé směsi plynu. Stejně jako u ostatních metod je pro předpoklad kvalitního a soudržného povlaku spolu s nástrojem, nutné nástroj před samotným povlakováním dokonale očistit, odmastit a vysušit.

Povlaky vytvářené metodou CVD jsou určeny převážně pro nástroje určené pro tváření za studena (např. lisovací, protlačovací či tažné nástroje apod.). Mezi vlastnosti povlaků vytvářených metodou CVD patří zejména vysoká povrchová tvrdost, vysoká odolnost proti opotřebení, možnost nanést povlak až v 15 vrstvách, snížení tření v soustavě nástroj – obrobek – tříška.

## **8.3 Metoda PACVD**

Metoda PACVD je povlakování nástrojů při mnohem nižších teplotách než u konvenční metody CVD. Plazmou aktivovaný CVD proces umožňuje snížit teplotu potřebnou pro vznik vrstvy na povrchu substrátu na 470 až 530 °C. Nástroje jsou povlakovány až po konečném zušlechťení na požadovanou tvrdost a v průběhu povlakování nedochází k rozměrovým změnám. Energie plynné atmosféry je zvyšována v povlakovací komoře pomocí její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. Chemicky aktivované plazma umožňuje snížit teplotu potřebnou pro depozici vrstev na povrchu substrátu.



Touto metodou je možné povlakovat i dutiny. PACVD povlaky se vyznačují extrémně nízkým koeficientem tření (až 0,1).

Zařízení na povlakování metodou PACVD umožňuje jak samotné povlakování, tak i nitridaci a iontové čištění povrchů. Po ustálení na procesní teplotě probíhají následující operace:

Iontové čištění povrchu, při kterém kladně nabitě ionty procesního plynu dopadají na povrch substrátu, kde jsou zakotveny atomy nečistot. Předáním vysoké kinetické energie iontů (cca 10 eV) dojde k vyražení nečistot z povrchu materiálu.

Plazmová nitridace povrchu. Ta se provádí se pro zlepšení adheze povlaku a základního materiálu. V případě speciálních aplikací je možné realizovat hlubokou nitridaci dle požadavku zákazníka (tzv. duplex).

Nanesení povlaku → v plazmě vznikají kladně nabitě molekuly ( $Ti^+$ ,  $N^+$  atd.), které se vyloučí na záporně nabitým polotovaru. Cíleným řízením procesu vzniknou vrstvy v požadovaném složení a se žádoucími vlastnostmi.

## 9. Experimentální část

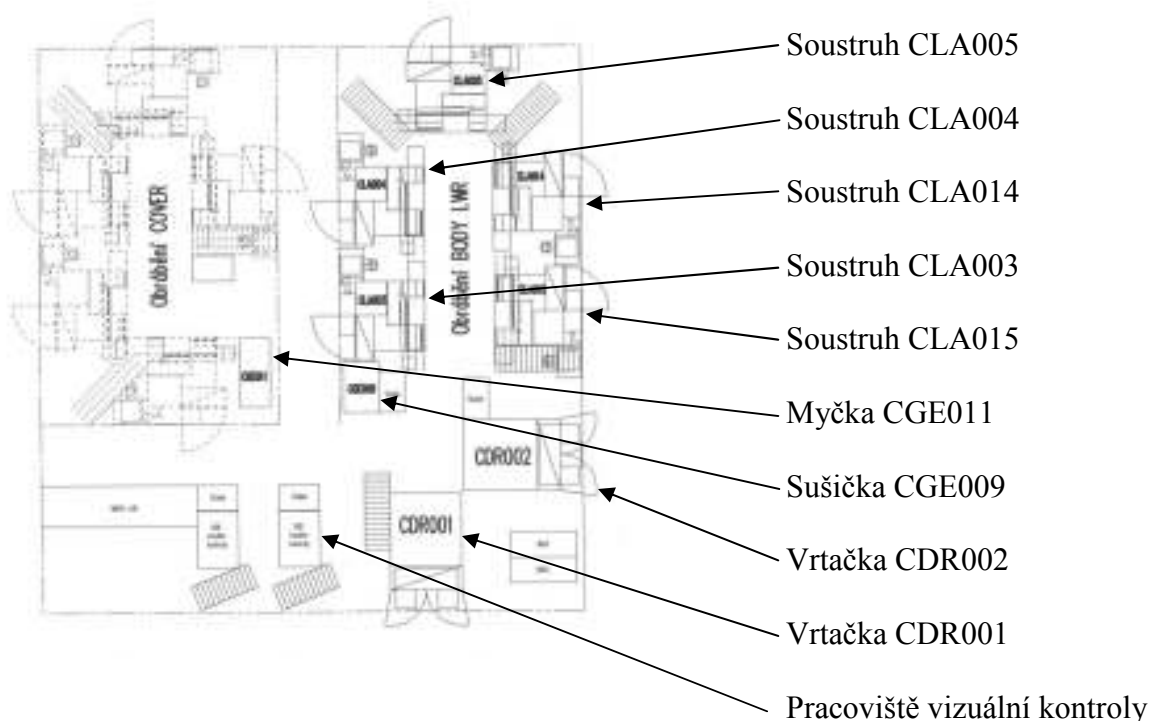
### 9.1 Úvod do experimentální části

V této části diplomové práce se zabývám rozбором daného procesu obrábění, praktickými testy + jejich vyhodnocením a návrhy modifikací.

#### 9.1.1 Rozbor výrobní linky

Výrobní linka se sestává z 2 vrtacích center Kira KPC-30a, 5 soustruhů Takamaz X-10i, 1 myčky obrobků Guyson Formula 750, sušičky Memert a pracoviště vizuální kontroly. Schéma obráběcí linky pro body lwr je na obr. 14. Na této lince pracují 3 operátoři (1. obsluhuje vrtací centra, 2. soustruhy a 3. vykonává vizuální kontrolu + odstraňuje otřepy). Myčku a sušičku obsluhuje ten z nich, který je právě zrovna „nejméně vytížen“.

Stojní časy a časy pro ruční vkládání, které jsem naměřil na lince před započítáním mých úprav, jsou uvedeny v tab. 3.



Obr. 13 – Schéma výrobní linky

Pracoviště	Označení stroje	Čas stroje [s]	Ruční čas [s]	Počet kusů najednou v procesu [ks]	Celkový čas potřebný na 1 kus [s]
1. vrtačka	CDR001	42,56	1,8	5	8,87
2. vrtačka	CDR002	50,22			10,41
soustruh	CLA015	49,3	1,5	5	10,15
soustruh	CLA014	49,0			10,11
soustruh	CLA005	49,1			10,12
soustruh	CLA004	49,3			10,15
soustruh	CLA003	49,2			10,14
myčka	CGE011	1200	55	240	5,23
sušička	CGE009	1200	45	480	2,59
vizuál. kont.		0	9,5 ÷ 11,3	1	9,5 ÷ 11,3

**Tab. 3 – Strojní časy a časy pro ruční vkládání na lince pro obrábění Body lwr**

*Pozn.*

*Jako čas stroje je označen čas od spuštění obráběcího procesu operátorem do otevření bezpečnostních dveří po skončení obráběcího procesu.*

*Ručním časem je označen čas, který operátor potřebuje k vyjmutí obrobeného kusu ze stroje a vložení do stroje dosud neobrobeného kusu. V případě vrtacích center operátor vkládá do stroje plata s 5 obrobky. Do těchto plat vkládá obrobky během práce stroje. Čas potřebný pro vložení obrobků do plata je přibližně 4 vteřiny a z hlediska celkové doby procesu není důležitý.*

*Počet kusů najednou obráběných jsem v tab. 3 uvedl jako 5, ačkoliv se v daný moment v každém soustruhu obrábí pouze 1 obrobek. Je to z důvodu, že 5 soustruhů na lince vykonává stejné technologické operace, respektive s totožným výsledkem. Směrodatný je pro nás tedy čas potřebný na obrobení, mytí, sušení a kontrolu 1 kusu. Tyto časy jsou uvedeny v posledním sloupci tabulky.*

Z uvedené tabulky je patrné, že nejužším místem procesu je vrtací centrum CDR 002 a za jistých okolností také vizuální kontrola obrobků. Dlouhodobějším měřením časů operace vizuální kontroly jsem však zjistil, že doba této operace je závislá nejen na velikosti otřepů, které se právě na tomto pracovišti odstraňují, ale také jsem došel k závěru, že operátoři se na tomto pracovišti přizpůsobují taktu linky. S ohledem na to, že cílem této diplomové práce je mimo jiné také snížení velikosti otřepů, které vznikají při vrtání, a neberu-li v potaz onu „přizpůsobivost“ operátorů k taktu linky, považuji za nejužší místo procesu vrtací centrum CDR 002.

Ideální časovou optimalizací vrtacího centra CDR 002 by bylo zkrátit strojní čas tohoto centra na úroveň vrtacího centra CDR 001, tj. zkrácení strojního času o 7,66 s. Toto by byl optimální stav z hlediska využití operátora obsluhujícího právě tato centra. V důsledku by to znamenalo, že po navrtání potřebného počtu obrobků by byla vrtací centra nevyužitá. Operátor by se však dal využít na jinou práci.

Z pohledu na celou obráběcí linku jako jeden celek je možno časově zoptimalizovat vrtací centrum CDR 002 tak, aby bylo dosaženo stejného taktu výroby na celé lince. To by znamenalo nastavit na vrtacím centru CDR 002 čas stroje stejný jako je na nejpomalejším soustruhu, resp. zkrátit čas stroje pouze o 0,26 s. Tento případ časové optimalizace by vyloučil možnost zadat operátorovi obsluhujícímu vrtací centra jinou práci. Přinesl by však možnost nastavit na vrtacím centru CDR 002 méně náročné řezné podmínky oproti prvnímu případu časové optimalizace. Navíc by bylo možno na vrtacím centru CDR 001 prodloužit čas stroje na úroveň CDR 002. To by šlo provést snížením pracovních posuvů a prodloužila by se tak životnost zde nasazených nástrojů.

### 9.1.2 Rozbor výrobního stroje

Jedná se o vertikální vrtačku se stolem otočným kolem osy x a posuvným v osách x a y. V ose z se pohybuje vřeteno společně s vrtákem. Vřeteno, resp. nástroj se samozřejmě otáčí kolem osy z, a to maximálně 7 500 ot/min. Vřeteno je revolverové a umožňuje umístění až 14 nástrojů. Tato vrtačka je navržena a zkonstruována speciálně pro obrábění trojrozměrných obrobků japonskou firmou Kira, sídlící dle japonských zvyků ve městě Kira, prefektuře Aichi. Obrábění různých typů obrobků je možné díky vyměnitelným „platům,“ která jsou různá pro různé modely. V současné době se však ve firmě Aisan Industry Czech obrábí pouze 1 model Body lwr.

Tato vrtačka má NC řízení FANUC. Přívod procesní kapaliny do místa řezu je možný pouze pomocí plastových trubiček. Přívod přímo z nástroje možný není.

