

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

## **Diplomová práce**

Produktivní vystružování ve firmě GTW BEARINGS s.r.o.

Autor: **Bc. David Petru**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

# Zadání diplomové práce

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

podpis autora

## **Poděkování**

Tato diplomová práce vznikla za podpory GA ZČU při řešení projektu SGS-031-2013 s názvem „Výzkum a vývoj pro inovace v oboru strojírenská technologie – technologie obrábění“.

Zde bych rád poděkoval všem, kteří mi byli k dispozici při vypracování mé diplomové práce. V první řadě bych rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D., za odborné rady a vedení při řešení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své konzultantce ze ZČU slečně Ing. Jaroslavě Fulemové, za velmi odborné a profesionální rady při zpracování mé práce, zejména při realizaci experimentu. Poděkování též patří dalším odborným asistentům ze ZČU.

Dále bych rád poděkoval všem odborníkům z praxe, kteří se podíleli na realizaci této diplomové práce, jmenovitě pan Václav Rác z firmy GTW BEARINGS, s.r.o., pan Ing. Jiří Plíšek a pan Ing. Karel Kouřil, Ph.D. z firmy HAM-FINAL, s.r.o.

V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat své rodině za jejich psychickou podporu.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Petru	Jméno David		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	N 2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Řehoř	Jméno Jan		
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST – KTO			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Produktivní vystružování ve firmě GTW BEARINGS s.r.o.			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>		<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>		<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	
---------------	--	---------------------	--	--------------------------	--

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Tato diplomová práce je zaměřená na zkoumání procesu vystružování v reálné výrobě na jedné vybrané tolerované díře. V první části práce jsou popsány faktory ovlivňující, negativně či pozitivně, samotný proces vystružování. Dále je zhodnocen současný stav technologie výroby dané tolerované díry. Druhá část práce je zaměřená na návrh a realizaci experimentu, jeho vyhodnocení a technicko-ekonomického hodnocení.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p>	<p style="text-align: center;">Vystružování, ovlivňující faktory, řezná a chladicí kapalina, řezné podmínky, upnutí obrobku, házivost řezné části nástroje,</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Petrů	Name David	
<b>FIELD OF STUDY</b>	N 2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Řehoř	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Productive reaming in the company GTW BEARINGS s.r.o.		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>		<b>TEXT PART</b>		<b>GRAPHICAL PART</b>	
----------------	--	------------------	--	-----------------------	--

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This thesis is focused on the exploration process reaming in real production on a selected hole tolerated. The first section describes factors affecting, positively or negatively, reaming process itself. It is also evaluated the actual state of the technology tolerated hole. The second part is focused on the design and implementation of the experiment, evaluation and technical and economic evaluation.
<b>KEY WORDS</b>	Boring, influencing factors, and cutting coolant, cutting conditions, workpiece clamping, cutting part of the tool runout,

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
1.1. Představení firmy HAM-FINAL, s.r.o. ....	1
<b>2. Vystružovaná díra versus nástroj, řezné podmínky a řezné prostředí [11]</b> .....	<b>2</b>
2.1. Vliv vystružovacího nástroje .....	2
2.1.1. Upnutí nástroje .....	3
2.1.1.1. Vlastnosti upínacích systémů .....	4
2.1.2. Geometrie břitu [20] .....	5
2.1.2.1. Úhel čela - $\gamma$ .....	5
2.1.2.2. Úhel hřbetu - $\alpha$ .....	5
2.1.2.3. Poloměr zaoblení špičky nástroje - $s$ .....	5
2.1.2.4. Poloměr zaoblení ostří - $r_n$ .....	5
2.1.2.5. Fasetka – $f$ .....	6
2.1.2.6. Rozdíl průměru na začátku a konci ostří výstružníku – $p$ .....	6
2.1.2.7. Výběh konce břitů - $x$ .....	6
2.1.2.8. Rozteč mezi jednotlivými zuby nástroje .....	6
2.1.3. Opatření nástroje .....	7
2.1.4. Tepelné deformace nástroje .....	7
2.1.5. Tuhost soustavy S-N-O .....	7
2.1.6. Předobrobená díra .....	7
2.1.7. Druh nástroje [10] .....	9
2.2. Řezné prostředí [4] .....	12
2.2.1. Rozdělení řezného prostředí .....	12
2.2.2. Volba řezného prostředí .....	13
2.2.3. Materiál řezného nástroje .....	13
2.2.4. Způsoby přívodu procesní kapaliny .....	14
2.2.4.1. Standardní chlazení .....	14
2.2.4.2. Chlazení pomocí CO <sub>2</sub> .....	14
2.2.4.3. Tlakové chlazení .....	15
2.2.4.4. Chlazení mlhou .....	15
2.3. Řezné podmínky [10] .....	15

<b>3. Rozbor současného stavu technologie výroby dané tolerované díry .....</b>	<b>17</b>
3.1. Popis součásti .....	17
3.1.1. Materiálový rozbor oceli 34CrNiMo6V .....	17
3.2. Rozbor technologie výroby díry Ø20H7 .....	19
3.3. Výsledky měření stávající technologie ve firmě GTW BEARINGS .....	22
3.4. Definování dosavadních problémů při stávající výrobě .....	23
<b>4. Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování.....</b>	<b>25</b>
4.1. Charakteristika experimentu .....	25
4.2. Návrh experimentu .....	25
4.2.1. Polotovár .....	25
4.2.2. Upnutí obrobku .....	26
4.2.3. Obráběcí stroj.....	27
4.2.4. Použité nástroje a upínače .....	27
4.3. Technologický postup experimentu .....	30
4.4. Průběh experimentu .....	37
4.4.1. RC upínací systém – popis seřízení házivosti [24].....	38
<b>5. Vyhodnocení naměřených výsledků.....</b>	<b>39</b>
5.1. Hodnocení skutečného průměru v hloubce 5 mm .....	40
5.2. Hodnocení skutečného průměru v hloubce 15 mm .....	42
5.3. Hodnocení drsnosti povrchu Ra.....	44
5.4. Hodnocení drsnosti povrchu Rz .....	46
5.5. Hodnocení kruhovitosti a válcovitosti .....	48
5.6. Hodnocení časové náročnosti.....	51
<b>6. Technicko – ekonomické hodnocení .....</b>	<b>52</b>
6.1. Ekonomické hodnocení jednotlivých variant .....	52
6.2. Procesní hodnocení .....	53
6.2.1. Výběr hodnotících ukazatelů .....	53
6.2.2. Párová analýza .....	54
6.2.3. Multikriteriální hodnocení variant .....	54
<b>7. Závěr.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Použitá literatura .....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>60</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A ZNAČEK

Zkratka	Název	Jednotky
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni	
FST	Fakulta strojní	
KTO	Katedra technologie	
S-N-O	Stroj – nástroj – obrobek	
HSS	High speed steel - Rychlořezná ocel	
PCD	Polykrystalický diamant	
CNB	Kubický nitrid bóru	
CVD	Chemical vapor deposition	
PVD	Physical vapor deposition	
VBD	Vyměnitelné břitové destičky	
$\gamma$	Úhel čela	
$\beta$	Úhel břitu	
$\alpha$	Úhel hřbetu	
$r_n$	Poloměr zaoblení ostří	
s	Poloměr zaoblení špičky nástroje	
f	Fazetka	
p	Rozdíl průměru na začátku a na konci ostří výstružníku	
x	Výběh konců břitů	
př	Přídavek na obrábění	
n	Počet otáček	
$v_c$	Řezná rychlost	
D	Průměr	
IT	Stupeň přesnosti	
Din	Deutsche Industrie-Norm	
WNr.	Německá norma	
ČSN	Česká technická norma	





## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 2.1. Vystružovací nástroje [2] .....	2
Obr. 2.2. Výstružník s kuželovou stopkou [5] .....	3
Obr. 2.3. Výstružník s válcovou stopkou [6] .....	3
Obr. 2.4. Graf trvanlivost nástroje v závislosti na použitém upínači [3] .....	4
Obr. 2.5. Geometrie břitu nástroje .....	5
Obr. 2.6. Geometrie břitu výstružníku [20] .....	6
Tab. 2.1. Tabulka s doporučenými hodnotami přídatku pro vystružování [14] .....	8
Obr. 2.6. Jednobřítý výstružník [12].....	9
Obr. 2.7. Vícebřítý výstružník [13] .....	10
Obr. 2.8. Různé typy výstružníků [15].....	11
Obr. 2.9. Oblasti plastických deformací .....	12
Obr. 2.10. Řezné materiály [7].....	13
Obr. 2.11. Běžný přívod procesní kapaliny .....	14
Tab. 2.2. Řezné podmínky pro vysokorychlostní výstružník firmy HAM – FINAL [25].....	15
Obr. 3.1. Nosná deska .....	17
Tab. 3.1. Chemické složení oceli 34CrNiMo6V.....	18
Obr. 3.2. Mikrostruktura oceli 34CrNiMo6V .....	18
Tab. 3.2. Požadavky na opracování.....	18
Obr. 3.3. (a) Měření tolerance díry, (b) Měření drsnosti povrchu díry .....	19
Obr. 3.4. HSS výstružník používaný v GTW BEARINGS .....	19
Obr. 3.5. Upnutí obrobku ve sklíčidle .....	20
Obr. 3.6. Graf naměřeného skutečného průměru děr .....	22
Obr. 3.7. Graf naměřené drsnosti vystružených děr .....	23
Obr. 3.8. Fotografie vystružené díry Ø20H7 .....	24
Obr. 4.1. (a) Catia – návrh polotovaru, (b) reálný kus focený po vystružení .....	26
Obr. 4.2. Upnutí polotovaru ve sklíčidle .....	26
Tab. 4.1. Konstrukční parametry GTW vrtáku .....	27
Tab. 4.2. Konstrukční parametry ISCAR vrtáku.....	27
Tab. 4.3. Konstrukční parametry frézy pro sražení hran .....	28

<b>Tab. 4.4. Konstrukční parametry GTW výstružníku .....</b>	<b>28</b>
<b>Tab. 4.5. Konstrukční parametry HAM-FINAL výstružníku .....</b>	<b>28</b>
<b>Obr. 4.3. Weldon upínač .....</b>	<b>29</b>
<b>Obr. 4.4. Hydraulický upínač od firmy Iscar .....</b>	<b>29</b>
<b>Obr. 4.5. RC upínací systém od firmy HAM-FINAL .....</b>	<b>29</b>
<b>Obr. 4.6. Měření házivosti výstružníku z HSS oceli .....</b>	<b>31</b>
<b>Obr. 4.7. Měření házivosti u RC upínacího systému .....</b>	<b>32</b>
<b>Tab. 4.6. Přehled technologických variant .....</b>	<b>36</b>
<b>Obr. 4.8. Rozstřel RC upínacího systému s čelním výstružníkem.....</b>	<b>38</b>
<b>Obr. 5.1. Skutečný průměr díry naměřený při jednotlivých variantách v 5mm hloubce.....</b>	<b>41</b>
<b>Obr. 5.2. Skutečný průměr díry naměřený při jednotlivých variantách v 15mm hloubce...</b>	<b>43</b>
<b>Obr. 5.3. Drsnost Ra naměřená u jednotlivých variant .....</b>	<b>45</b>
<b>Obr. 5.4. Drsnost Rz naměřená u jednotlivých variant .....</b>	<b>47</b>
<b>Obr. 5.5. Kruhovitost díry u jednotlivých variant .....</b>	<b>49</b>
<b>Obr. 5.8. Válcovitost díry u jednotlivých variant .....</b>	<b>50</b>
<b>Tab. 5.1. Časová náročnost vybraných variant .....</b>	<b>51</b>
<b>Tab. 6.1. Vlastní náklady původní technologie z GTW BEARINGS .....</b>	<b>52</b>
<b>Tab. 6.2. Vlastní náklady pro novou technologii .....</b>	<b>53</b>
<b>Tab. 6.3. Párová analýza ukazatelů.....</b>	<b>54</b>
<b>Tab. 6.4. Hodnocení kritérií pro jednotlivé varianty .....</b>	<b>54</b>
<b>Tab. 6.5. Multikriteriální analýza .....</b>	<b>55</b>
<b>.....</b>	<b>.....</b>

## 1. Úvod

V současné době musí být v konkurenci schopných firmách kladen velký důraz na efektivní výrobu. Firmy jsou ovlivněny nejenom zákazníkem, který chce velké množství zboží za málo peněz, ale i samotnou konkurencí která se snaží nabídnout stejnému zákazníkovi lepší výsledné podmínky, pro které by zákazník přešel ke konkurenci.