Stůl	Rozměry upínacího stolu	600 x 380 mm
	Nosnost stolu	200 kg
Posuv	Rozsah osy X	500 mm
	Rozsah osy Y	380 mm
	Rozsah osy Z	300 mm
	Rychloposuv (XYZ)	56 000 mm/min
Vřeteno	Tvar konce vřetena	7/24 kužel č.30
	Otáčky vřetena	50 ÷ 7 500 ot/min
	Motor vřetena	2,2 kW
Zařízení pro automatickou výměnu nástrojů	Tvar stopky nástroje	BT30
	Počet nástrojů	14
	Maximální hmotnost nástroje	3 kg
	Maximální průměr nástroje	80 mm
	maximální délka nástroje	200 mm
	čas na výměnu nástroje	1 s
Ostatní	Hmotnost stroje	2 400 kg
	NC zařízení	FANUC 21i-MA

**Tab. 4 – Technické parametry vrtacího centra CDR 002**



**Obr. 15 – Vrtací centrum CDR002**



**Obr. 16 – Pracovní prostor vrtacího centra CDR 002**



Obr. 17 – „Plato“

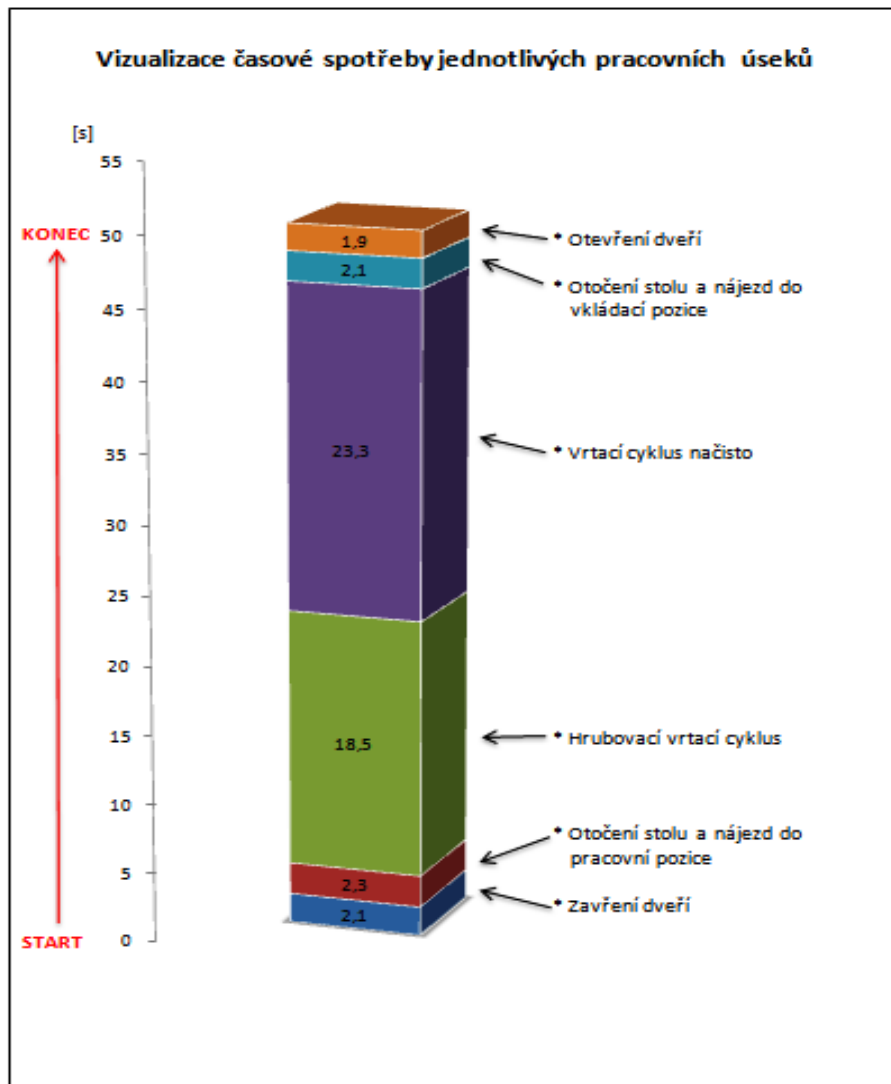
### 9.1.3 Rozbor výroby součástky

Součástka Body lwr Je do firmy AICz dodávána jako polotovár z firmy Aido sídlící v Japonsku, prefektuře Aichi. Ve firmě AICz se obrábí, myje a suší. Následně je expedována do firmy SGI sídlící ve francouzském Champagnole, nebo do firmy AHC sídlící v Německu, ve městě Kirchheim-Heimstetten, kde se povlakuje. Poté je dopravena zpět do firmy AICz, kde se smontuje spolu s ostatními díly v palivové čerpadlo. Tato čerpadla se pak buď montují přímo v AICz v Lounech v kompletní palivové moduly, nebo se jako samostatná čerpadla prodávají do firem vyrábějící palivové moduly po celém světě – viz kapitola 1.2.1.

V této diplomové práci se zabývám nejužším místem procesu, vrtáním na vrtačce CDR 002. Pro orientaci zde však uvedu operace, které se provádějí v AICz na strojích začleněných do linky pro obrábění Body lwr.

- vrtačka CDR001 → vrtání  $\text{Ø}1,25$  mm a  $\text{Ø}2,15$  mm
- vrtačka CDR002 → vrtání  $\text{Ø}4,5$  mm
- soustruhy → soustružení, frézování a vrtání
- myčka → odplavení zbytků procesních kapalin a špon z kusů po obrábění
- sušička → osušení kusů po mytí

Samotný obráběcí proces na vrtacím centru CDR 002 jsem rozdělil do dílčích pracovních úseků – viz obr. 15.



**Graf 2 – Časová spotřeba jednotlivých pracovních úseků**

Z uvedené vizualizace časové spotřeby jednotlivých pracovních úseků je zřejmé, že největší měrou se na obráběcím procesu podílí samotné vrtací cykly. Jinými slovy lze učinit dílčí závěr, že velikost posuvů během vrtacích cyklů má zásadní vliv na celkovou dobu obráběcího procesu. V této diplomové práci však jsou v následujících kapitolách postupně zhodnoceny možnosti, jak a zda vůbec je možné zrychlit všechny uvedené pracovní úseky.



#### 9.1.4 Rozbor obráběného materiálu

Ve výkrese součástky Body lwr, dodávané do lounské firmy AICz z japonské firmy AIDO, není uveden název materiálu. Na výkrese je však uvedeno chemické složení materiálu viz tab. 5.

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
0.1 MAX.	0.4 MAX.	2.5 TO 4.0	0.4 MAX.	0.8 MAX.	0.4 TO 0.6	0.1 MAX.	0.1 MAX.	REMAINS

**Tab. 5 – Chemické složení obráběného materiálu**

Podle chemického složení materiálu jsem vyhledal jí nejvíce podobné slitiny uvedené v lexikonu technických materiálů. Jsou jimi slitiny hliníku dle evropské normy EN AC-51100 a EN AC-71000.

Slitina dle normy EN AC-51100 je podobná obráběné slitině obsahem Cu, Si, Mg, Mn, Fe a Mn. Neobsahuje však Ni a Sn, místo nich obsahuje navíc drobné procento Zn a Ti.

Slitina dle normy EN AC-71000 je podobná obráběné slitině obsahem Cu, Si, Mn, Ni a Sn. Obsahuje však menší procento Mg, vyšší procento Zn a navíc také drobné procento Cr a Pb.

Obě tyto slitiny jsou však označeny jako materiály určené k lití, se snadnou obrobiteľností a velmi dobrou korozní odolností.

Podrobný popis těchto slitin je v příloze č. 5 a 6.

### 9.1.5 Rozbor obráběcího programu

O0001(BODY OP20)	→ název programu
M62	→ příkaz pro zpevnění 4. osy
M35	→ detekce zlomeného nástroje
G90M24	→ absolutní programování/ otevření upínače
G80G40G49G17	→ zrušení pevného cyklu vrtání/ zrušení kompenzace poloměru špičky nástroje / zrušení kompenzace délky nástroje / volba roviny XY
M21	→ zavření bezpečnostních dveří
M73	→ kontrola zavření bezpečnostních dveří
N10M06T01	→ pořadové číslo řádku / výměna nástroje / nástroj č. 1
(T01 4.5MM ED)	→ popisek
M08	→ spuštění čerpadla řezné kapaliny
M23	→ zavření upínače
M25	→ otočení stolu

G00G90G54X0.3Y0.84S9000M13	→ rychloposuv / absolutní programování / souřadný systém načítaný z tabulky OFFSET / určení pozice v ose X / určení pozice v ose Y / určení otáček vřetene / zapnutí rotace vřetena doprava a spuštění dodávky řezné kapaliny
G43Z40.H01	→ definování funkce návratu / definování bodu návratu v ose z / omezení platnosti pro nástroj č. 1
G81Z-12.G98R1.F400	→ vrtací cyklus / určení pozice v ose z / přepnutí rychloposuvu na pracovní posuv / určení pozice přepnutí / určení velikosti posuvu v mm/min
X50.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
X100.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
X150.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
X200.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
G80	→ zrušení pevného cyklu vrtání

G28G91Z0M50	→ nájezd do referenční polohy pro výměnu nástroje/ inkrementální programování / najetí vrtáku do výšky Z0 / orientace vřetene a zastavení přívodu řezné kapaliny
N20M06T02	→ pořadové číslo řádku / výměna nástroje / nástroj č. 2
(T02 4.5MM BALL-ED)	→ popisek
M35	→ detekce zlomeného nástroje
G00G90G54X200.5Y1.04S11000M13	→ rychloposuv / absolutní programování / souřadný systém načítaný z tabulky OFFSET / určení pozice v ose X / určení pozice v ose Y / určení otáček vřetene / zapnutí rotace vřetena doprava a spuštění dodávky řezné kapaliny
G43Z40.H02	→ definování funkce návratu / definování bodu návratu v ose z / omezení platnosti pro nástroj č. 2
G82Z-15.G98R1.F450	→ vyvrtávací cyklus / určení pozice v ose z / přepnutí rychloposuvu na pracovní posuv / určení pozice přepnutí / určení velikosti posuvu v mm/min

X150.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
X100.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
X50.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
X0.3	→ určení posunu dalšího vrtacího cyklu v ose x
G80	→ ukončení všech cyklů
G28G91Z0M50	→ nájezd do referenční polohy pro výměnu nástroje/ inkrementální programování / najetí vrtáku do výšky Z0 / orientace vřetene a zastavení přívodu řezné kapaliny
G90	→ absolutní programování
M06T03	→ výměna nástroje / nástroj č. 3 (neobsazené místo nástrojem)
M5	→ zastavení otáček vřetene
G28G91Z0	→ nájezd do referenční polohy #1 / inkrementální souřadnice / najetí vrtáku do výšky Z0

G30G91X0Y0M76	→ nájezd do referenční polohy #2 / inkrementální inkrementální programování / X0 / Y0 / potvrzení home position
M48	→ zápis +1 do počítadla pro nástroj č. 1
M49	→ zápis +1 do počítadla pro nástroj č. 2
M22	→ otevření bezpečnostních dveří
M02	→ konec programu
%	→ symbol ukončení programu

## 9.2 Rozpis testovaných nástrojů

### 9.2.1 Standardně používané nástroje od firmy Gühring

→ hrubovací vrták



Označení: C-EM-ST-4.4-H1

Průměr vrtáku: 4,4 mm

Celková délka: 90 mm

Délka činné části nástroje: 36,5 mm

Materiál nástroje: K10

Šířka plochy vedlejšího hřbetu: 6,41 mm

Šířka fazetky: 0,44 mm

Hloubka odlehčení: 0,45 mm

Průměr odlehčení: 3,5 mm

Úhel šroubovice: 20°

Úhel špičky: 180°

Úhel hřbetu: 5°

→ finišovací vrták



Označení: C-EM-ST-4.5-H1

Průměr vrtáku: 4,5 mm

Celková délka: 90 mm

Délka činné části nástroje: 36,1 mm

Materiál nástroje: K10

Šířka plochy vedlejšího hřbetu: 6,13 mm

Tloušťka jádra: 0,11 mm

Šířka fazetky: 0,46 mm

Hloubka odlehčení: 0,475 mm

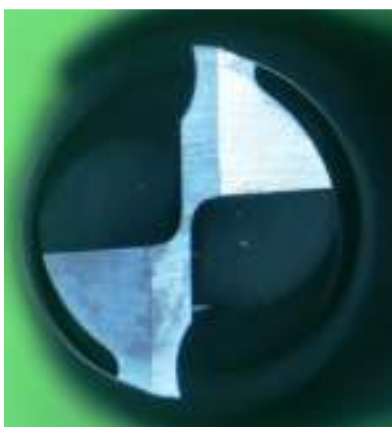
Průměr odlehčení: 3,55 mm

Úhel šroubovice: 30°

Úhel hřbetu: 3,5°

## 9.2.2 Nástroje od firmy Tyroline

→ hrubovací vrták



Označení: R-1782-0

Průměr vrtáku: 4,4 mm

Celková délka: 90 mm

Délka činné části nástroje: 36,3 mm

Materiál nástroje: K10

Šířka plochy vedlejšího hřbetu: 5,94 mm

Šířka fazetky: 0,71 mm

Hloubka odlehčení: 0,35 mm

Průměr odlehčení: 3,7 mm

Úhel šroubovice: 38°

Úhel špičky: 180°

Úhel hřbetu: 4°

Povlak: ROTAL

→ finišovací vrták



Označení: R-1783-0

Průměr vrtáku: 4,5 mm

Celková délka: 90 mm

Délka činné části nástroje: 36,6 mm

Materiál nástroje: K10

Šířka plochy vedlejšího hřbetu: 5,95 mm

Tloušťka jádra: 0,15 mm

Šířka fazetky: 0,79 mm

Hloubka odlehčení: 0,325 mm

Průměr odlehčení: 3,85 mm

Úhel šroubovice: 38°

Úhel hřbetu: 4°

Povlak: ROTAL



### 9.2.3 Nástroje od firmy Gühring

→ tříbřitý hrubovací vrták



Označení: C-EM-ST-4.2-H3

Průměr vrtáku: 4,2 mm

Celková délka: 90 mm

Délka činné části nástroje: 36 mm

Materiál nástroje: K10

Šířka plochy vedlejšího hřbetu: 4,28 mm

Šířka fazetky: 0,38 mm

Hloubka odlehčení: 0,4 mm

Průměr odlehčení: 3,4 mm

Úhel šroubovice: 30°

Úhel špičky: 180°

Úhel hřbetu: 2,8°

→ tříbřitý finišovací vrták



Označení: C-EM-ST-4.5-H3

Průměr vrtáku: 4,5 mm

Celková délka: 90 mm

Délka činné části nástroje: 36,2 mm

Materiál nástroje: K10

Šířka plochy vedlejšího hřbetu: 4,3 mm

Šířka fazetky: 0,38 mm

Hloubka odlehčení: 0,35 mm

Průměr odlehčení: 3,8 mm

Úhel šroubovice: 30°

Úhel hřbetu: 5°

## 9.2.4 Nástroje od firmy Mapal

→ kombinovaný vrták s PKD plátky



Označení: 6000-770/2009

Průměr vrtáku: 4,5 mm

Celková délka: 90 mm

L činné části nástroje: 12 mm

Základní mat. nástroje: tvrdokov

Řezný materiál: PKD

Šířka fazetky: 0,11 mm

Hloubka odlehčení: 0,4 mm

Průměr odlehčení: 3,7 mm

K tomuto jedinému nástroji byl  
dodán výkres č. 30274186-000-  
000ED2. Ten je obsažen  
v příloze č. 4.

*Pozn.*

*Firmy vyrábějící nástroje v dnešní době velmi střeží své „know-how.“ Z toho důvodu firmy Gühring a Tyroline nedodaly výkresy nástrojů. Výkres s alespoň základními údaji dodala pouze firma Mapal. Proto jsem byl nucen uvedené údaje o vrtacích odměřit z dodaných nástrojů. Uvedené hodnoty tedy lze považovat pouze za orientační.*

### 9.3 Měření během testů

Před samotným nasazením všech vrtacích fréz do dlouhodobého testu jsem byl povinen vydat tzv. data sheet (záznamový list), ve kterém se potvrdí či vyvrátí způsobilost nových nástrojů. Podle interní směrnice společnosti AISAN jsem naměřil 30 hodnot u nedestrukčních způsobů měření a 5 hodnot u destrukčních způsobů měření. Hodnoty, které je nutno změřit, jsou uvedeny v „Process chartu“ (mapě procesu) – viz příloha č. 1.

Během prvotního měření byly měřeny pouze obrobené díly BODY. Během dlouhodobých testů se měřily nejen obrobené díly BODY, ale také opotřebení nástrojů.

#### 9.3.1 Použitá měřící zařízení

##### Měřící mikroskop NIKON včetně kamery NIKON

- Typ mikroskopu: MM – 60
- Typ kamery: DS – 5M
- Rozlišitelnost: 0,001 mm
- Optické zvětšení celkové:  $1 \div 10x$
- Digitální zvětšení obrazu: až 1200x
- Software: Lucia Image DS – U1



Obr. 18 – Měřící mikroskop

##### Drsnoměr Mitutoyo

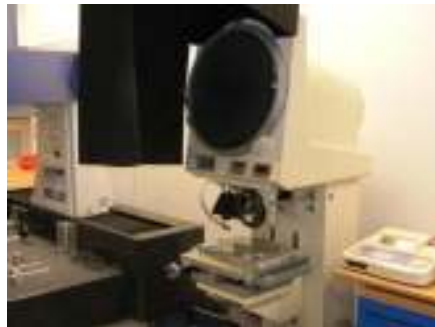
- Typ: SJ400 / 178 – 958 – 2D
- Rozlišitelnost: 0,0005 mm



Obr. 19 – Drsnoměr

### **Profilprojektor NIKON**

- Typ: V – 20B
- Rozlišitelnost: 0,001 mm
- Zvětšení: 10 ÷ 50x



**Obr. 20 – Profilprojektor**

### **Automatický tvrdoměr SHIMADZU**

- Typ: HMV – 2
- Rozlišitelnost: HV0,01
- Zátěžná síla: 98,07 mN → 19,614 N



**Obr. 21 – Tvrdoměr**

### **Stereo mikroskop OLYMPUS**

- Typ: SZ 60
- Zvětšení: 0,67 ÷ 4,5x
- Poměr zoomu: 6,7 : 1



**Obr. 22 – Stereo mikroskop**

### **Rozbrušovačka**

- Typ: RCA – 234
- Maximální výkon: 1,5 kW
- Rozsah otáček: 1250 ÷ 1750 ot/min
- Průměr kotouče: 200 mm

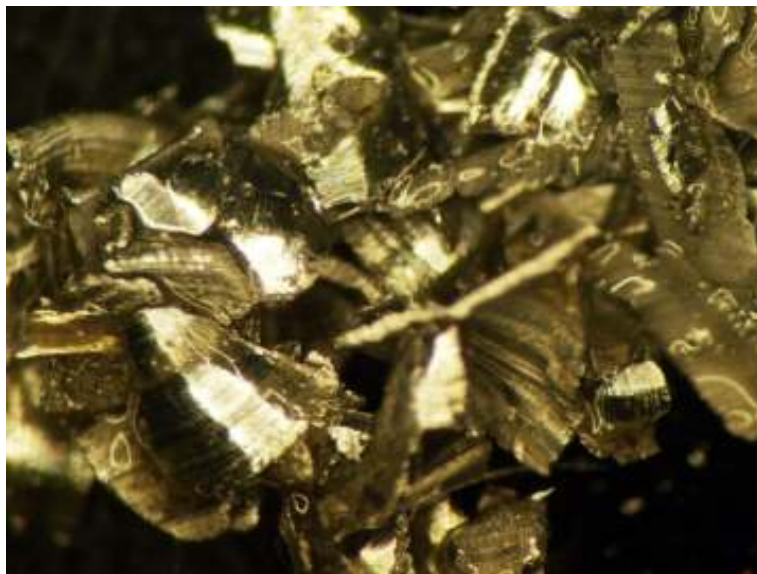


**Obr. 23 – Rozbrušovačka**

## 9.4 Test nástrojů

Obráběná díra je částečně předlita, není tedy možné tento skutečný případ obrábění jinak simulovat. Test jsem tedy prováděl během standardní výroby. Kvůli možnosti porovnání opotřebení, resp. trvanlivosti jednotlivých nástrojů jsem byl nucen u všech vrtáků použít stejné posuvy. S ohledem na nutnost dodržet alespoň současný čas obráběcího procesu, byly i ponechány současné velikosti pracovních posuvů a řezných rychlostí.

Během nasazení testovacích nástrojů do obráběcího procesu jsem zkoumal velikost a tvar třísek. Za daných řezných podmínek se při nasazení všech vrtáků tvořila drobná lámavá tříška – viz obr. 24. Proces tedy není z hlediska omezení daného vhodným utvářením třísek nijak neomezen – viz kapitola 3.3.6.



**Obr. 24 – Lámavá tříška**

Pro porovnání opotřebení, resp. trvanlivosti jednotlivých nástrojů jsem použil měření opotřebení VB. Vzhledem k tomu, že testování probíhalo během standardní výroby, prováděl jsem měření na nástrojích během přestávek. To z důvodu, abych chod výroby narušil co nejméně. Vzhledem k tomu však nejsou intervaly během měření vždy stejné. Tento fakt ale není důležitý pro můj případ testování, kdy je primárním cílem zjistit velikost opotřebení VB po obrobení 20 000 kusů Body lwr. Prakticky jsem se snažil dodržet maximální rozestup mezi

měřeními vyjádřený v počtu obrobených kusů na max. 1 200 ks. Tento počet je dostatečný na to, aby se dal graficky vyjádřit průběh opotřebení VB v závislosti na počtu obrobených kusů. Tyto grafy jsou uvedeny v kapitolách 9.4.2 až 9.4.4.

#### 9.4.1 Stanovení kritického opotřebení

Životnost vrtáků používaných na vrtacím centru CDR 002 ve firmě Aisan Industry Czech je stanovena na 20 000 obrobených kusů Body lwr. Vyjádřením v obrobených metrech díry to znamená pro hrubovací vrták životnost 180 m obrobené díry a pro finišovací vrták 216 m obrobené díry. Tuto metodiku jsem použil pro všechny testy vrtáků. Teprve po zhodnocení testů bude zřejmé, jaká velikost opotřebení VB odpovídá kritickému opotřebení.