Pojem efektivní výroba znamená vyrábět součásti v požadované přesnosti rozměrů, tvaru a polohy za co nejmenší výrobní náklady. Do výrobních nákladů se zařazují energie spojené s výrobou, pořízený materiál, nástroje, mzda, atd. Pro omezení některých z těchto nákladů výrobci vypouští část dosavadní technologie, ale tímto způsobem si pokaždé nemohou pomoci. Většinou se stávající technologie upravují, vyměňují se nástroje za kvalitnější (například s větší životností) nebo se mění řezné podmínky.

Tato diplomová práce je zaměřená na obrábění vysoce přesných děr za pomoci vystružování. Pro vystružování je v dnešní době na trhu velká řada dostupných nástrojů zaručujících, v souladu s dobře zvolenou strategií obrábění, dobré výsledky obroběných děr. V tomto důsledku v mnoha případech odpadá dokončující technologická operace – broušení, což je veliké zefektivnění výroby z hlediska úspory času.

Vystružování je dokončovací operace děr, prováděná jednobřitým nebo mnohobřitým nástrojem. Na stružené díry jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska rozměrových a geometrických úchylek, drsnosti povrchu a v neposlední řadě i vlastností povrchové vrstvy po vystružování. Po vystružení díra vykazuje přesnost IT 6 – IT 8 a drsnost díry 0,8 – 1,6 Ra. V některých situacích je možné dosáhnout přesnosti IT 5 – IT 6 a drsnosti povrchu 0,15 – 0,2 Ra a to za předpokladu kvalitního nástroje a zabezpečení všech faktorů ovlivňující vystružovanou díru.

Cílem této práce je zefektivnění vystružování vytypované tolerované díry prováděné ve firmě GTW BEARINGS. Dílčí cíle diplomové práce jsou:

- Zmapování technologického postupu firmy GTW BEARINGS.
- Navrhnout změny tohoto postupu (nástrojů, upínačů a řezných podmínek)
- Sledování vlivu nástrojů, upínačů a řezných podmínek na kvalitu stružené díry

### 1.1. Představení firmy HAM-FINAL, s.r.o.

HAM-FINAL, s.r.o. je německo-česká strojírenská firma s dlouholetou tradicí zabývající se výrobou, prodejem a samotným vývojem moderních nástrojů pro vystružování, vyvrtávání a obrábění velmi přesných děr. Firma je součástí koncernu HAM, GmbH (HARTMETALL-WERKZEUGFABRIK ANDREAS MAIER, GMBG).

Firma vznikla v roce 1997 z původní firmy FINAL, která byla založena roku 1991. V oboru obrábění přesných děr byla firma oceněna udělením patentů potvrzujících originalitu řešení obráběcích nástrojů. V této době nabízí své nástroje nejen v podnicích jako ŠKODA auto, BOSCH, Aero, TRW, ROTAX, RIETER, ale také do firem sídlící v Německu, Rakousku, Itálii, Francii, Polsku atd.. [1]

## 2. Vystružovaná díra versus nástroj, řezné podmínky a řezné prostředí [11]

V této kapitole je blíže popsána vazba mezi vystruženou dírou a nástrojem, řeznými podmínkami a také řezným prostředím. U vystružených děr jsou kladeny vysoké nároky na tvarovou a rozměrovou přesnost. Nejčastěji sledované parametry jsou – tolerance rozměrů, tolerance geometrických vlastností, drsnost povrchu a parametry struktury povrchu. Aby se docílilo požadovaných parametrů, které jsou předepsány na výkrese, musí se zvolit správný sled operací, vhodný nástroj, podmínky obrábění atd.

Ovlivňující faktory jako je nástroj, řezné podmínky a řezné prostředí budou blíže popsány v následujících kapitolách.

### 2.1. Vliv vystružovacího nástroje

Vystružování je z velké části dokončovací operace. A proto jsou na tyto nástroje kladeny velké požadavky shodující se s vysokou přesností obrobene díry. Při nejvyšších požadavcích na obrobenu plochu se do technologického procesu zařazují operace – broušení, honování, válečkování, leštění, superfinišování apod. Avšak tyto operace prodražují samotný výrobek. Dnes se výrobci řezných nástrojů zaměřují na výrobu nástrojů s větší aplikační možností. Z tohoto hlediska poté odpadají výše uvedené obráběcí operace a zlevňuje se výroba daného kusu, dávky či série.

Dnešní výrobci řezných nástrojů mají snahu vyrobit takřka dokonalý nástroj, který by vykazoval nejdelší životnost, při které by nástroj obráběl v každém ohledu kvalitně. To však není v této době možné. Při vystružování je nutné, aby nástroj vykazoval určitou houževnatost a tepelnou stabilitu. Nástroje zhotovené z PCD, CBN nebo keramiky nevykazují dostatečnou houževnatost, na druhé straně nástroje zhotovené z HSS oceli nemají vhodnou otěruvzdornost a tepelnou stabilitu. Kompromis mezi těmito vlastnostmi vykazuje slinutý karbid, který je také nejvíce rozšířeným materiálem pro výrobu řezných nástrojů. Nástroje zhotovené ze slinutých karbidů bývají velmi často opatřeny povrchovou vrstvou otěruvzdorných povlaků, nejčastěji CVD a PVD povlaky. U výstružníků není důležitý jenom materiál, ze kterého jsou vyrobeny, ale i další vlivy popsány v dalších podkapitolách. [20]

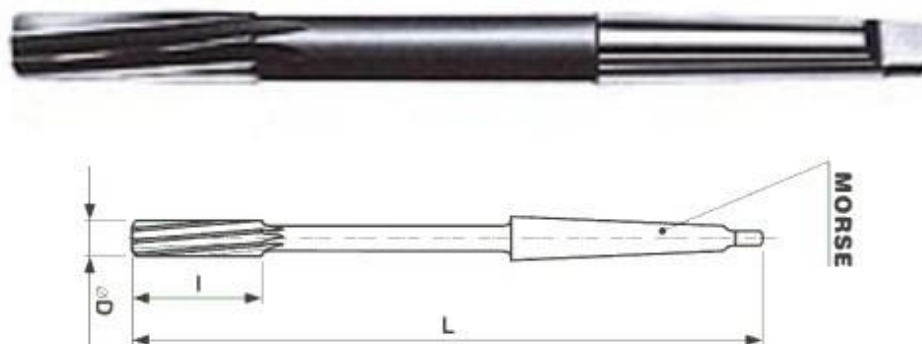


Obr. 2.1. Vystružovací nástroje [2]

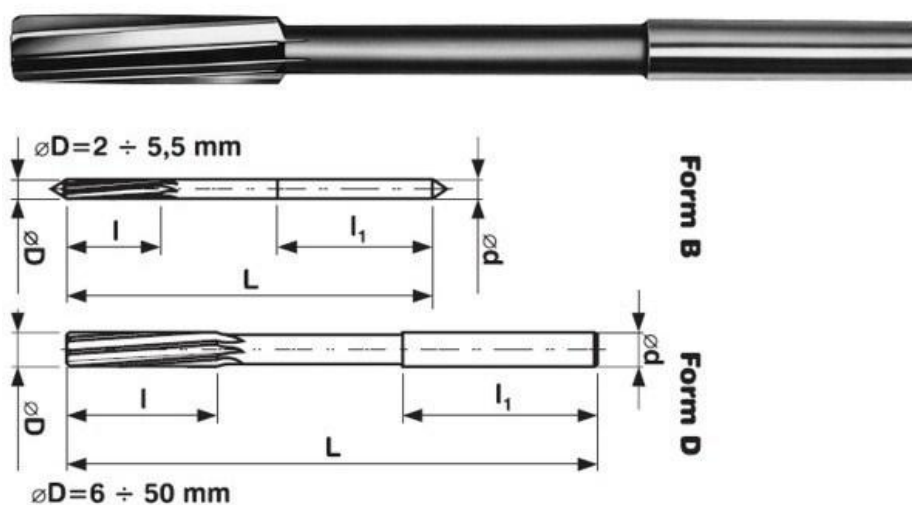
### 2.1.1. Upnutí nástroje

Kvalitní upnutí nástroje má velký vliv na celkovou házivost řezné části. Čím menší házivost řezné části, tím nižší hodnoty geometrické přesnosti a drsnosti povrchu. Házivost břitu výstružníku by neměla přesahovat hodnotu 0,01mm. Upínače nástrojů jsou často podceňovaným a opomíjeným, avšak důležitým spojujícím členem mezi vřetenem stroje a nástrojem. Výběr správného upínače výrazně ovlivní budoucí výsledky celého obráběcího procesu. Samostatné upínače mají vliv na trvanlivost nástroje jak je vidět na Obr. 2.4. - Graf trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém upínači. Na výběr jsou různé druhy upínačů nástrojů, jejichž vlastnosti jsou popsány v následující kapitole.

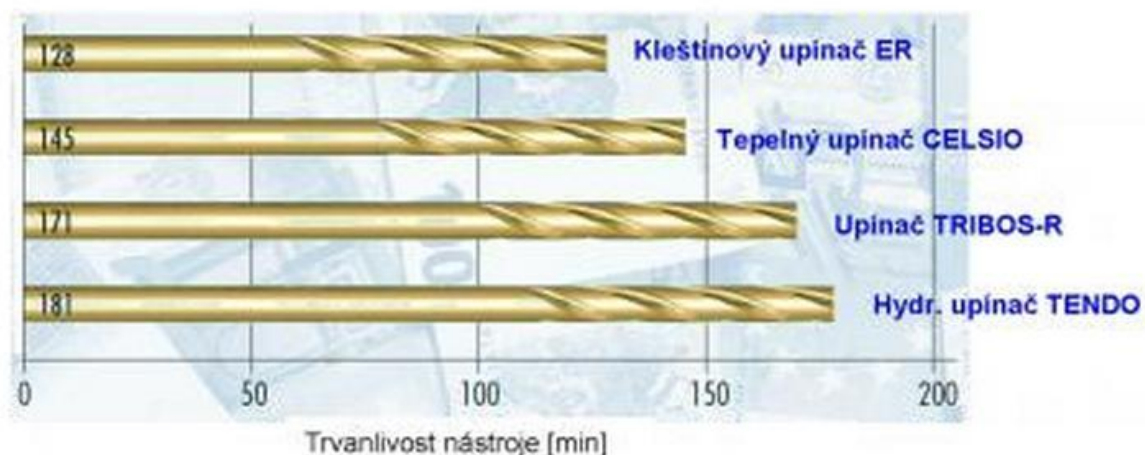
Dalším aspektem u upínání nástroje je velikost vyložení, jež má vliv na stabilitu řezného procesu a kvalitu obrobenej plochy. Tato velikost by měla být volena jenom taková, jaká je na danou operaci potřebná, ne větší. Nejenže se stabilizuje proces, ale dochází i k větší produktivitě. Při stabilnějším upnutí se mohou zvětšit řezné podmínky. Nástroj s větším vyložení má větší snahu vyhnout od požadovaného směru obrábění, je více náchylný na vznik chvění a tím se ovlivňuje kvalita obrobenej díry. [3]



Obr. 2.2. Výstružník s kuželovou stopkou [5]



Obr. 2.3. Výstružník s válcovou stopkou [6]



Obr. 2.4. Graf trvanlivost nástroje v závislosti na použitém upínači [3]

### 2.1.1.1. Vlastnosti upínacích systémů

Mezi nejdůležitější vlastnosti nástrojových upínačů používaných při vystružování patří:

- Přesnost obvodového házení, opakovatelnost, životnost, jednoduchá obsluha a tlumení vibrací

**Upínač Weldon** je nejjednodušší a cenově nejdostupnější upínač. Weldon slouží k upínání nástrojů s válcovou stopkou a příslušnou ploškou k uchycení nástroje v upínači pomocí šroubu. Jejich výhodou je jednoduchost a nízká pořizovací cena. Naopak nevýhodou je vysoká hodnota házivosti ( $15\text{--}20\mu\text{m}$ ) a také nutnost pro každý průměr stopky nástroje příslušný upínač.

**Kleštinový upínač** představuje další jednoduchý (co se týče principu upnutí) upínač. Avšak tento typ upínače vykazuje zhoršenou házivost ( $10\text{--}20\mu\text{m}$ ) při vyosením kleštiny od osy kuželové dutiny, do které je kleština vtahována.

**Moderní kleštinové** upínače řeší tento problém buď přesným vedením upínací převlečné matice nebo je kleština vtahována do kužele upínače osovým vtahovacím mechanismem. Velikost házivosti nástroje je poté ( $3\text{--}5\mu\text{m}$ ).

**Tepelný upínač** funguje na principu tepelné dilatace upínacího pouzdra, do kterého se vkládá obráběcí nástroj. Tímto způsobem se dosáhne velmi dokonalého tuhého upnutí po zchlazení upínače, které je velmi vhodné u vystružování. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a nutnost dokoupení přístroje na horkovzdušný či indukční ohřev tepelných upínačů. Tepelné upínače vykazují přesnost házivosti  $<0,003\text{mm}$ .