#### 9.4.2 Test standardně používaných nástrojů od firmy Gühring

*Pozn.*

*Popis těchto nástrojů je uveden v kapitole 9.2.1.*

##### 9.4.2.1 Nastavené řezné podmínky

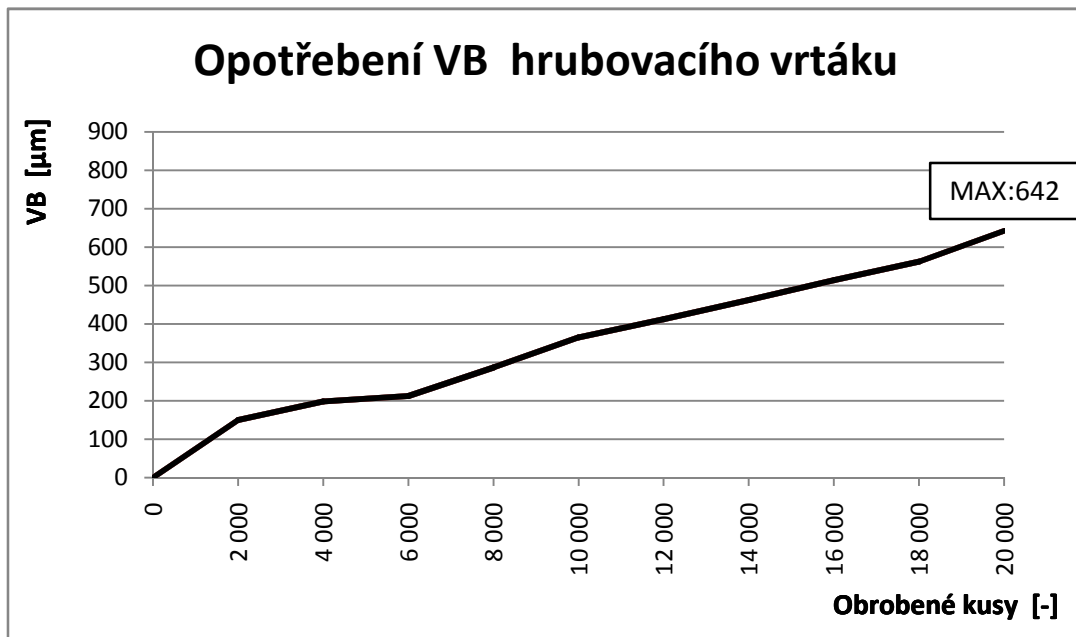
###### **Hrubovací vrtací cyklus:**

- posuv = 400 mm/min = 0,053 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 103,67 m/min
- délka vrtání = 9 mm/1 obrobek

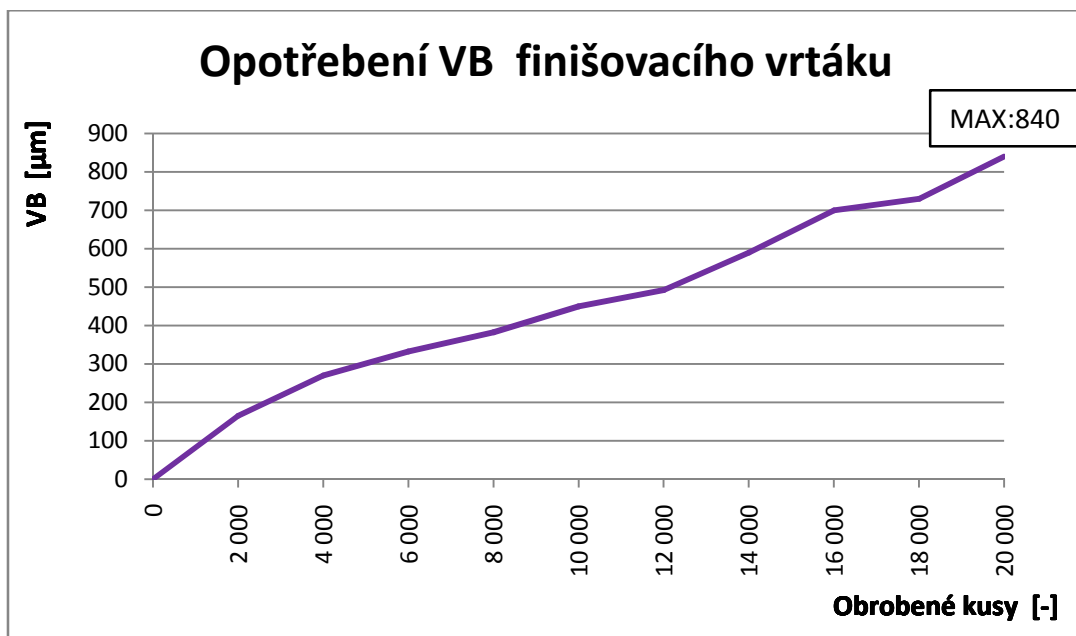
###### **Finišovací vrtací cyklus:**

- posuv = 450 mm/min = 0,06 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 106,03 m/min
- délka vrtání = 10,8 mm/1 obrobek

### 9.4.2.2 Zpracování naměřených hodnot



Graf 3 – Závislost  $VB = f(n)$  pro vrták č. C-EM-ST-4.4-H1



Graf 4 – Závislost  $VB = f(n)$  pro vrták č. C-EM-ST-4.5-H1

### 9.4.3 Test nástrojů od firmy Tyroline

Pozn.

Popis těchto nástrojů je uveden v kapitole 9.2.2.

#### 9.4.3.1 Nastavené řezné podmínky

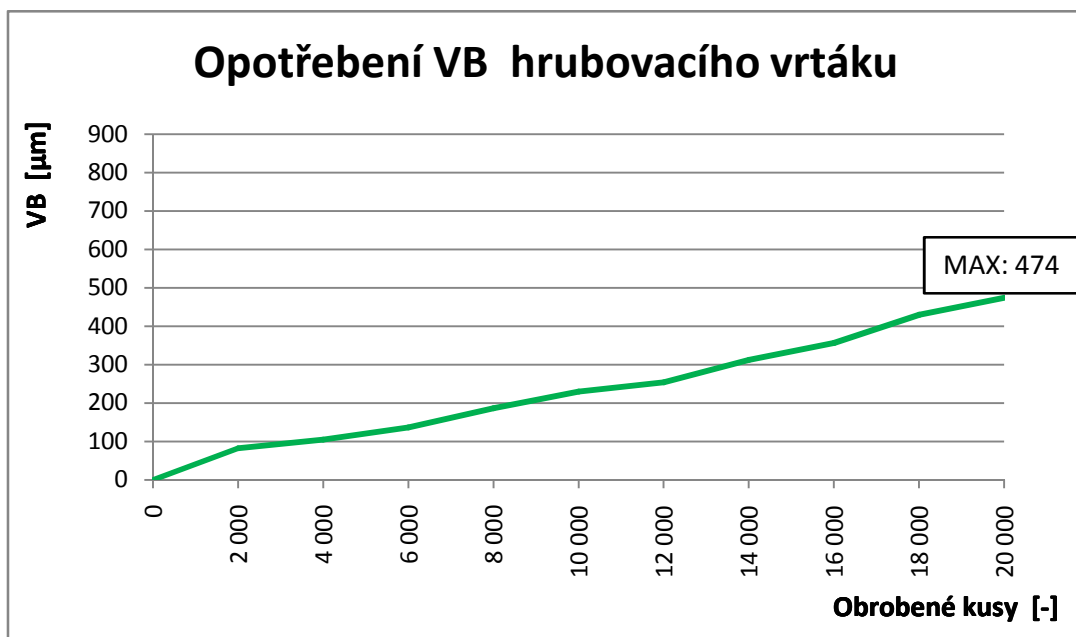
##### Hrubovací vrtací cyklus:

- posuv = 400 mm/min = 0,053 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 103,67 m/min
- délka vrtání = 9 mm/1 obrobek

##### Finišovací vrtací cyklus:

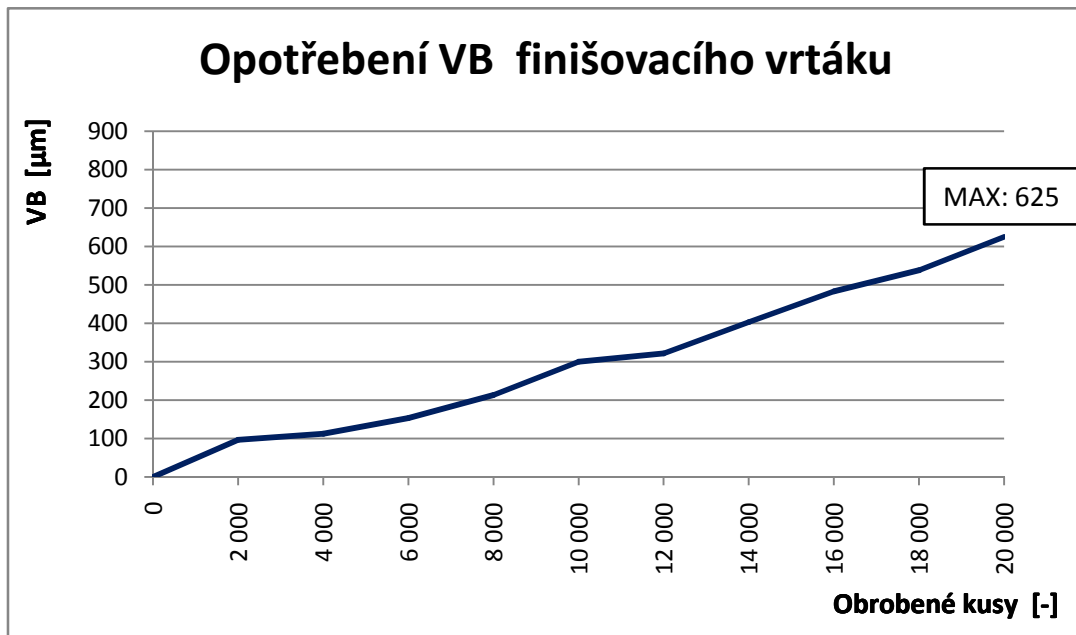
- posuv = 450 mm/min = 0,06 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 106,03 m/min
- délka vrtání = 10,8 mm/1 obrobek

#### 9.4.3.2 Zpracování naměřených hodnot



Graf 5 – Závislost VB = f(n) pro vrták č. R-1782-0





**Graf 6 – Závislost VB = f(n) pro vrták č. R-1783-0**

#### 9.4.4 Test tříbřitých nástrojů od firmy Gühring

*Pozn.*

*Popis těchto nástrojů je uveden v kapitole 9.2.3.*

##### 9.4.4.1 Nastavené řezné podmínky

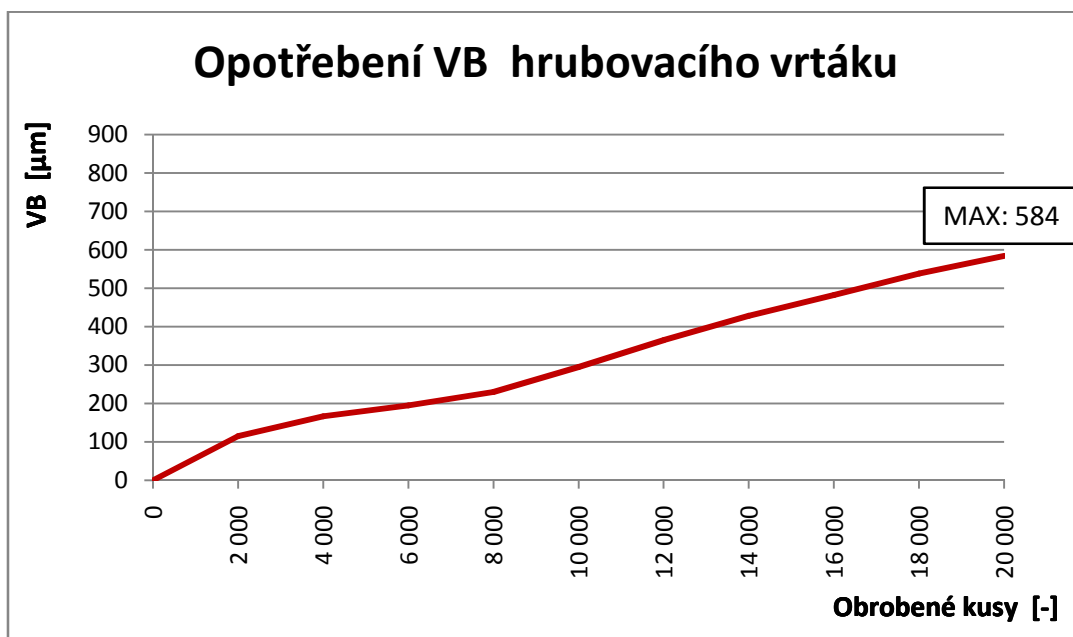
###### **Hrubovací vrtací cyklus:**

- posuv = 400 mm/min = 0,053 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 98,96 m/min ( $D = 4,2 \text{ mm}$ )
- délka vrtání = 9 mm/1 obrobek