**Hydraulický upínač** funguje na principu deformace tenké vnitřní stěny tlakem polotekuté plastické hmoty. Upínací tlak je vyvozen pomocí zatěsnění šroubu u upínače. Hydraulické upínače vykazují přesnost házivosti  $<0,003\text{mm}$ .

Pro vystružování je nejvhodnější volba hydraulických a tepelných upínačů vykazující nejmenší hodnotu házivosti rezné části nástroje, možnost velké opakovatelnosti upnutí, schopnost tlumit vibrace a vykazující velkou tuhost upnutí. Nejenom tuhost upnutí nástroje, ale také tuhost soustavy S-N-O je velmi důležitou vlastností kvalitního vystružování.

### 2.1.2. Geometrie břítu [20]

Správné zvolení geometrie břítu je nedílnou součástí efektivního obrábění. Zajišťuje úsporu v oblasti opotřebenosti nástroje, množství procesní kapaliny, času obrábění, zkvalitňuje obrobený povrch apod. [10]

#### 2.1.2.1. Úhel čela - $\gamma$

Nastavení většího úhlu čela má za následek lepší prořezávání nástroje do obrobku. Nevzniká tak velké tření mezi vytvářející se třískou a čelem nástroje což má za následek menšího vytváření tepla v oblasti řezu a větší životnosti nástroje.

Naopak nastavení menšího úhlu čela vede ke zmenšení břítu a následnému tvoření dlouhé třísky, která ohrožuje kvalitu vystružované díry. [10], [16]

#### 2.1.2.2. Úhel hřbetu - $\alpha$

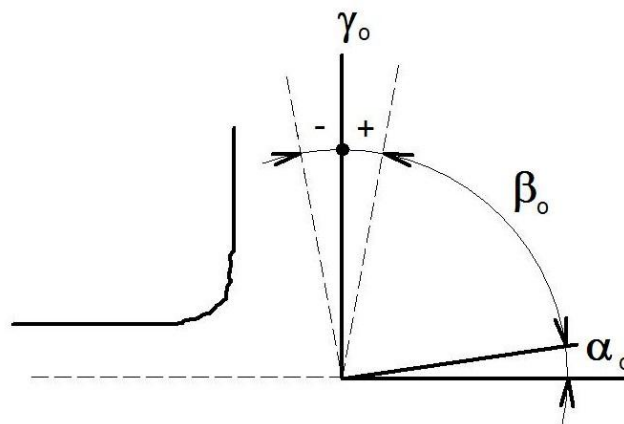
Zvýšení úhlu hřbetu vede ke zlepšení řezného procesu. Vytváří se menší množství tepla, protože dochází k menšímu tření mezi hřbetem a obrobenou plochou a dochází k menšímu opotřebenosti výstružníku na hřbetě. Nevýhodou zvýšení úhlu hřbetu je, že se zmenšuje velikost břítu a dochází k větší náchylnosti břítu. Při příliš velkém zvětšení úhlu hřbetu dochází ke zhoršení jakosti povrchu obrobené plochy. Velikost obvykle 8-26° [10], [16]

#### 2.1.2.3. Poloměr zaoblení špičky nástroje - $s$

Je nedílnou součástí geometrie břítu. Jeho zvětšením se zvyšuje životnost nástroje, protože u zvětšeného poloměru ostří působí teplo na větší plochu než u menšího rádiusu tím je nástroj stabilnější. [10]

#### 2.1.2.4. Poloměr zaoblení ostří - $r_n$

Musí být co nejmenší, kvůli malé tříске vznikající při vystružování. Tato hodnota je také ovlivněna použitým řezným materiálem. Většinou se pohybuje v rozmezí 5 ÷ 10 $\mu$ m.



Obr. 2.5. Geometrie břítu nástroje



### 2.1.2.5. Fasetka – f

Válcová ploška tvořící s úhlem  $\gamma$  řeznou hranu výstružníku. Obvykle se vyrábí 0,2mm široké s tolerancí 0,05mm. Velikost šířky fasetky ovlivňuje vlastnosti výstružníku, jeho životnost atd.

### 2.1.2.6. Rozdíl průměru na začátku a konci ostří výstružníku – p

Řezná část výstružníku se vyrábí kuželová a to za účelem omezení „dření“ břitů po celé jejich délce. Tato kuželovitost je stanovena velikostí vedlejšího úhlu nastavení, který závisí na různých parametrech. Tento úhel je velmi malý a tím i těžko měřitelný. Proto se vypočítává a dopisuje se na výkres ve tvaru  $\text{ØD}$  minus rozdíl průměrů včetně tolerance.

### 2.1.2.7. Výběh konce břitů - x

Nebo-li náběh břitů při vyjíždění výstružníku z vystružené díry. Ostrá hrana tohoto náběhu by mohla znehodnotit povrch vystružené díry. Obvykle se vyrábí 1 až 1,5mm. Úhel výběhu konce břitů –  $3^\circ$

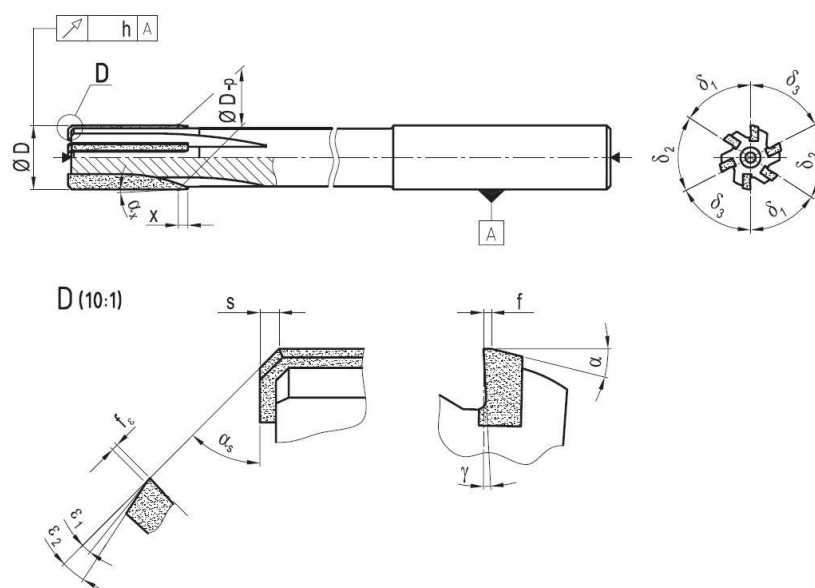
### 2.1.2.8. Rozteč mezi jednotlivými zuby nástroje

Výstružníky se vyrábí se sudým nebo lichým počtem zubů. Rozteč mezi zuby může být stejnoměrná nebo nestejnoměrná.

**Stejnóměrná rozteč** – všechny úhly stejně velké

**Nestejnóměrná rozteč** – různé velikosti úhlů mezi zuby, ale vždy dvojice proti sobě shodná. Nepravidelná rozteč zubů zmenšuje velikost vibrací.

Změnou geometrie břitů výstružníku může být ovlivněn například odvod třísek z místa řezu. Nedisponuje-li obráběcí stroj vnitřním přívodem procesní kapaliny, která je nejčastějším krokem při odvodu třísek z místa řezu, může se použít speciální geometrie břitů. Tento typ geometrie pro průchozí díry nabízí například firma Ham-Final. Sklon výbrusu na čele břítu uděluje třískám dynamiku a usměrňuje jejich pohyb před nástroj. [19]



Obr. 2.6. Geometrie břítu výstružníku [20]

### 2.1.3. Opotřebením nástroje

Postupným opotřebením výstružníku se zmenšuje i stružená díra a tím dochází k nedodržení předepsané tolerance díry. Ovšem vzniká-li na nástroji nárůstek, může být stružená díra i větší než je požadováno. Proto se musí po překročení meze opotřebením, výstružník vyměnit nebo přebrousit. Jak už bylo uvedeno v kapitole (2.1.2. Geometrie břitu) opotřebením výstružníku je možno ovlivnit nastavením geometrie břitu. Dále je opotřebením nástroje ovlivněno druhem a zejména množstvím chladicí kapaliny. [18]

### 2.1.4. Tepelné deformace nástroje

K tepelným deformacím nástroje dochází v průběhu obráběcího procesu. Vzniká při jeho zatěžování, pod které spadá doba trvání řezného procesu a řezné podmínky. Tepelná deformace nástroje se ovlivňuje přívodem řezného prostředí, které ovlivňuje teplotu v místě řezu a zajišťuje rychlejší odvod vzniklé třísky z místa řezu. Vliv řezného prostředí bude popsán níže v kapitole (2.2. Řezné prostředí). [11]

### 2.1.5. Tuhost soustavy S-N-O

Malá tuhost soustavy způsobuje vznik rezonančních kmitů, což má za následek zhoršení celkové geometrie vystružené díry a nekvalitního povrchu. Také má za následek zhoršení celkového chodu obráběcího stroje a snížení produktivity obrábění.

Rozměrová a tvarová nepřesnost je zapříčiněna:

- Kolísavou proměnlivostí řezné síly  $F_y$  vlivem:
  - nekonstantní tloušťkou přídavku na obrábění
  - nehomogenitu obráběného materiálu
  - růstem otupení břitu
  - dalšími náhodnými vlivy
- Proměnlivou tuhostí:
  - upínacího přípravku nebo desky
  - obrobku
  - samotnou částí obráběcího stroje

Rezonanční kmity se dají omezit pomocí pevného upnutí obrobku, zajištěním co nejmenšího vyložení výstružníku, zvětšení úhlu čela nástroje, zvětšením posuvu nebo změnou řezné rychlosti. [7]

### 2.1.6. Předobrobená díra

Způsob přípravy díry před vystružováním má zásadní vliv na vlastnosti vystružované díry jak již bylo zmíněno výše. Nejčastější operací před vystružováním je vrtání a vyvrtávání. V některých případech se do technologického postupu zařazuje i vyhrubovací operace. Zařazuje se za účelem předpřípravy díry před vystružováním. Předobrobená díra by měla vykazovat rovnoměrný a optimální přídavek materiálu, přímost osy a kruhovitosti díry. Nejlepších vlastností předobrobené díry se dosáhne pomocí jednobřitého nástroje. Pro

dosažení kvalitních výsledků vystružování by měla být odchylka přímosti předvrtané díry menší než 0,05mm. U předobrobené díry se může setkat s tzv. banánovým tvarem díry. Taková díra má neválcový tvar, který není kolmý k upínací ploše a vykazuje špatnou drsnost povrchu. Tyto nepřesnosti ve výrobě vystružováním nedokážou být odstraněny. Výstružník kopíruje tvar předobrobené díry, kterým se nechá vézt, a proto nedokáže odstranit neválcový tvar. [10]

Velikost přídatku na obrábění je určen rozdíllem poloměrů děr před obrobením a po obrobení. Tato velikost má být tak velká, aby se odstranily nerovnosti po předchozím obrábění. Doporučenou velikost přídatku by měl udávat výrobce nástroje. Dosahuje 0,1 až 0,3 mm pro běžné materiály, pro lehké materiály a větší průměry vystružovaných děr bývá přídatek až dvojnásobný. Takto malé přídatky bývají zpevněné od předchozího obrábění a tak dochází k opotřebení a v některých případech i k rozechvění výstružníku a nekvalitě obrobeného povrchu. V praxi se přídatek na obrábění často určuje podle vztahu. [15]

$$př = 0,1 + 0,005 \cdot D$$

kde – D [mm] = jmenovitý průměr vystružované díry  
př [mm] = velikost přídatku

Materiál	Ø, mm					
	1-3	3-5	5.1-10	10.1-20	20.1-30	>30
P1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
P2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
P3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
P4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
P5	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
M1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
M2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
M3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
K1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5
K2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
K3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
K4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
K5	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
N1.1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5
N1.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5
N1.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5
N1.4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5
N2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5
N3.1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3	0.5
N3.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3	0.3-0.4
N3.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3	0.3-0.4
N3.4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3	0.3-0.4
N4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3	0.3-0.4
S1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5
S2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
S3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
S4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.3-0.4
S5	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.3-0.4
S6	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.3-0.4
H1	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
H2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
H3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4
H4	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2	0.2	0.3	0.3-0.4

Tab. 2.1. Tabulka s doporučenými hodnotami přídatku pro vystružování [14]

### 2.1.7. Druh nástroje [10]

Jsou různé druhy výstružníků, které mají svoje specifické vlastnosti, z nichž některé budou níže popsány.