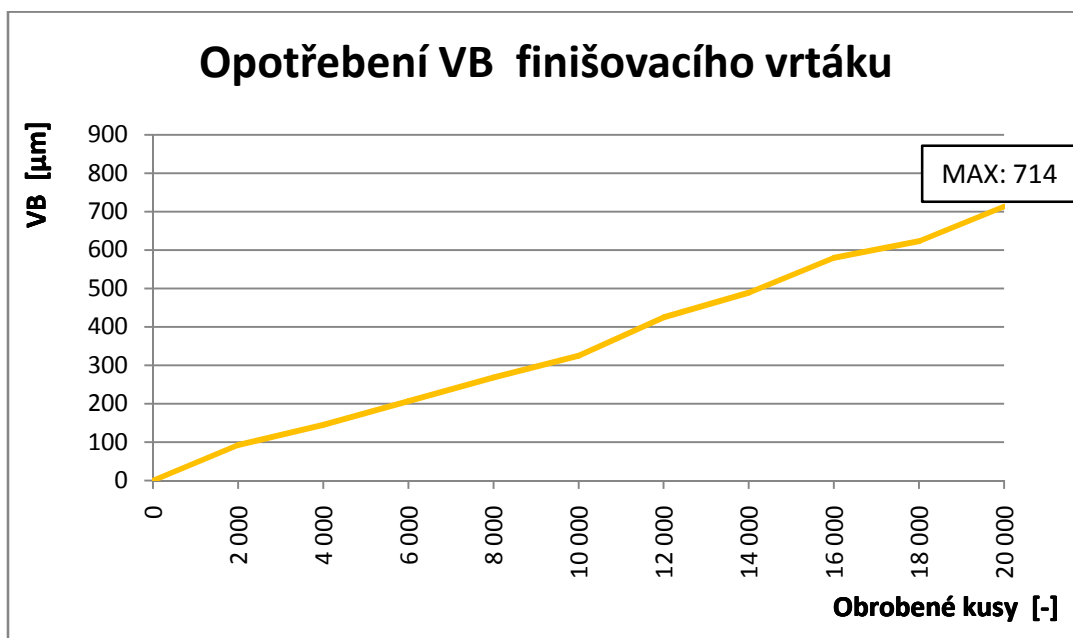
###### **Finišovací vrtací cyklus:**

- posuv = 450 mm/min = 0,06 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 106,03 m/min
- délka vrtání = 10,8 mm/1 obrobek

#### 9.4.4.2 Zpracování naměřených hodnot



Graf 7 – Závislost  $VB = f(n)$  pro vrták č. C-EM-ST-4.2-H3



Graf 8 – Závislost  $VB = f(n)$  pro vrták č. C-EM-ST-4.5-H3

## 9.4.5 Test kombinovaného nástroje od firmy Mapal

*Pozn.*

*Popis tohoto nástroje je uveden v kapitole 9.2.4.*

### 9.4.5.1 Nastavené řezné podmínky

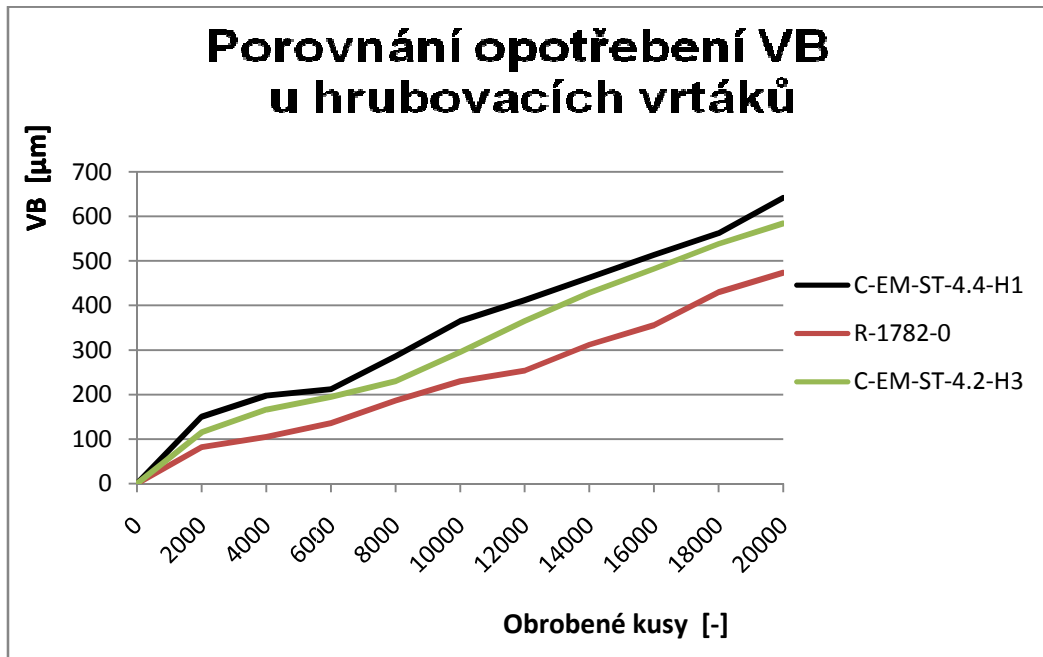
Během testování tohoto vrtáku před nasazením do standardní výroby jsem narazil na problém s dodržением požadované drsnosti povrchu obrobené plochy (max. 12,5 Z). Této požadované jakosti povrchu lze dosáhnout pouze při nastavení pracovního posuvu vrtáku na hodnotu 100 mm/min. To znamená, že nasazením pouze 1 nástroje byl zkrácen výsledný čas stroje o dobu obrábění hrubovacím vrtákem (o 18,5 s). Zároveň však byla kvůli snížení posuvů během vrtacího cyklu prodloužena doba obrábění (o 37,3 s). Namísto snížení celkového času stroje tedy došlo k jeho prodloužení o 18,8 s na hodnotu 69 s.

Kvůli takovému prodloužení strojního času nelze kombinovaný vrták otestovat ve standardní výrobě. V podstatě by to nemělo ani žádný smysl.

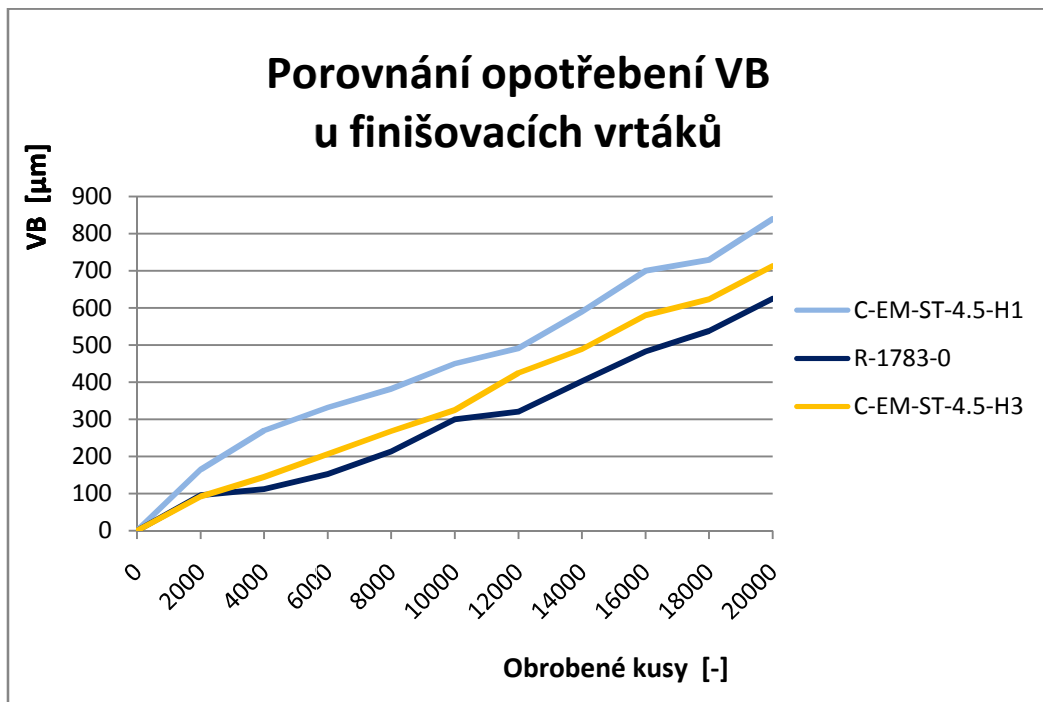
#### **Vrtací cyklus:**

- posuv = 100 mm/min = 0,053 mm/ot
- otáčky = 7 500 ot/min
- řezná rychlost = 106,03 m/min
- délka vrtání = 13 mm/1 obrobek

#### 9.4.6 Shrnutí testu vrtáků



Graf 9 – Závislost VB = f(n) pro hrubovací vrtáky



Graf 10 – Závislost VB = f(n) pro finišovací vrtáky

Z uvedených grafů shrnujících velikosti opotřebení VBv závislosti na počtu obrobených kusů je zřejmé, že nejmenší opotřebení vykazují vrtáky od firmy Tyroline.

Jako další postup navrhuji firmě Aisan Industry Czech další test s již použitými vrtáky od firmy Tyroline. Během tohoto testu by se zhodnotila možnost posunutí hranice životnosti vrtáků, která je nyní nastavena na 20 000 ks obrobených Body lwr. Jestliže obrobky kvalitativně vyhovují při velikosti opotřebení standardních nástrojů, měly by kvalitativně vyhovovat při stejné velikosti opotřebení i nástrojů od firmy Tyroline. Toto je však pouze má úvaha, kterou je nutno prakticky ověřit.

Cenové porovnání nákladů na nástroje je v tab. 6. Protože prodejci nástrojů poskytují různě velké slevy při nákupu určitého počtu nástrojů, porovnal jsem ceny při uvažovaném objednaném množství 10ks.

Označení vrtáku	Výrobce	Operace	Cena 10 ks [Kč]	Cena 1 ks [Kč]
C-EM-ST-4.4-H1	Gühring	Hrubování	10 910	1 091
C-EM-ST-4.5-H1		Načisto	10 910	1 091
R-1782-0	Tyroline	Hrubování	7 850	785
R-1783-0		Načisto	9 030	903
C-EM-ST-4.2-H3	Gühring	Hrubování	10 910	1 091
C-EM-ST-4.5-H3		Načisto	10 910	1 091
6000-770/2009	Mapal	Načisto	71 400	7 140

**Tab. 6 – Ceny nástrojů**

Nasazením nástrojů od firmy Tyroline se docílí při dodržení životnosti nástrojů (20 000 obrobených kusů) úspory ve výši 0,0247 Kč na 1 obrobený Body lwr. V případě roční produkce 1 500 000 obrobků Body lwr činí výsledná roční úspora 37 050 Kč. Tato suma se však zásadně zvýší, pokud se docílí uvažované změny životnosti nástroje, resp. změny jejího omezení v dokumentu Process chart.

Dalším závěrem, který lze z výsledků těchto testů učinit, je fakt, že všechny hrubovací vrtáky vykazují v porovnání s finišovacemi menší opotřebení.

Jako jeden z dalších testů s ohledem na časovou optimalizaci tedy navrhuji provést test za nastavení vyšších pracovních posuvů hrubovacího nástroje.

## 9.5 Test procesních kapalin

Standardně se na vrtacích centrech CDR001 a CDR002 používá procesní kapalina DASNOBOR 4010 od společnosti Charvát Group s.r.o. Poněvadž je tato firma majoritním dodavatelem procesních kapalin pro firmu AISAN, hledal jsem alternativu dosud používané procesní kapaliny opět u firmy Charvát Group. Po konzultaci s jejím obchodním zástupcem Ing. Leo Kolmanem jsme se dohodli na otestování novinky na trhu, procesní kapaliny DASCOOL 1061 ZF.