Výstružníky se dělí podle:

- mechanizace – ruční, strojní
- tvaru – válcové, kuželové
- typu chlazení – bez chlazení, vnitřní a vnější chlazení
- tvaru stopky – válcová, kuželová
- konstrukce – monolitní, nástrčné
- typu upnutí – tepelné, hydraulické, mechanické

#### Jednobřítý nástroj

Tento druh nástroje se skládá z jednoho břitu a vodících lišt. Vodící lišty slouží k vedení nástroje v díře a také přenášejí a rozkládají řezné síly vznikající v průběhu řezného procesu. Tento typ výstružníků vykazuje vysokou kvalitu obrobenej povrchu



Obr. 2.6. Jednobřítý výstružník [12]

#### Vícebřítý nástroj

U tohoto typu nástroje je možnost nastavení většího posuvu při obrábění, avšak u vícebřítých výstružníků může dojít k zaplnění zubové mezery třískou, což následně může způsobit znehodnocení povrchu stružené díry. Výstružníky mohou být vyrobeny s přímými nebo šikmými zuby. Rozteč mezi zuby je nepravidelná, čímž se zmenšují vznikající vibrace. U výstružníků s přímými zuby, nepravidelná rozteč zajišťuje dobrou kruhovitost díry. Zvýšením posuvu se docílí úspory času, která je v některých případech rozhodující.



Obr. 2.7. Vícébřitý výstružník [13]

- **Podle konstrukce**

- Monolitní nástroje

- Řezná i upínací část nástroje je zhotovena z jednoho materiálu. Proto je u tohoto typu nástrojů nevýhoda jejich cena, protože poškodí-li se nástroj, musí se celý vyměnit.

- Vystružovací hlavy

- K vystružování větších průměrů se používají vystružovací hlavy, které jsou po uplynutí jejich životnosti lehce vyměnitelné.

- Nástroje s pájenými/lepenými břitovými destičkami

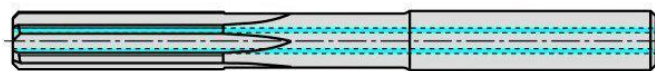
- Velmi využívaný typ nástroje. U tohoto typu výstružníku se při opotřebení nástroje vyměňují jenom břitové destičky. Destičky se na nástroj pájí nebo lepí. U pájených destiček se přidává mezi ocel a destičku korekční člen, který zmírňuje napětí mezi nástrojem a destičkou. Lepení břitových destiček je způsob uchycení neovlivňující materiál těla nástroje a může se tak teoreticky používat do nekonečna.



**Strojní výstružník s kuželovou stopkou a přímými zuby**



**Strojní výstružník s válcovou stopkou a přímými zuby**



**Strojní výstružník s vnitřním přívodem rezné kapaliny**



**Strojní kuželový loupací výstružník**



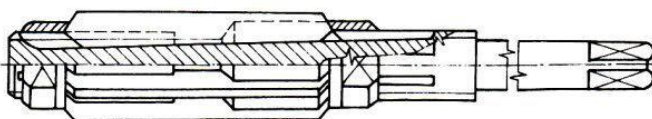
**Ruční výstružník s přímými zuby**



**Ruční kuželový výstružník s přímými zuby**



**Ruční kuželový výstružník se zuby ve šroubovici**



**Ruční stavitelný výstružník**



**Nástrčný výstružník s přímými zuby**



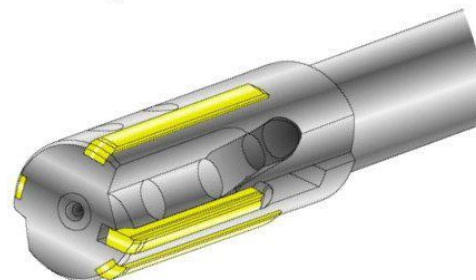
**Nástrčný výstružník se zuby ve šroubovici**



**Ruční rozpínací výstružník**



**Nástrčný výstružník HAM-Final s břity ze slinutého karbidu**

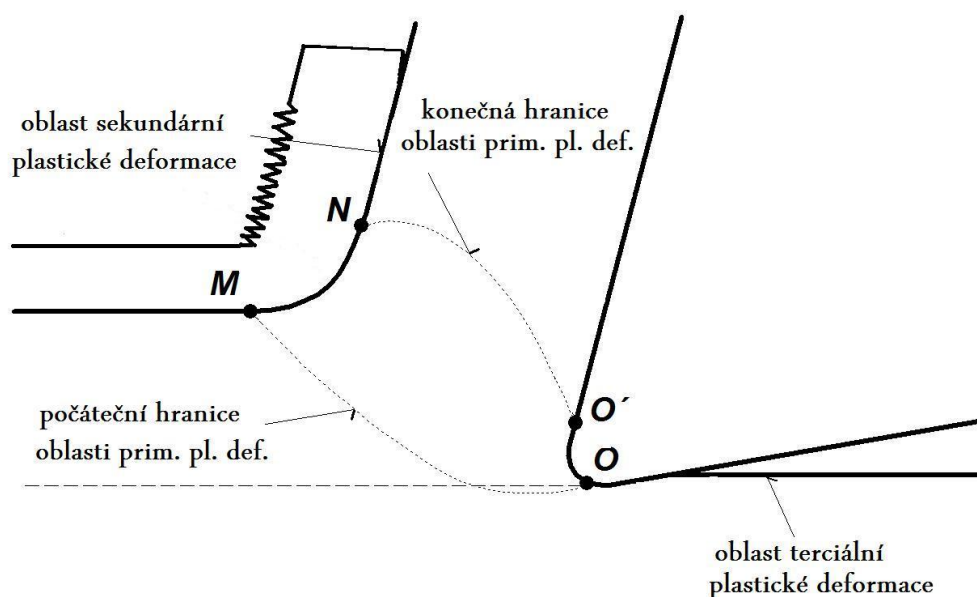


**Jednobřítý strojní výstružník**

Obr. 2.8. Různé typy výstružníků [15]

## 2.2. Řezné prostředí [4]

Hlavním úkolem řezného prostředí je zajistit chlazení přímo v oblasti místa řezu a zlepšení odvádění třísek. Odvod tepla je způsoben chladícím a mazacím účinkem řezného prostředí, který snižuje tření v oblastech plastické deformace. Řezné prostředí tedy redukuje koeficient tření vzájemně se po sobě posouvajících plochách (řezného materiálu a obráběného materiálu) v oblasti primární plastické deformace. Dále v oblasti sekundární plastické deformace, kde má za úkol optimalizovat třecí charakteristiku. V sekundární oblasti se odděluje tříska a následně se posouvá směrem od hlavního hřbetu nástroje a tím se vytváří tření. V neposlední řadě redukuje tření v oblasti terciální plastické deformace vznikající vzájemným pohybem mezi hřbetem nástroje a obrobenou plochou.



Obr. 2.9. Oblasti plastických deformací

### 2.2.1. Rozdělení řezného prostředí

Podle účinku na řezný proces se řezné prostředí rozděluje do dvou hlavních skupin. Na prostředí s převažujícím chladícím účinkem a na prostředí s převažujícím mazacím účinkem.

Rozdělení řezného prostředí –

- chladicí kapaliny – s převažujícím chladícím účinkem
- řezné oleje – s převažujícím mazacím účinkem

Řezné prostředí dělíme podle složení na –

- vodní roztoky
- emulzní kapaliny
- mastné oleje
- syntetické oleje.

### 2.2.2. Volba řezného prostředí

Provádí se s přihlédnutím na mechanismus tvorby třísky, vlastnosti obráběného materiálu, vlastnosti materiálu použitého řezného nástroje a posouzení jakosti obrobené součásti. Všechny tyto vlivy se musí brát na zřetel při volbě řezného prostředí.

**Řezný olej (neředitelný vodou)** – zhoršuje drsnost vystruženého povrchu, zvyšuje trvanlivost břitů a zvětšuje průměr vystružené díry až o 0,01mm oproti skutečnému průměru výstružníku.

**Emulgační olej (ředitelné vodou v koncentraci 3-8%)** – naopak zlepšuje drsnost vystruženého povrchu, snižuje trvanlivost břitů a zmenšuje průměr vystružené díry až o 0,03mm oproti skutečnému průměru výstružníku.

### 2.2.3. Materiál řezného nástroje

Materiál řezného nástroje se volí dle prováděné práce, použitého stroje, objemu výroby a vlastnostem obráběného materiálu. Řezné prostředí volbu materiálu může ovlivnit. U používaných řezných materiálů jsou materiály, které se musí chladit vždy – rychlořezná ocel (250°C). Další jsou slinuté karbidy a cermety (okolo 900°), které jsou více odolné vůči teplotě vzniklé v místě řezu, a proto se vždy chladit nemusí. Keramické nástroje (1200°) mohou pracovat bez jakéhokoliv řezného prostředí.

Mezi řezné materiály v oblasti vystružování patří rychlořezná ocel, slinuté karbidy, cermety, kubický nitrid bóru a diamant. Rychlořezné oceli jsou nahrazovány novými materiály, jako jsou např. slinuté karbidy a cermet. Tyto materiály, jak jde vidět z grafu, vykazují větší tvrdost a mohou obrábět větší řeznou rychlostí.



Obr. 2.10. Řezné materiály [7]



#### 2.2.4. Způsoby přívodu procesní kapaliny

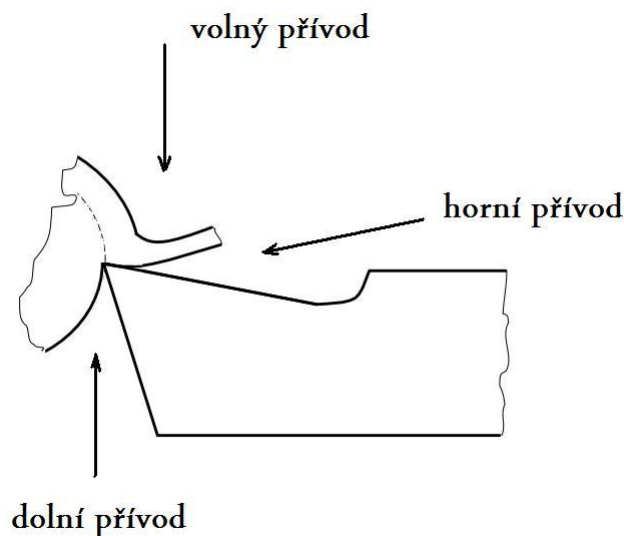
Zvolený způsob přívodu procesní kapaliny velmi ovlivňuje proces řezání a jeho kvalitativní výsledky. Přívod kapaliny značně ovlivňuje všechny tři druhy plastické deformace, které byly popsány na úvod kapitoly o řezném prostředí.

Kapalina může být vháněná do místa řezu různými způsoby, které budou dále uvedeny. Dnes se v moderní výrobě používají nové trendy v přívodu kapaliny jako je tlakové chlazení, chlazení mlhou, chlazení CO<sub>2</sub> a také podchlazování kapalin. Tyto nové trendy mají zajistit ještě větší chladicí a mazací účinek při procesu řezání.

**Druh přívodu procesní kapaliny** - vnějším nebo vnitřním způsobem. V oblasti vystružování se při výběru z těchto dvou hledisek přihlíží na vystružovanou díru. Je-li díra průchozí či nikoliv. Zda-li obráběcí stroj dovoluje vnitřní chlazení apod.

##### 2.2.4.1. Standardní chlazení

Nejčastější způsob přívodu procesní kapaliny do místa řezu. Je závislé na typu čerpadla a reguluje se pomocí kohoutku. Je to standardní přívod, který využívá většina starších typů strojů. Způsob chlazení je možno realizovat horním, dolním nebo volným způsobem.



Obr. 2.11. Běžný přívod procesní kapaliny

##### 2.2.4.2. Chlazení pomocí CO<sub>2</sub>

U chlazení pomocí CO<sub>2</sub> se paprsek plynu přivádí do místa řezu tlakem o velikosti 0,5 až 7 MPa. Nevýhodou této metody chlazení je větší pořizovací cena a dále nutnost dokonalého odvětrávání pracoviště. Tento způsob je vhodný pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů, např. zmenšuje negativní vlastnosti PCD jako je difuze a grafitizace.

### 2.2.4.3. Tlakové chlazení

U tohoto druhu chlazení je procesní kapalina vháněna přímo do místa řezu vysokým tlakem. Účinně zajistí odvod třísky. Obvykle používané tlaky u vysokotlakového chlazení pro přívod kapaliny jsou okolo 100 bar.

### 2.2.4.4. Chlazení mlhou

Rozprašovačem se přivádí mlha, neboli vzduch obsahující částičky vody, k místu řezu. Mlha je rozptýlena tlakem vzduchu o rychlosti až 300 m/s. Tato varianta chlazení se používá tam, kde je standardní chlazení nevhodné, např. při výrobě velmi tenkých součástí.