Test této kapaliny se musel provést na obou vrtačkách zároveň, a to z toho důvodu, aby se na vrtačce CDR002 nemísily dvě různé procesní kapaliny.

Jak je popsáno v kapitole 9.1.3 Rozbor výroby součástky, nejprve se provádí vrtání na vrtačce CDR001 a kusy se následně bez oplachu, přemísťují do vrtačky CDR002.

Po uskutečnění a vyhodnocení tohoto testu jsem hledal alternativní procesní kapaliny i u jiných výrobců, respektive prodejců, ale při poptávaném odběru cca. 50 litrů/rok, jsem nedostal nabídku s cenou menší nežli 100 Kč/litr (Současná cena je 82 Kč/l). To je dáno právě výlučností, kterou má firma Charvát Group v závodě AICz. Nový druh kapaliny firma Charvát Group nabídla za stejnou cenu, jako za kapalinu dosud dodávanou.

### 9.5.1 Procesní kapalina DASNOBOR 4010

#### *Charakteristika:*

S vodou mísitelná polysyntetická kapalina bez obsahu boru a aminů určená pro všechny způsoby obrábění ocelí, litiny, hliníku a barevných kovů – nejuniverzálněji použitelná procesní kapalina firmy Charvát Group s.r.o.

***Základní parametry:***

Viskozita při 20°C	60 mm <sup>2</sup> /s
Hustota při 20°C	0,96 g/cm <sup>3</sup>
pH hodnota 5% roztoku	9,0 ± 0,1
Koeficient přepočtu refraktometrem	1,05
Doporučená koncentrace	4 - 7 %

**Tab. 7 – Základní parametry kapaliny DASNOBOR 4010**

***Výhody kapaliny (dle výrobce):***

- Neobsahuje bor ani jeho sloučeniny
- Neobsahuje žádné aminy
- Velmi šetrná k životnímu prostředí
- Neobsahuje chlor, fenoly, nitridy ani jiné látky, které by poškozovaly životní prostředí
- Velmi dobrá mazací schopnost
- Vynikající chladicí a vyplachovací účinek
- Výborná antikorozi ochrana
- Nelepí
- Stabilní i v teplé vodě
- Vysoká odolnost vůči mikroorganismům
- Nízká pěnovost
- Nízká tvorba mlhy

***Určena pro obrábění materiálů:***

Oceli, hliník a jeho slitiny, barevné kovy, litina.

## 9.5.2 Procesní kapalina DASCOOL 1061 ZF

### **Charakteristika:**

S vodou mísitelná polysyntetická kapalina s obsahem minerálního oleje pro těžké obrábění a broušení. S výbornými mazacími schopnostmi s obsahem modifikovaných esterů.

### **Základní parametry:**

Viskozita při 20°C	145 mm <sup>2</sup> /s
Hustota při 20°C	1,00 g/cm <sup>3</sup>
pH hodnota 5% roztoku	9,2 ± 0,1
Koeficient přepočtu refraktometrem	1,07
Doporučená koncentrace	4,5 - 8 %

**Tab. 8 – Základní parametry kapaliny DASCOOL 1061 ZF**

### **Výhody kapaliny (dle výrobce):**

- Vysoká stabilita i ve tvrdé vodě
- Jemně disperzní emulze
- Výborná antikorozi odolnost
- Nízká pěnovost i v měkké vodě
- Snadno filtrovatelná
- Široké uplatnění pro všechny druhy obrábění a broušení všech materiálů

### **Určena pro obrábění materiálů:**

Vysoce legované oceli, litina, barevné kovy, hliník a jeho slitiny.

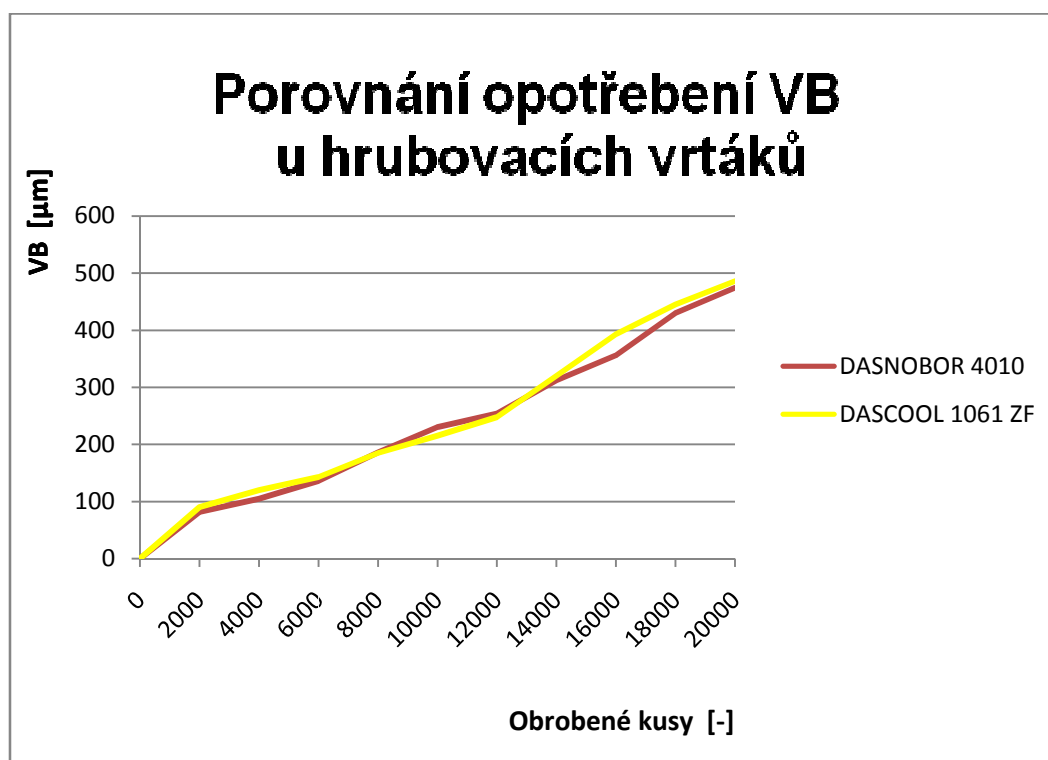
### **Pozn.**

*Pro obě tyto kapaliny platí evropské předpisy TRGS 611. S pokožkou jsou dobře snášenlivé a pro obě platí doporučená koncentrace 5%.*

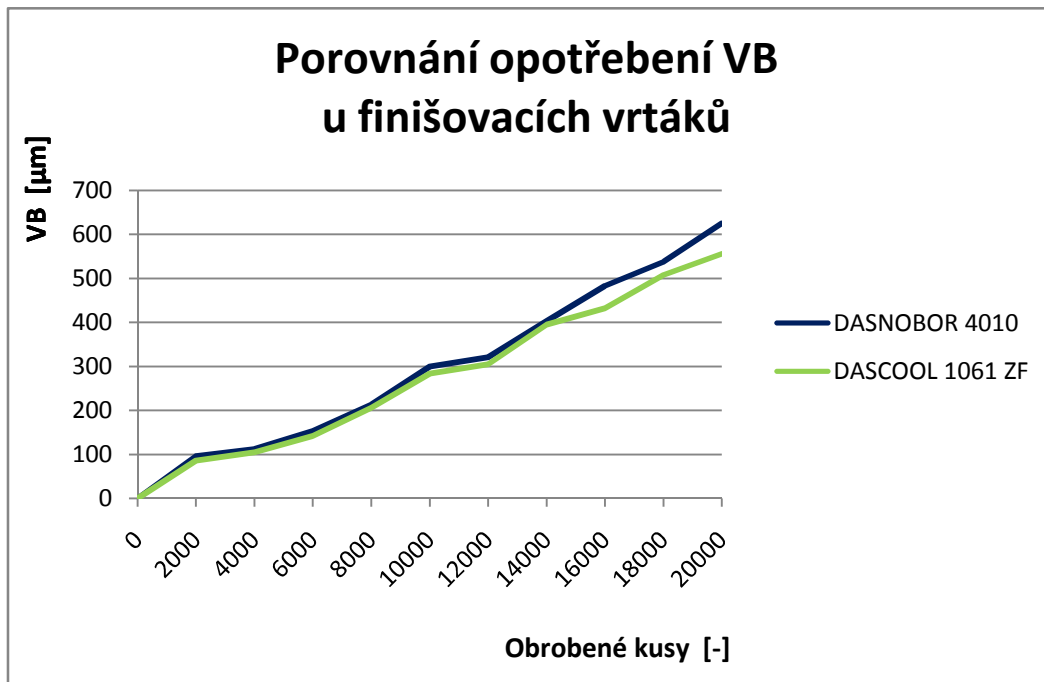


### 9.5.3 Průběh testu procesních kapalin:

Test jsem provedl pro snadné porovnání s vrtáky od firmy Tyroline, za stejných řezných podmínek jako původní testy. Během testu jsem měřil na nástrojích velikost opotřebení a na obrobcích jsem měřil drsnost po obrobení na boku a spodku díry. V podstatě stejné parametry, jako při dlouhodobém testu vrtáků – viz kapitola 9.4. Hodnoty naměřených velikostí opotřebení VB za použití kapaliny DASCOOL 1061 ZF a jejich srovnání s dřívějším testováním s kapalinou DASNOBOR 4010 jsou uvedeny v grafu č.11 a 12.



Graf 11 – Závislost VB na použité procesní kapalině při hrubování



**Graf 12 – Závislost VB na použité procesní kapalině při vrtání načisto**

### 9.5.3 Zhodnocení testu procesních kapalin:

Z uvedených grafů vyplývá, že s ohledem na velikost opotřebení VB je mezi procesními kapalinami velmi malý rozdíl. Je otázkou, pro dlouhodobější zkoumání, zda není způsoben pouze chybou měření.

Vzhledem ke stejné ceně procesních kapalin, prokázanému „nezhoršení“ obráběcího procesu a faktu, že kapalina DASCOOL je ve vrtacích centrech již nasazena, doporučuji pokračovat dále v jejím testování.

Kapalina DASCOOL má však podle operátorů zásadní přednost v tom, že nezapáchá tolik, jako kapalina DASNOBOR. Nižší zapáchavost však může být způsobena důkladným vyčištěním vrtacích center před nasazením kapaliny DASCOOL do obráběcího procesu. I tento fakt je důvodem, proč pokračovat v testu nového druhu kapaliny.

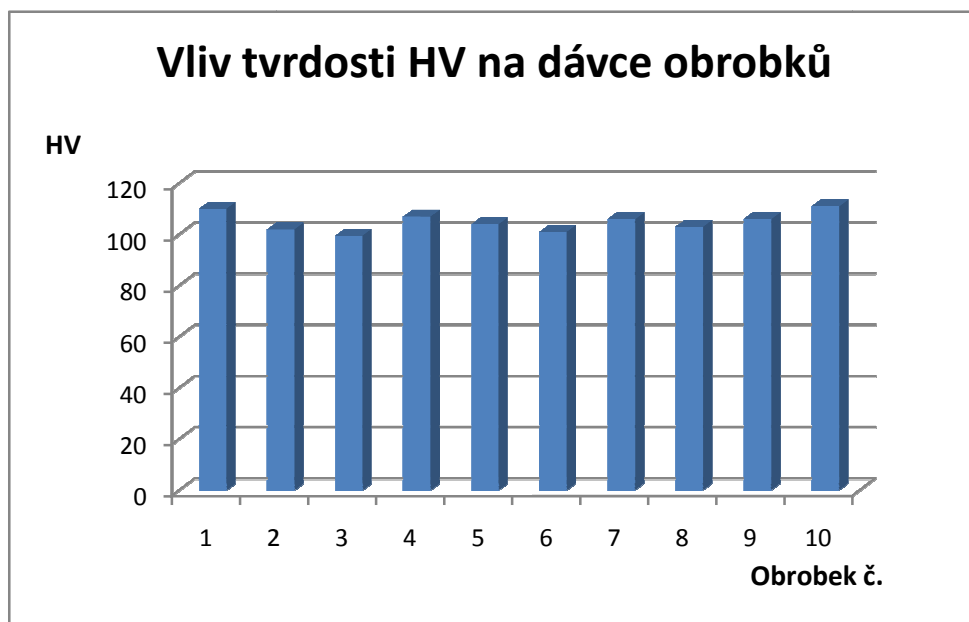
## 9.6 Doprovoďná měření

V průběhu testů nástrojů jsem kromě velikosti opotřebení VB a standardních měření – viz Process, zkoumal i další faktory. Mezi ně patří např. vliv závislosti dávky dodaných polotovarů na jejich tvrdost.