## 2.3. Řezné podmínky [10]

Výroba nových řezných materiálů, aplikace tenkých vrstev, nové výkonnější stroje a další aspekty umožňují posunovat stále výše řezné podmínky obráběcích nástrojů. Stejně jako u ostatních obráběcích metod tak i u vystružování změna řezné rychlosti výrazně ovlivňuje produktivitu této metody. Se zvýšením řezné rychlosti klesá řezný odpor, ale stoupá teplota v místě řezu což má za následek vzrůstající intenzitu otupování řezného břitů. Naopak při nízkých řezných rychlostech v některých případech může vzniknout nárůstek na nástroji, který je při vystružování nežádoucí a negativně ovlivňuje kvalitu povrchu.

Oproti minulosti se řezné rychlosti konvenčních výstružníků zvýšily někdy až několika násobně. Jestliže se dříve vystružovalo řeznou rychlostí 10-30 m/min, v dnešní době se hodnoty řezné rychlosti u produktivních vysokorychlostních výstružníků pohybují okolo 160-200 m/min a výš. Jak jde vidět v Tab. 2.2.

Posuv na otáčku: pro $\varnothing d < 8$ mm $\Rightarrow f = 0,2 - 0,4$ mm pro $\varnothing d > 8$ mm $\Rightarrow f = 0,3 - 0,6$ mm	Řezný materiál			
	Slinutý karbid	Slinutý karbid povlakovaný	Cermet	Cermet povlakovaný
Obráběný materiál	$v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	$v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	$v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	$v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]
Ocel k zušlechtnění např. 42CrMo4	12 až 20	18 - 24	90 – 170	110 - 190
Cementační ocel např. 16MnCr5	15 - 25	18 - 26	100 – 150	150 - 190
Automatová ocel např. 9SMn28k	22 – 30	28 - 40	110 - 150	150 - 240
Konstrukční ocel např. St37	22 - 30	30 - 45	120 - 200	140 - 240
Šedá litina GG např. GG25	28 - 48	110 - 170	nevhodné	160 - 250
Feritické tv. litiny GGG např. GGG40	20 - 38	38 - 80	110 - 190	140 - 240
CrNi-ocel např. X5CrNi 18 10	nevhodné	25 - 35	nevhodné	nevhodné
Hliník (Si < 9 %) např. AlSi7	40 - 110	nevhodné	nevhodné	nevhodné

Tab. 2.2. Řezné podmínky pro vysokorychlostní výstružník firmy HAM – FINAL [25]

Při vystružování je velmi důležitým faktorem vznikající tříska. Špatný tvar a odvod třísky z místa řezu negativně ovlivňuje výsledky vystružování. Tříska může být dlouhá a to v případě zvolení nízkých posuvů a vyšší zvolené řezné rychlosti. Takováto tříska může ohrozit obsluhu stroje a má za následek prodloužení pracovního procesu (při namotání třísky do stroje a jejich odstraňování). Při vystružování se požadují třísky ve tvaru krátkých spirál, u kterých se musí zajistit jejich správný odvod pomocí procesní kapaliny.

Řezné síly dosahující, ať už větších nebo menších hodnot, ovlivňují nástroj i obrobek. Působící řezné síly mají v některých případech za následek vznik chvění, který dále vede ke zhoršení kvality vystružování nebo v nejhorším případě k vylomení řezné hrany nástroje.

Dalším posunem v oblasti řezných podmínek zajistily deponované vrstvy. Tyto tenké vrstvy dokážou zvýšit životnost obráběcího nástroje až několikanásobně. Hlavní vlastnosti tenkých vrstev jsou odolnost proti opotřebení, redukce tření, korozní odolnost, difúzní a tepelná bariéra.

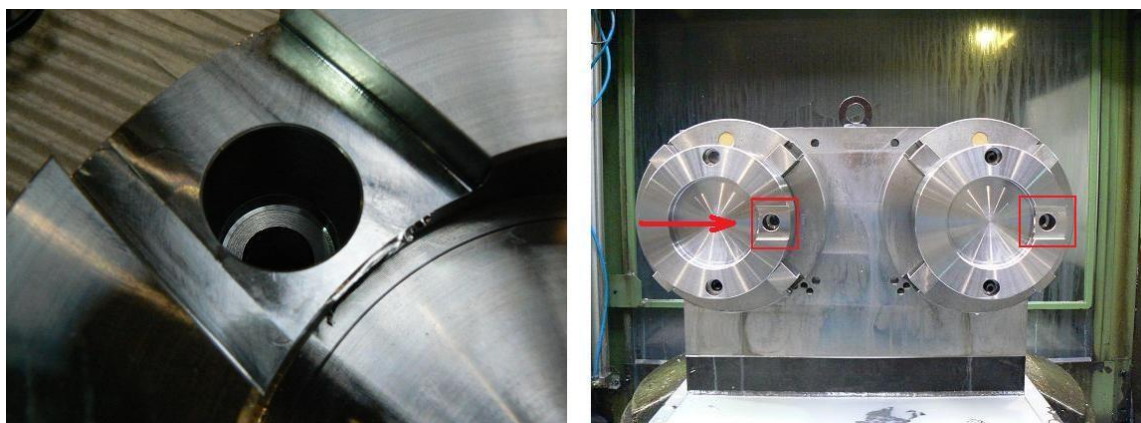
### 3. Rozbor současného stavu technologie výroby dané tolerované díry

K řešení této diplomové práce byla oslovena firma GTW BEARINGS specializující se na konstrukci, vývoj a samotnou výrobu kluzných kompozicových ložisek. Základní výrobky firmy jsou radiální a axiální ložiskové pánve, segmenty, těsnící kroužky a kompletní kluzná ložiska.

Zde byla vytipována součást, při jejímž obrábění se vyskytuje operace vystružování. Tato součást byla podrobena rozboru a měření. Po naměření potřebných hodnot (tolerance a drsnosti díry  $\text{Ø}20\text{H}7$ ) byly tyto hodnoty vyhodnoceny. Na základě vyhodnocených dat byly navrženy změny pro výrobu díry  $\text{Ø}20\text{H}7$ , které byly experimentálně testovány a budou blíže popsány v kapitole 4. (Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování).

#### 3.1. Popis součásti

Jde o nosnou desku (Obr. 3.1.), která je součástí komponentu axiálního ložiska sloužící k přenosu axiální síly působící na ložisko. Firma GTW BEARINGS vyrábí 3000 kusů ročně s minimální výrobní dávkou 12 kusů.



Obr. 3.1. Nosná deska

Vystružování je prováděno pouze na prostřední díře (vyznačené na Obr. 3.1.) , další dvě díry na nosné desce jsou pouze vrtané. Tyto dvě díry a další operace prováděné na nosné desce jsou nad rámec této diplomové práce. V další části této diplomové práce bude podrobněji zkoumána pouze vyznačená díra  $\text{Ø}20\text{H}7$ .

##### 3.1.1. Materiálový rozbor oceli 34CrNiMo6V

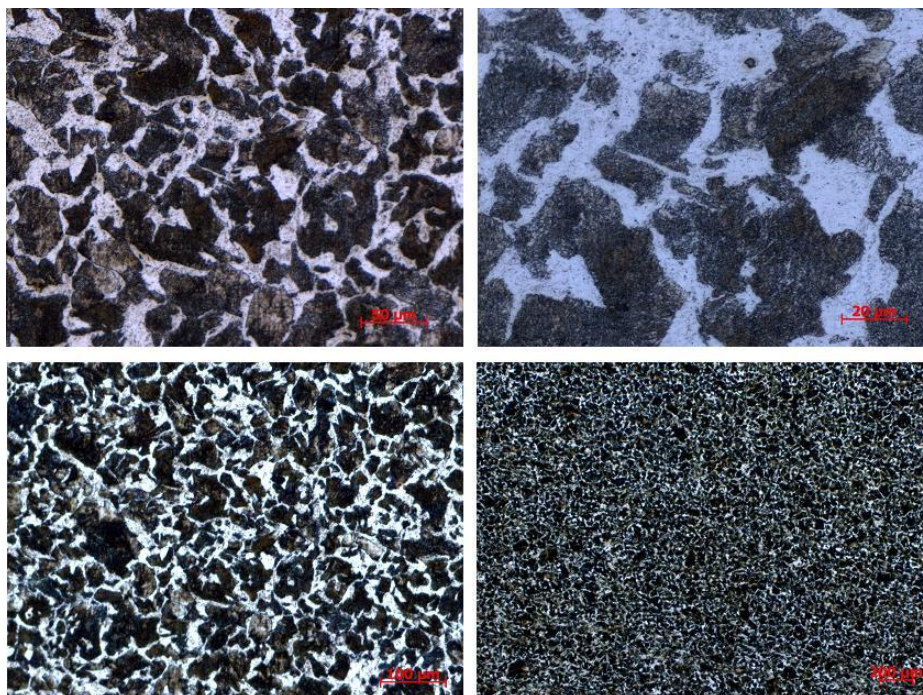
Materiál používaný pro nosnou desku je středně legovaná ušlechtilá ocel (34CrNiMo6V). Vykazuje vysokou prokalitelnost pro vysoce namáhané strojní součásti. Používá se k zušlechťování. V tomto stavu vykazuje příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu a vysokou houževnatost.

Níže je uvedena tabulka s chemickým složením materiálu, které bylo pořízeno na katedře materiálu a strojírenské metalurgie, ze vzorku s firmy GTW BEARINGS. Zjištěné chemické složení odpovídá materiálu 34CrNiMo6V, dle materiálového listu. [23]

Označení Din - 34CrNiMo6V WNr. – 1.6582 ČSN - 16343

	Chemický prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Ocel 34CrNiMo6V	% látky	0,391	0,675	0,248	0,0106	0,0147	1,2524	1,2702	0,179

Tab. 3.1. Chemické složení oceli 34CrNiMo6V



Obr. 3.2. Mikrostruktura oceli 34CrNiMo6V

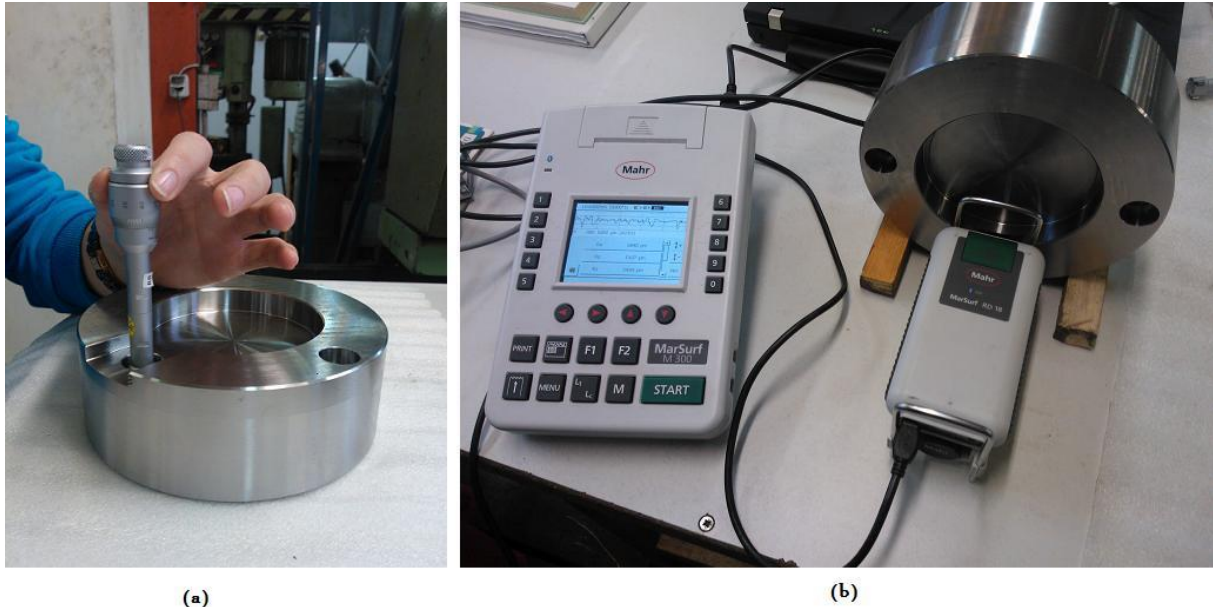
Požadavky kladené na opracování díry Ø20H7, dle výkresové dokumentace firmy GTW BEARINGS jsou uvedeny níže v přehledné tabulce. Bližší informace o samotné technologii budou popsány v další podkapitole.