### 9.6.1 Měření tvrdosti obrobků Body lwr

Toto měření jsem provedl pro 5 různých dávek obrobků. Z každé dávky jsem pro měření náhodně vybral 2 kusy. Jako způsob měření jsem zvolil měření tvrdosti dle Vickerse.

Z uvedeného grafu č. 13 je zřejmé, že do obráběcího procesu přicházejí odlitky Body lwr o přibližně stejné tvrdosti. Na obráběcí proces by mnou zjištěné odchylky neměly mít vliv.



**Graf 13 – Závislost HV na dávce obrobků**

## 9.6.2 Měření průměrů a drsností děr po obrobení

Měření těchto veličin se provádí během pravidelných kontrol, které jsou určeny v dokumentu Process chart. Já jsem zkoumal závislost drsnosti a velikosti průměru na použitých nástrojích a jejich opotřebení.

Naměřené velikosti drsností se pohybovaly v rozmezí od 1,8 do 6,5 Z, nezávisle na použitých nástrojích od začátku do konce jejich nasazení (vyjma kombinovaného nástroje od firmy Mapal).

Naměřené velikosti průměrů děr se pohybovaly v rozmezí od 4,49 do 4,53 mm. V tomto případě je to však způsobeno obtížným měřením. Měření se provádí na měřicím mikroskopu a neúplná díra se musí proložit minimálně třemi body. Z těchto bodů se následně vykreslí kružnice, jejíž průměr se následně změří.

Z těchto důvodů jsou v diplomové práci podrobně zhodnoceny opotřebení VB, která mají největší vypovídací váhu.

## 10. Shrnutí poznatků a návrhy na opatření

### 10.1 Definice problémů

Jak je popsáno v úvodu, již při zadání této diplomové práce byly firmou Aisan Industry Czech specifikovány 2 problémy vyskytující se při tomto obráběcím procesu. Těmito problémy jsou:

- 1. Příliš dlouhá doba pracovního cyklu**
- 2. Otřepy na kusech po obrábění**

Existenci těchto problémů jsem potvrdil v kapitole č. 9. Jiné problémy jsem během rozboru obráběcího procesu nenalezl. Pouze jsem identifikoval příčiny zmíněných problémů. Výpis těchto příčin a návrhy na opatření pro jejich odstranění či minimalizaci jejich vlivu jsou uvedeny v následujících kapitolách.

## 10.2 Problém: Příliš dlouhá doba pracovního cyklu

### 10.2.1 Zhodnocení problému

Problém je zřejmý z tab. 3 a rozbor je proveden v kapitole 9.1.3. Jak je popsáno v kapitole 9.1.1, jsou možné 2 principy časové optimalizace. Buď dosáhnout času stroje na vrtacím centru CDR 002 co nejbližšího času stroje na vrtacím centru CDR 001 (tj. zkrátit čas stroje CDR 002 v ideálním případě o 7,66 s), nebo nastavit na vrtacím centru CDR 002 takový čas stroje, aby bylo dosaženo jednotného taktu na celé lince pro obrábění Body lwr (tj. zkrátit čas vrtacího centra CDR 002 o 0,26 s).

Po konzultaci s vedoucím výroby firmy Aisan Industry Czech byla zvolena 2. varianta. To znamená zkrátit čas stroje CDR 002 tak, aby byla časová optimalizace provedena s ohledem na práci 1 operátora obsluhujícího vrtací centra. Tato varianta byla zvolena z důvodu současné situace, kdy poklesly objemy vyráběných čerpadel. Z toho důvodu také v minulém roce byla firma nucena snížit počet zaměstnanců. Tím pádem je vítána možnost ze strany firmy, aby byla možnost operátorovi po obrobení potřebného množství Body lwr na vrtacích centrech zadat jinou práci. Z pohledu zaškolení operátorů to není problém, protože všichni operátoři jsou proškoleni na více pracovištích.

### 10.2.2 Návrhy změn

Změny jsem navrhl a některé z nich také aplikoval pro všechny úseky formulované v grafu 2, tj.:

- Zavření dveří
- Otočení stolu a nájezd do pracovní pozice
- Hrubovací vrtací cyklus
- Vrtací cyklus načisto
- Otočení stolu a nájezd do vkládací pozice
- Otevření dveří

### ***10.2.2.1 Úprava otevírání a zavírání bezpečnostních dveří***

Otevírání a zavírání dveří je uskutečňováno pomocí pneumatického válce, ke kterému je připevněna 1. polovina dveří. 1. polovina dveří za sebou pomocí tvarové vazby vleče 2. polovinu. Nastavení rychlostí jejich zavírání a otevírání se provádí pomocí škrticích ventilů umístěných na pneumatickém válci.

Problém spočíval v tom, že při nastavení vyšších rychlostí zavírání, se polovina dveří od sebe odpojovaly. To bylo způsobeno opotřebením tvarové vazby mezi dveřmi. Tvarová vazba byla pracovníky údržby vyztužena pomocí ocelové pásoviny. Její funkce je tedy touto úpravou, resp. opravou zaručena i během zavírání dveří vyšší rychlostí.

Po opravě jsem nastavil na obráběcím centru vyšší rychlosti jak zavírání, tak i otevírání bezpečnostních dveří. Touto jednoduchou opravou dveří a následnou úpravou rychlostí jsem docílil zkrácení celkového času stroje o 1,2 s za 1 obráběcí cyklus, během kterého se obrobí 5 ks Body lwr.

### ***10.2.2.2 Změna pozic pro přepnutí rychloposuvů na pracovní posuvy***

Během rozboru obráběcího programu jsem zjistil, že bezpečnostní vzdálenost pro přibližování se nástroje k obrobku je stejná pro hrubovací i finišovací vrták. Vzhledem k tomu, že finišovací je rádiusový a hrubovací není, považoval jsem to za chybné. Po prozkoumání reálné situace na stroji jsem zjistil, že u hrubovacího vrtáku je ona bezpečnostní vzdálenost 3 mm a u vrtáku finišovacího dokonce 4,7 mm.

Podle mého názoru byla původně nastavena bezpečnostní vzdálenost na 1 mm od nejvyššího bodu komínku na obrobku Body lwr. První kontakt hrubovacího nástroje s obrobkem je však teprve 2 mm pod nejvyšším bodem komínku. Nerespektování této skutečnosti patrně vedlo k nastavení bezpečnostní vzdálenosti na hodnotu R1, tj. 3 mm od skutečného kontaktu u hrubovacího nástroje a 4,7 mm u finišovacího nástroje.

Přibližovací vzdálenosti jsem nastavil pro oba vrtáky na 1,5 mm. Tuto změnu jsem realizoval úpravou programu:

**Před úpravou:****Po úpravě:**

G81Z-12.G98R1.F400

→

G81Z-12.G98R-0.5F400

G82Z-15.G98R1.F450

→

G82Z-15.G98R-2.2F450

Touto změnou jsem docílil zkrácení celkového času stroje o 3,2 s na 1 obráběcí cyklus. Taková časová úspora je dána velkým rozdílem mezi velikostí rychloposuvu (56 000 mm/min) a pracovních posuvů (400, resp. 450 m/min) a také skutečností, že během jednoho obráběcího procesu se obrábí 5 ks Body lwr.

### ***10.2.2.2 Přidání absorberů***

Aby byla na stroji dosažena co nejkratší doba operace otočení stolu do pracovní polohy a zpět do polohy pro vkládání a vyjímání obrobků, je mým návrhem přidat do stroje rázové absorbery na pozice koncových dorazů. Použití rázových absorberů nám dovolí stůl otáčet vyšší rychlostí, která se nastavuje pomocí škrtících ventilů umístěných na pneumatickém válci. Podstata modifikace spočívá v tom, že stůl je možné otáčet vysokou rychlostí, která se sníží na minimum během posledních 25 mm před kontaktem stolu s koncovým dorazem. Bez použití rázových absorberů a při nastavení vyšších rychlostí otáčení, než jsou na stroji nastaveny nyní, dochází k rázům.

Typ použitých rázových absorberů jsem zvolil FCK-L-8.1 od firmy FCK. Tento typ rázových absorberů se již ve firmě Aisan Industry Czech používá na jiných strojích. Nebude tedy nutné ve skladu zavádět novou položku náhradního dílu. 1 kus tohoto typu rázového absorberu je vždy ve skladu připraven k použití. Zvolen však byl primárně z toho důvodu, že je určen pro použití za nízkých rychlostí (do 1 m/s), dokáže pohlcovat energii až 79,3 J (což je pro náš případ dostatečné), zpomalení je nastavitelné v širokém rozsahu a svými rozměry umožňuje zabudování do vrtacího centra. Z důvodu, aby bylo možno do stroje rázové absorbery přidat, jsem navrhl nové držáky koncových dorazů viz příloha č.9. V těchto držácích budou uchyceny nastavitelné koncové dorazy i rázové absorbery.

Tato modifikace byla firmou Aisan Industry Czech schválena, avšak v době odevzdání diplomové práce nebyla prakticky dokončena.

Na vrtacím centru jsem vyzkoušel nastavit minimální doby otáčení stolu i bez požití rázových absorberů. Spolu s přejezdem do pracovní či vkládací polohy trvá tento úkon 0,9 s. Jak jsem popsal výše, působí za těchto okolností pro standardní výrobu nepřijatelné rázy. Doby zpomalení rázovými absorbery si dovoluji odhadnout na 0,5 s. Při správnosti těchto předpokladů činí výsledná časová úspora 1,6 s času stroje na jeden obráběcí cyklus.

Náklady na tuto modifikaci činí cca. 6 000 Kč. Při ročním počtu 300 000 obráběcích cyklů je výsledná roční úspora času 133 pracovních hodin. Vztaženo na úsporu mzdových nákladů za operátora, činí výše této úspory 23 940 Kč/rok. Z tohoto hlediska je vložená investice 6 000 Kč navrácena za ¼ roku a tudíž ji lze označit za správně vynaloženou.

#### ***10.2.2.3 Úprava programu – varianta č.1***

Tato úprava vyplívá z použití kombinovaného nástroje – viz kapitola 9.2.5. Podstata úpravy spočívá v odstranění části programu, která se týká obrábění hrubovacím vrtákem. Takto upravený program je uveden v příloze č. 7.

Jak je uvedeno v kapitole 9.4.3 Test kombinovaného nástroje od firmy Mapal, bylo nutno použít pracovní posuv o velikosti pouze 100 mm/min. To znamená, že touto úpravou byl zkrácen výsledný čas stroje o dobu obrábění hrubovacím vrtákem (18,5 s). Zároveň však byla kvůli snížení posuvů během vrtacího cyklu prodloužena doba obrábění o 37,3 s. Namísto snížení celkového času stroje tedy došlo k jeho prodloužení o 18,8 s na hodnotu 69 s.

Tuto úpravu lze z časového hlediska zhodnotit jako naprosto nepřijatelnou. Za možnosti použít podobnou velikost pracovních posuvů jako v případě standardního finišovacího nástroje, byl by však tento typ úpravy nejvýznamnější.