Průměr	20
Tolerance	H7
Předpracovaný průměr	19,8
Způsob předpracování	Vrtání vícebřitým nástrojem
Hloubka díry	22
Průchozí díra	Ano
Osazená díra	Ano
Přerušení řezu	Ne
Jakost povrchu - Ra	0,8
Přípustná úchylka	Nedefinována

Tab. 3.2. Požadavky na opracování

### 3.2. Rozbor technologie výroby díry Ø20H7

Technologický postup, který je dodržován ve firmě GTW BEARINGS, je níže uveden v přehledné tabulce (Tab. 3.3.). Při testování přímo ve firmě byla měřena každá vyrobená díra. Při měření byla kontrolována tolerance vyrobené díry pomocí třídotekového dutinoměru. Každá díra byla proměřena vždy dvakrát na vstupu a výstupu díry (Obr. 3.3.a). Dále byla měřena drsnost obrobeneho povrchu vyrobené díry (Obr. 3.3.b).



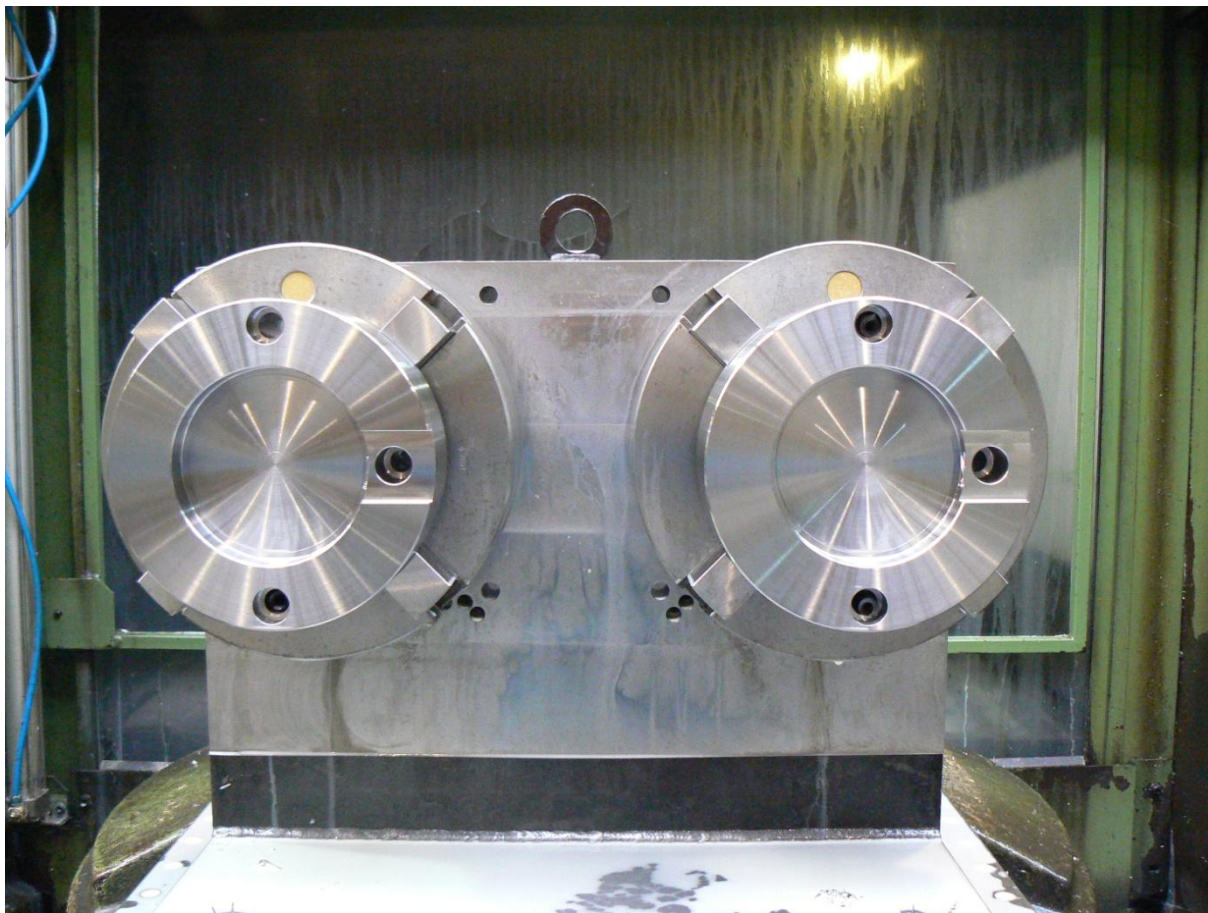
Obr. 3.3. (a) Měření tolerance díry, (b) Měření drsnosti povrchu díry

#### Podmínky testu ve firmě GTW BEARINGS

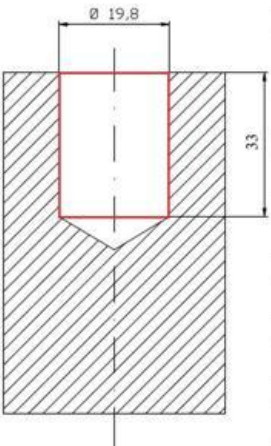
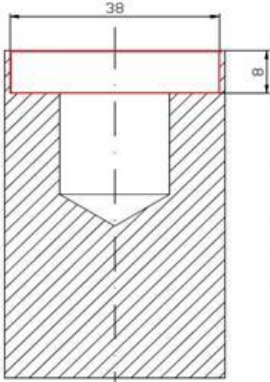
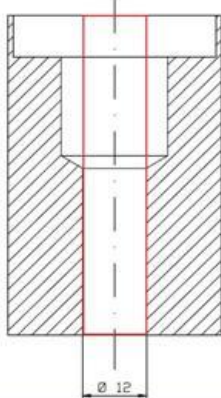
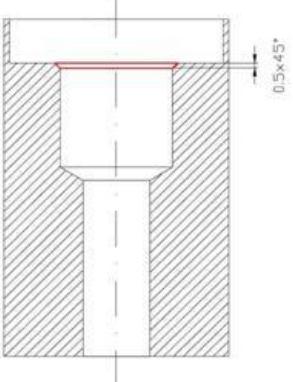
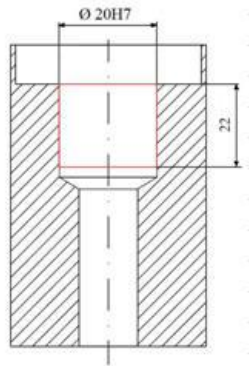
- Obráběný materiál: 34CrNiMo6V
- Druh výstružníku: HSS bez povlaku, 8 břitů ve šroubovici (Obr. 3.4.)
- Obráběcí stroj: Heller Bea 2 (parametry stroje viz příloha č.2.)
- Chlazení: Vnější – 7% emulze qcool 7012 HD
- Upnutí obrobku – do sklíčidla (Obr. 3.5.)



Obr. 3.4. HSS výstružník používaný v GTW BEARINGS



**Obr. 3.5. Upnutí obrobku ve sklíčidle**

Název: Technologický postup díry $\varnothing$ 20H7 - GTW BEARINGS s.r.o.					
Druh stroje		Druh chlazení		Materiál obrobku	
Heller Bea 2		7% Emulze qcool 7012 HD, tlak max. 30 bar		34CrNiMo6V	
Výrobní operace	vrtání do hl. 33	Frézování vybrání	Vrtání skrz	Sražení hrany díry $\varnothing$ 19,8	Vystružování do hl. 22
Nástroj	vrták $\varnothing$ 19,8	Fréza	vrták $\varnothing$ 12	Srážeč hran	Výstružník
Materiál nástroje	Monolitní TK		Monolitní TK		HSS
Upnutí nástroje	SK 50		SK 50		SK 50
					
Počet zubů	2		2		8
Vc [m/min]	79,6		105		12,56
n [ot/min]	1280		2800		200
f [mm/ot]	0,13		0,18		1,2
Vf [mm/min]	170		500		60
Zpětný posuv [mm/min]	Rychloposuv		Rychloposuv		500



### 3.3. Výsledky měření stávající technologie ve firmě GTW BEARINGS

Při zmapování současného stavu výroby ve firmě GTW BEARINGS proběhlo měření daných součástí popsaných na začátku této kapitoly. Výroba děr Ø20H7 probíhala dle výše uvedeného technologického postupu. Ve výrobní dávce bylo vyráběno 55 kusů součástí. Při vystružování byl použit HSS výstružník, který si firma GTW BEARINGS sama přebroušuje.

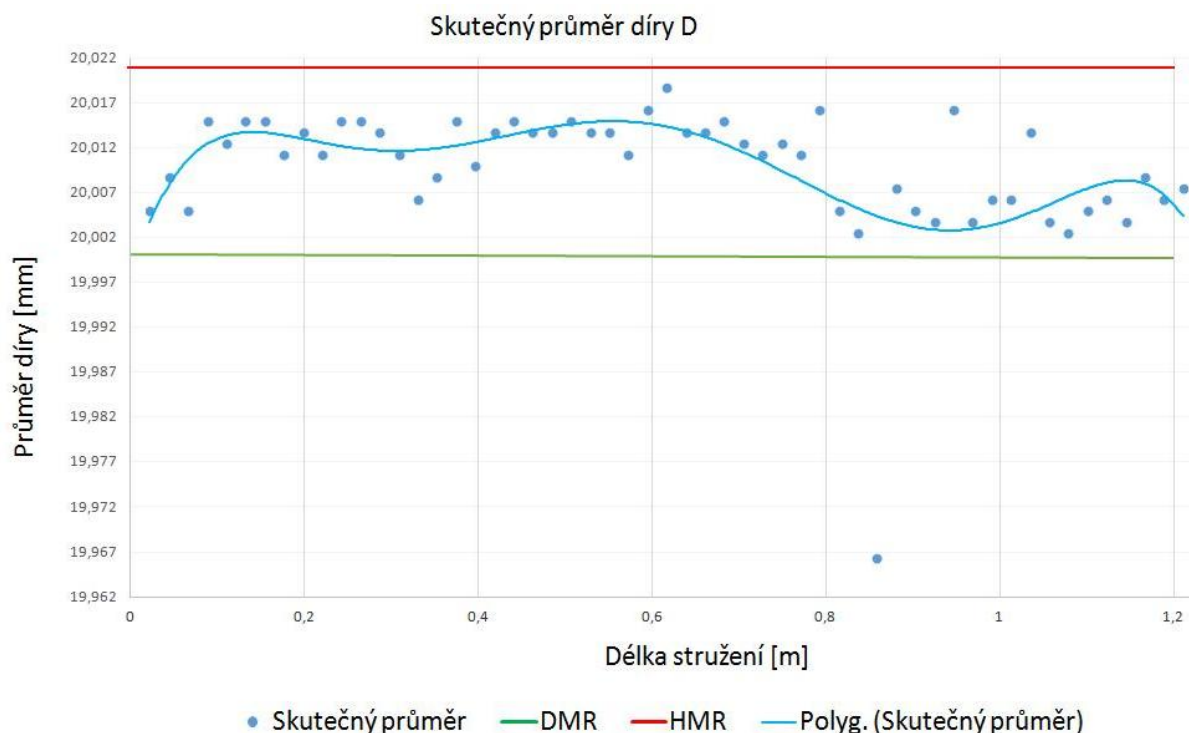
Ve společnosti GTW BEARINGS se pracuje na dvousměnný provoz a výrobu těchto součástí nelze dopředu určit. Proto byly měřeny již vyhotovené součásti. Měření probíhalo přímo ve výrobních prostorách firmy.

Na každé součásti byl měřen skutečný průměr díry pomocí třídotekového dutinoměru ve dvou hloubkách a dále byla měřena drsnost povrchu vystružené díry pomocí drsnoměru Mahr-Marsurf M300 (viz příloha č. 3).

#### *Zhodnocení výsledků průměrů děr:*

V grafu Obr. 3.6. jsou zobrazeny naměřené hodnoty skutečného průměru díry vzhledem k délce stružení. Vzhledem k tomu, že měření neprobíhalo v okamžiku výroby, ale měřilo se na již zhotovených součástech, nemůže být zaručena návaznost mezi vyrobenou a měřenou dírou. Červená čára v grafu vyznačuje horní mezní rozměr díry, který je pro průměr 20H7 – 20,021mm. Zelená čára vyznačuje dolní mezní rozměr díry. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou v grafu vyznačeny modře a průběh skutečného průměru díry znázorňuje spojnice trendů vyobrazená také v modré barvě.

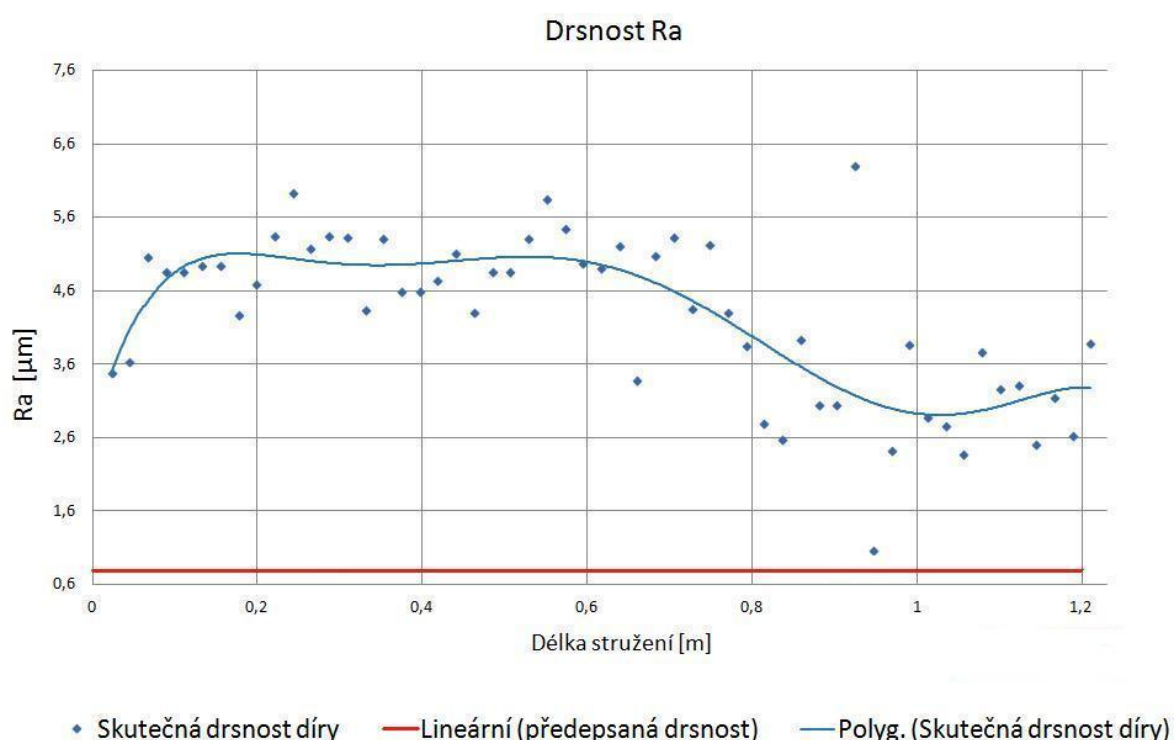
Z grafu je patrné, že až na jednu výjimku, všechny díry splňují předepsanou toleranci.



Obr. 3.6. Graf naměřeného skutečného průměru děr

### Zhodnocení výsledků drsností děr:

V grafu jsou zobrazeny naměřené hodnoty drsnosti děr. Hodnoty drsností jsou v grafu vyobrazeny modrými body. Spojnice trendů těchto bodů je zobrazena také modře. Předepsaná drsnost součásti ( $R_a = 0,8\mu\text{m}$ ) je v grafu znázorněna červenou čarou.



Obr. 3.7. Graf naměřené drsnosti vystružených děr

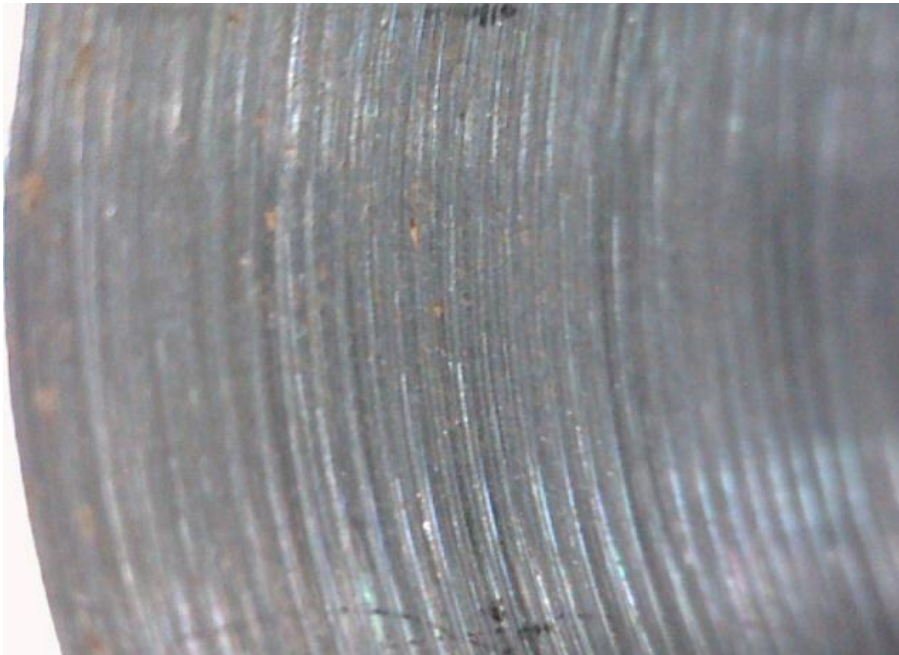
Z výše uvedeného grafu je patrné, že ani v jednom případě nebyla dodržena předepsaná drsnost  $R_a = 0,8\mu\text{m}$ . V jednom případě se hodnota pohybuje blízko hranice předepsané drsnosti. Zbytek ale vysoce převyšuje předepsanou hodnotu. Je patrné, že dosahování drsnosti povrchu je zásadní problém dosavadní výroby.

### 3.4. Definování dosavadních problémů při stávající výrobě

Z hodnocení výsledků naměřených hodnot ukazuje, že s výrobou díry  $\text{Ø}20\text{H}7$  ve firmě GTW BEARINGS jsou značné potíže a to zejména v oblasti dodržování předepsané drsnosti díry  $R_a = 0,8\mu\text{m}$ .

Jak již bylo uvedeno výše, byly proměřovány již hotové součásti a nebyla možnost zachytit závislost stavu výstružníku k stavu vystružované díry. V tomto případě je však patrné, že kvalita vystružovaných děr není přijatelná.

Při měření byla vyfotografována již vystružená díra - Obr. 3.8. Na tomto snímku je vidět již vystružená díra, u které byla naměřena drsnost  $R_a = 4,6\mu\text{m}$



**Obr. 3.8. Fotografie vystružené díry Ø20H7**

Technologie výroby díry Ø20H7 jak je vidět v kapitole - Technologický postup, není nijak složitá. Tato technologie je volena správně a však zásadní vliv na kvalitu vystružené díry nese zřejmě vrták nebo výstružník. Další možnost nedodržování předepsané drsnosti díry může mít na svědomí upnutí výstružníku nebo jeho opotřebení.

Ve firmě GTW BEARINGS se převážně využívá pro upnutí nástrojů upínač weldon, které sami o sobě vykazují vyšší hodnotu házivosti. Pro vystružování se doporučuje používat kvalitnějších upínačů.

HSS výstružníky se kterými se ve firmě GTW BEARINGS pracuje, si firma sama přebrušuje. Už to může mít určitý vliv na výsledky vystružování.

## 4. Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování

Naměřené výsledky stávající technologie, popsané v předešlé kapitole, neodpovídají předepsaným hodnotám na výkrese. Jak již bylo napsáno v kapitole (3.4. Definování dosavadních problémů při stávající výrobě) problém je z největší pravděpodobnosti na straně vrtáku, výstružníku či špatné volbě upínače. Proto bylo při experimentování na tyto tři aspekty bráno zřetel a experiment byl navrhnout tak, aby byla nalezena nejvhodnější varianta pro obrábění díry Ø20H7.

### 4.1. Charakteristika experimentu

Cílem experimentu bylo otestovat vhodné varianty použitých nástrojů (vrtáku Ø19,8 a výstružníku Ø20H7), které by splňovaly všechny předepsané požadavky. Za tyto požadavky byla brána předepsaná tolerance díry a hlavně drsnost obrobené díry, která je na výkrese dané součásti předepsána  $Ra = 0,8\mu\text{m}$ . Tyto varianty následně porovnat mezi sebou a vybrat tu nejvhodnější pro obrábění dané díry.

Výsledkem experimentu by mělo být navržení nové varianty použitých nástrojů a upínačů nástrojů při obrábění, které by dosahovaly požadovaných výsledků. Použité polotovary při testování byly od firmy GTW BEARINGS. Firma nám zapůjčila i nástroje, se kterými pracují při obrábění námi vytypované díry. Dále byl pro experiment použit vrták od firmy Iscar a od stejné firmy byl použit i hydraulický upínač. V neposlední řadě byl při testování využit výstružník a speciální RC upínací systém pro regulaci centricity výstružníku od firmy HAM-FINAL

### 4.2. Návrh experimentu

Pro nedostatek polotovarů nemohl být experiment navrhnout tak, aby výsledkem byla závislost trvanlivosti nástroje na kvalitě obrobené díry. Proto byl experiment volen na základě výběru nejvhodnější možné kombinaci obráběcích nástrojů jejich řezných podmínek a použitých upínačů. Při experimentování byl sledován vliv obráběcích nástrojů a upínačů nástrojů na kvalitě obrobených děr.

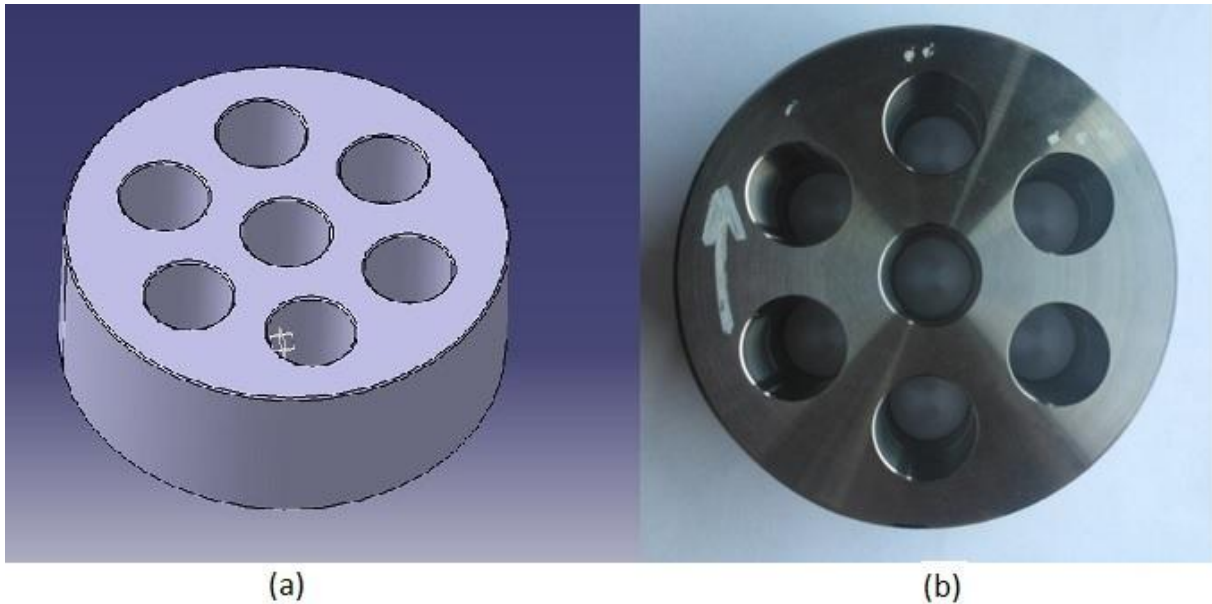
#### 4.2.1. Polotovar

Polotovar, který byl volen pro testování se liší svým rozměrem od polotovaru používaném ve firmě GTW BEARINGS. Rozmístění děr v polotovaru bylo voleno s ohledem na největší možné využití materiálu.

Jako polotovar byla zvolena kruhová tyč ze stejného materiálu, jako je materiál vytypované součásti, tedy ocel 34CrNiMo6V. Tento materiál byl darován firmou GTW BEARINGS, jak bylo uvedeno výše. U polotovaru bylo prověřené chemické složení materiálu. Toto složení odpovídá složení oceli 34CrNiMo6V specifikované v kapitole 3.1.1.

Materiálový rozbor oceli 34CrNiMo6V. Materiál byl z firmy dodán ve formě kruhové tyče o velikosti Ø100x41mm v celkovém množství 10ks. Na každém kusu byly zarovnané obě čela polotovaru, takže celková výška byla 37mm. Na jednom polotovaru bylo vyrobeno 7 děr jak je vidět na Obr. 4.1. Mezi jednotlivými dírami byla volena mezera o velikosti

minimálně 6mm. Mezera mezi dírami na okraji polotovaru a okrajem polotovaru byla volena minimálně 8mm.