#### 10.2.2.4 Úprava posuvu hrubovacího vrtáku

Tato úprava vyplívá z testů hrubovacích vrtáků, u kterých jsem měřil hodnotu opotřebení VB. Jak je popsáno v kapitole 9.4.6, hrubovací vrtáky vykazují mnohem menší opotřebení nežli finišovací. Z toho důvodu navrhuji zvětšit posuv hrubovacího vrtáku ze 400 mm/min na 490 mm/min. Touto úpravou se dosáhne zkrácení času stroje o 1,6 s. Součtem všech časových úspor se zkrátí obráběcí cyklus na vrtacím centru CDR 002 na úroveň vrtacího centra CDR 001.

Touto změnou se naplní požadavek firmy Aisan Industry Czech z pohledu časové optimalizace – viz tab. 9.

Možnost aplikace této úpravy jsem prověřil. Nikoliv však během dlouhodobého testu, během kterého by se sledoval vliv změny velikosti posuvu na velikost opotřebení VB hrubovacího vrtáku.

Typ modifikace	Časová úspora na 1 pracovní cyklus [s]
Zrychlení otevírání a zavírání bezpečnostních dveří	1,2
Změna pozic pro přepnutí rychloposuvů na pracovní posuvy	3,2
Přidání rázových absorberů	1,6
Změna velikosti posuvu hrubovacího vrtáku	1,6
<b>Suma aplikovaných modifikací</b>	<b>7,6</b>

**Tab. 9 – Shrnutí výsledků časové optimalizace**

## 10.3 Problém: Otřepy na kusech po obrábění

### 10.3.1 Zhodnocení problému

Na obrobených kusech se vyskytuje otřep na spodku díry – viz obr. 25. Tento otřep se vyskytuje již od samého počátku nasazení nového nástroje do výroby. Otřep vzniká tak, že je tlačěn před čelem finišovacího vrtáku. Jeho velikost je přímo závislá na velikosti posuvu tohoto nástroje. Za standardních podmínek je velikost finišovacího posuvu 450 mm/min, resp. 0,06 mm/ot. Řezná rychlost je při vrtání finišovacím vrtákem 106,03 m/min. Velikost řezné rychlosti je maximální, které lze na vrtacím centru CDR 002 dosáhnout. Pro tento případ obrábění ji lze definovat jako jedinou, avšak rozhodující omezující podmínku danou strojem.



**Obr. 25 – Spodek díry s otřepem**



**Obr. 26 – Spodek díry bez otřepu**

*Pozn.*

*Firma Kira nabízí stejné obráběcí centrum, avšak s výkonnějším elektromotorem (3 kW) a maximálními otáčkami vřetene 9 000 ot/min. Toto vrtací centrum je však dražší o 76 500 Kč.*

## 10.3.2 Návrhy změn

### 10.3.2.1 Úprava programu – varianta č. 2

Tato úprava je založena na zjištěné závislosti mezi velikostí posuvu a velikostí otřepu. Během testování jsem určil mezní velikost posuvu, při které otřepy nevznikají vůbec. Velikost takového posuvu je 200 mm/min, resp. 0,026 mm/ot.

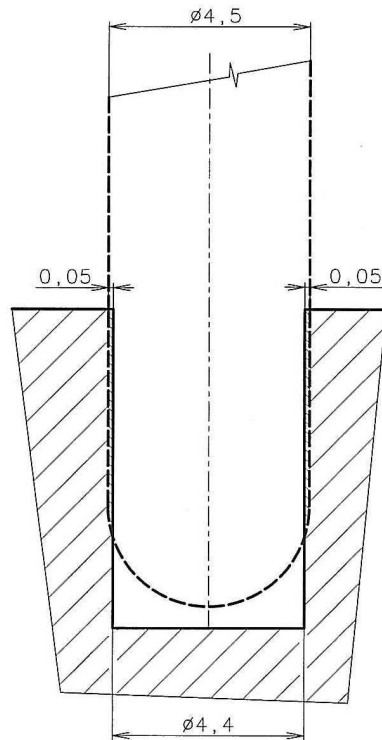
Kdybych však provedl změnu posuvu finišovacího vrtáku ze 450 mm/min na optimálních 200 mm/min, prodloužil by se čas stroje na 1 obráběcí proces o 9,42 s. Takováto úprava je nepřipustná!

Princip mého návrhu úpravy tedy spočívá v přiřazení rozdílných velikostí posuvů finišovacímu nástroji pro tyto 2 případy:

1. Finišovací vrták vyvrtává díru do předvrtané hrubovacím vrtákem a odebírá třísku pouze o velikosti 0,05 mm – viz obr. 27
2. Finišovací vrták vrtá díru do plného materiálu

Jak je popsáno výše, je pro 2. případ potřeba pro zamezení tvorby otřepů nastavit posuv 200 mm/min. Tento posuv musí být vykonáván na vzdálenosti 2,25 mm (při ideálním nastavení hloubky, do které vrtá hrubovací nástroj). Je však pravděpodobné, že po výměně hrubovacího nástroje nebude hloubka jeho vrtání zcela ideálně nastavena. Z toho důvodu stanovuji potřebnou vzdálenost pro vrtání menším posuvem na 2,5 mm.

Pro 1. případ jsem spočetl minimální možný posuv při dodržení současného času obrábění načisto. Tento posuv je 700 mm/min, resp. 0,093 mm/ot.



**Obr. 27 – Vrtání finišovacím vrtákem v 2. případě**

Z pohledu kvalitativních požadavků, které jsou kladeny na součástku Body lwr, je tato úprava možná. Je však ještě třeba ověřit vliv této úpravy na velikost opotřebení VB v dlouhodobém testu.

### **10.3.2.2 Změna trubiček pro přívod proceň kapaliny**

Při sledování obráběcího procesu jsem zjistil, že 1 z 5 vrtání probíhá bez přívodu řezné kapaliny do místa řezu. Nastavil jsem tedy plastové trubičky do správných poloh pro chlazení každého vrtání. Po čase jsem však zjistil opět špatné nastavení trubiček, způsobené posunutím právě těchto trubiček během výměny nástrojů.

Z toho důvodu jsem navrhl a samozřejmě také zrealizoval výměnu plastových trubiček za měděné, které již nejdou posunout pouze rukou. Náklady na tuto modifikaci činí cca. 500 Kč. Předpokládanou úsporu si dovoluji odhadnout na zvýšení životnosti vrtáků o 10% (dříve bylo 20 % vrtání takřka nasucho).

*Pozn.*

*Na problém s 1 „nechlazenou“ pozicí jsem narazil ještě před započítáním testů nástrojů a před samotným testováním jsem ho také samozřejmě odstranil. Výsledky měření opotřebení VB tedy nejsou tímto problémem nijak ovlivněny.*

#### **10.4 Ekonomické zhodnocení navržených změn**

Mezi faktory mající vliv na snížení nákladů na tomto pracovišti patří zkrácení doby stroje, kterou se zabývám v kapitole 10.2 a doporučením používat jiné nástroje (tato problematika je podrobně popsána v kapitole 9.4).

- Zkrácení doby 1 obráběcího procesu o 7,6 znamená celkovou roční úsporu 633,3 hodin práce operátora. Ve finančním vyjádření to činí úsporu 114 000 Kč/rok.
- Úspora při použití nástrojů od firmy Tyroline činí 37 050 Kč/rok.

Výsledná prokazatelná finanční úspora činí:

**151 050 Kč/rok**

*Pozn.*

*Finanční úspory jsou vyjádřeny v Kč a vztaheny na předpokládanou výrobu 1 500 000 ks dílů Body lwr za rok. Tato hodnota odpovídá plánu výroby na rok 2010.*

*Do ekonomického zhodnocení jsem zahrnul pouze prokazatelné úspory. V případě zahrnutí předpokládané prodloužení životnosti nástrojů by výsledné úspory byly mnohem větší.*

*Pro výpočet úspory mzdy operátora jsem uvažoval jeho superhrubou mzdu, která činí 180 Kč/hod.*

## 11. Závěr

Zadání této diplomové práce bylo: „Optimalizace procesu vrtání šikmé díry přerušovaným řezem v hliníkovém odlitku.“

Práci jsem rozdělil do dvou částí. V první části se věnuji teoretickému popisu obecné optimalizace obráběcích procesů. Mimo to je zde obsažen podrobný teoretický rozbor veličin vstupujících do mnou optimalizovaného procesu. Těmito veličinami jsou např. řezné kapaliny, řezné materiály, povlaky a způsoby povlakování nástrojů, podstata řezného procesu apod. V podstatě jsem se v této části snažil shrnout všechny teoretické podklady, ze kterých později vycházím ve druhé části práce.

Touto druhou částí je část nazvaná „Experimentální.“ Zde se zabývám rozбором daného procesu, pojmenováním problémů a návrhy jejich odstranění. Dále se zde zabývám možností nasazení nových typů vrtáků a procesní kapaliny. To znamená nejen testování, ale také zpracování naměřených hodnot.

Výsledkem této diplomové práce jsou návrhy změn. Přínos těchto změn je podložen ekonomickým zhodnocením. Z důvodu velké časové náročnosti některých testů jsou v této práci uvedeny i návrhy na jejich průběh do budoucna. Mezi navrhované změny patří např. návrh aplikace nových nástrojů, konstrukční změny stroje a úprava NC programu. Všechny tyto návrhy jsou obsaženy v kapitole č. 10.

Závěrem si dovoluji podotknout, že většina změn byla firmou Aisan Industry Czech schválena a aplikována již během psaní této diplomové práce.

## Použitá literatura

- [1] Mádl, J. – Kvasnička, I.: *Optimalizace obráběcího procesu*. Praha: ČVUT, 1998, 168 s.
- [2] Mouka, E.: *Teorie obrábění*. Brno: VUT, 1985, 150 s.
- [3] Leinveber, J. – Řasa, J.: *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1998, 911 s.
- [4] Forejt, M. – Humár, A. – Piška, M.: *Experimentální metody*. Brno: VUT, 2003, 86 s.
- [5] Mádl, J.: *Teorie obrábění*. Praha: ČVUT, 1989. 156 s.
- [6] Vlach, B.: *Technologie obrábění*. Praha: ČVUT, 1989, 263 s.
- [7] Beneš, V. – Seidl, O. – Slavík, V.: *Obráběcí nástroje 1. díl*. Praha: ČVUT, 1981, 127 s.
- [8] Mádl, J.: *Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění*. Praha: ČVUT, 1988, 58 s.
- [9] Beneš, V. – Seidl, O. – Slavík, V.: *Obráběcí nástroje 1. díl*. Praha: ČVUT, 1981, 127 s.
- [10] Fürbacher, I. – Macek, K. Steidl, J.: *Lexikon technických materiálů – svazek 6*. VERLAG DASHÖFER, 2003, 958 s.
- [11] <http://cs.wikipedia.org/>
- [12] <http://www.mmspectrum.com/>
- [13] Jersák, J.: *Technologie III*. [Přednášky]. TU Liberec. Fakulta strojní.
- [14] *Podnikové informace Aisan Industry Czech s.r.o.* Louny: 2009.

## Seznam příloh

1. Technologický postup výroby na vrtacím centru CDR 002
2. Výkres odlitku, číslo výkresu 1111-40D80-90-B
3. Výkres obrobeného odlitku, číslo výkresu 1111-00011-30
4. Výkres kombinovaného nástroje od firmy Mapal, 30274186-000-000-ED2
5. Materiálový list slitiny EN AC-51100
6. Materiálový list slitiny EN AC-71000
7. Upravený program – varianta č. 1
8. Upravený program – varianta č. 2
9. Výkres držáků, číslo výkresu AIC-CDR-002-05-018