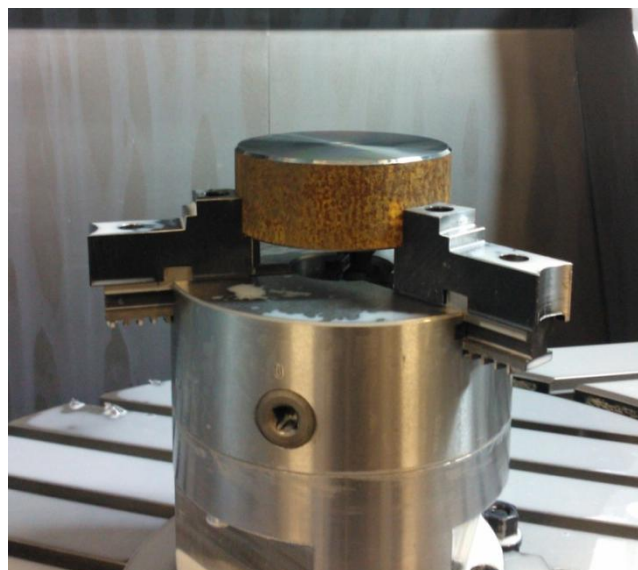


Obr. 4.1. (a) Catia – návrh polotovaru, (b) reálný kus focený po vystružení

#### 4.2.2. Upnutí obrobku

Stejně jako v praktické výrobě i u experimentálního testování bylo použito pro upnutí obrobku tříčelist'ového sklíčidla Obr. 4.2.

Při testech byly vrtány díry průchozí, proto se musel dát velký pozor na rozmístění děr vůči poloze čelistí sklíčidla, aby nedošlo při obrábění ke kolizi nástroje se sklíčidlem.



Obr. 4.2. Upnutí polotovaru ve sklíčidle

### 4.2.3. Obráběcí stroj

Obrábění bylo realizováno na obráběcím centru DMU 65 monoblock. Tento obráběcí stroj byl použit proto, že RC seřizovací hlavice má upínací kužel HSK 63A. V halových laboratořích KTO je možné upnout pouze nástroje s upínacím kuželem ISO40. Specifikace stroje je připojena jako příloha č.5.

### 4.2.4. Použité nástroje a upínače

V této kapitole budou blíže popsány jednotlivé obráběcí nástroje a upínače nástrojů, které byly použity při realizaci experimentu.

#### *Vrtací nástroje:*

Vrtání probíhalo pomocí dvou nástrojů. První vrták byl přímo z firmy GTW BEARINGS (dále bude označován jako GTW vrták) a druhý byl od firmy Iscar (dále označován Iscar vrták). Vrtání probíhalo do hloubky 33mm.

#### GTW vrták

Tento typ vrtáku firma GTW BEARINGS používá při reálné výrobě díry Ø20H7. Je to monolitní tvrdokovový vrták ze slinutého karbidu. Se dvěma deponovanými břity vrstvou TiAlN. Při obrábění bylo použito vnější chlazení. Konstrukční parametry jsou uvedené v Tab. 4.1.

	GTW vrták
	Materiál: SK
	Počet břítů: 2
	Povlak: TiAlN
	Průměr ØD: 19,8
	Způsob chlazení: Vnější

Tab. 4.1. Konstrukční parametry GTW vrtáku

#### ISCAR vrták

Vrták od firmy Iscar má výměnnou hlavičku ze slinutého karbidu deponovaný vrstvou TiAlN. Při obrábění bylo použito vnější chlazení. Konstrukční parametry jsou uvedené v Tab. 4.2.

	ISCAR vrták
	Materiál: SK
	Počet břítů: 2
	Povlak: TiAlN
	Průměr ØD: 19,8
	Způsob chlazení: Vnější

Tab. 4.2. Konstrukční parametry ISCAR vrtáku

### Nástroje na sražení hra:

Sražení hran bylo prováděno SK frézou za podmínek předepsaných v katalogu nástroje. Průměr frézy je Ø12. Fréza má čtyři břity a je deponována vrstvou TiAlN. Při obrábění bylo použito vnější chlazení. Jeho konstrukční parametry jsou uvedené v Tab. 4.3.

	Fréza
	Materiál: SK
	Počet břitů: 4
	Povlak: TiAlN
	Průměr ØD: 12
Způsob chlazení: Vnější	

Tab. 4.3. Konstrukční parametry frézy pro sražení hran

### Vystružovací nástroje:

Vystružování probíhalo pomocí dvou nástrojů do hloubky 20mm. První byl výstružník přímo z firmy GTW BEARINGS (dále bude označován jako GTW výstružník) a druhý byl od firmy HAM-FINAL (dále označován HAM-FINAL výstružník).

Výstružník používaný ve firmě GTW BEARINGS je z HSS oceli, má 8 břitů uspořádané ve šroubovici bez povlaku. Při obrábění bylo použito vnější chlazení. Konstrukční parametry jsou uvedené v Tab 4.4.

	GTW výstružník
	Materiál: HSS
	Počet břitů: 8 ve šroubovici
	Povlak: Ne
	Průměr ØD: 20H7
Způsob chlazení: Vnější	

Tab. 4.4. Konstrukční parametry GTW výstružníku

Tělo výstružníku od firmy HAM-FINAL je z oceli ETG100. Břity jsou přímé, cermetové a jsou bez povlaku. Chladicí médium je přiváděno středem nástroje a rozváděno přímo do zubových mezer. Konstrukční parametry jsou uvedené v Tab 4.4. Výkres výstružníku je k nahlédnutí jako příloha č. 6

	HAM-FINAL výstružník
	Materiál: Cermet
	Počet břitů: 6 - přímé
	Povlak: Ne
	Průměr ØD: 20H7
Způsob chlazení: Vnitřní	

Tab. 4.5. Konstrukční parametry HAM-FINAL výstružníku

### ***Upínače nástrojů:***

Dále byl při experimentování sledován vliv házivosti řezné části nástroje na kvalitu obrobené díry. Proto byly využity tři druhy upínacích systémů. První byl upínač weldon. Ten je v největší míře využíván ve firmě GTW BEARINGS. Další z upínačů byl hydraulický upínač od firmy Iscar. A poslední byl RC upínací systém od firmy HAM-FINAL.

#### ***Upínač weldon***



- Výhoda tohoto upnutí je jeho jednoduchost a malá pořizovací cena.
- Princip upnutí má za příčinu vysokou házivost nástroje. (šroub dosedající kolmo na plochu vyfrézovanou do stopky nástroje odtlačuje nástroj mimo osu upínače)
- Házivost = 15-20 $\mu$ m

**Obr. 4.3. Weldon upínač**

#### ***Hydraulický upínač - Iscar***



- Velmi dobré tlumení vibrací
- Házivost  $\leq 3\mu$ m
- $n = \max 25000$  ot/min

**Obr. 4.4. Hydraulický upínač od firmy Iscar**

#### ***RC upínací systém – HAM-FINAL***



- Velmi přesné seřízení souososti výstružníku, pomocí přesouvacích, odtlačovacích a stahovacích šroubů, které jsou na obvodu a čele příruby RC upínacího systému

**Obr. 4.5. RC upínací systém od firmy HAM-FINAL**



### 4.3. Technologický postup experimentu

Technologický postup experimentu obsahoval operaci vrtání, sražení hran a vystružování. Jak již bylo zmíněno dříve v diplomové práci, při experimentování byla hledána kombinace nástrojů a upínačů nástrojů, která by vykazovala požadované výsledky (toleranci díry a předepsanou drsnost). Proto budou v této kapitole popsány všechny kombinace, které byly při experimentování zkoumány.

#### *Sražení hran*

Tato operace byla součástí každé z dále popsaných variant. Pro přehlednost nebude psána dále v jednotlivých variantách. Proto je uvedena hned na začátku a však je součástí každé z níže psaných variant.

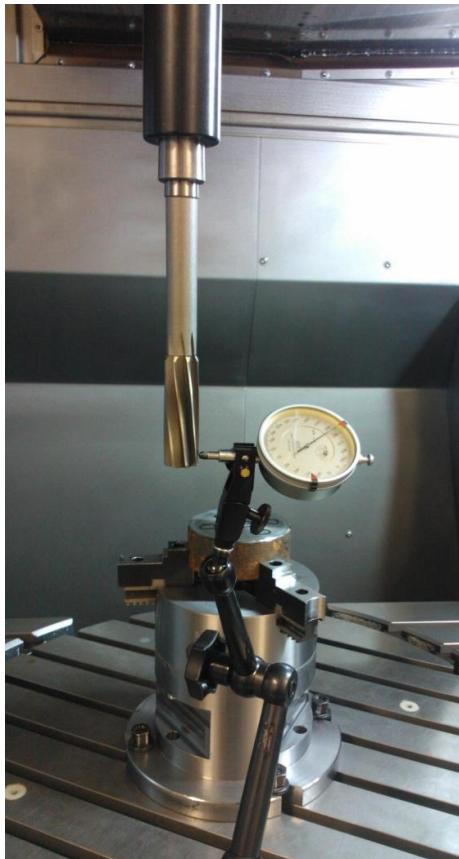
SK fréza	upnutí	weldon
	řezná rychlost $v_c$ [m/min]	110
	posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	300
	otáčky nástroje $n$ [ot/min]	2918
	otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,13

#### *Varianty použitých nástrojů a upínačů nástrojů*

**Varianta 1.** sloužila k ověření technologie, která v této době je využívána ve firmě GTW BEARINGS. Byly použity stejné řezné podmínky a stejná upnutí nástrojů, které se využívá v praxi.

Varianta 1.	GTW vrták	GTW výstružník	
Upnutí nástroje	upínač weldon	kuželová stopka	
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	79,6	3,14	
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	170	60	
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1280	50	
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,13	1,2	
Výjezd	rychloposuv	500	
Házivost [ $\mu\text{m}$ ]	14	13	12

Při této variantě byla měřena házivost řezného nástroje. Pomocí číselníkového úchylkoměru. Naměřené hodnoty házivosti nepřesáhly 15 $\mu$ m.



Obr. 4.6. Měření házivosti výstružníku z HSS oceli

**Při variantě 2.** byl vyměněn vrták z firmy GTW za vrták od firmy Iscar. Řezné podmínky byly voleny z katalogu nástroje. Tento vrták se v dalších variantách nadále nemění, protože nebyl zjištěn přímý vliv vrtáku na parametry vystružené díry a také proto, že vrtání tímto vrtákem bylo produktivnější než s GTW vrtákem. I při této variantě byla měřena házivost výstružníku, která nepřesáhla hodnotu 15 $\mu$ m.

Varianta 2.	ISCAR vrták	GTW výstružník	
Upnutí nástroje	upínač weldon	upínač weldon	
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	3,14	
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	60	
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	50	
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	1,2	
Výjezd	rychloposuv	500	
Házivost [ $\mu$ m]	14	11	11

*U varianty 3.* byl vyměněn jak výstružník, tak i druh upnutí výstružníku. V této variantě a i při dalších čtyřech variantách byl využit RC upínací systém pro upnutí výstružníku. Po vycentrování pomocí RC upínacího systému vykazovala házivost výstružníku 4 $\mu$ m. U dalších variant byla měněna velikost otáčkového posuvu z hodnoty 0,3 na 0,45 a poté na 0,6 mm/ot.

Varianta 3.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	<b>RC upínací systém</b>
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	669
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,3</b>
Výjezd	rychloposuv	rychloposuv



Obr. 4.7. Měření házivosti u RC upínacího systému

Varianta 4.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	RC upínací systém
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1004
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,45</b>
Výjezd	rychloposuv	rychloposuv

Varianta 5.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	RC upínací systém
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1338
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,6</b>
Výjezd	rychloposuv	rychloposuv

Varianta 6.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	RC upínací systém
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	<b>180</b>
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1338
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	0,6
Výjezd	rychloposuv	rychloposuv

U *varianty 7. až 9.* byl vyměněn RC upínací systém za hydraulický upínač od firmy Iscar. Stejně jako u předchozích druhů upnutí i u tohoto upínače byla měřena házivost, která vykazovala hodnotu do 5 $\mu$ m. V dalších dvou variantách byl měněn otáčkový posuv.

Varianta 7.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	<b>Hydraulický upínač - Iscar</b>
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	669
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,3</b>
Výjezd	rychloposuv	rychloposuv

Varianta 8.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	Hydraulický upínač - Iscar
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1004
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,45</b>
Výjezd	rychluposuv	rychluposuv

Varianta 9.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	Hydraulický upínač - Iscar
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1338
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,6</b>
Výjezd	rychluposuv	rychluposuv

*U variant 10. – 12.* byl výstružník od firmy HAM-FINAL upnut v upínači weldon a byly měněny hodnoty otáčkového posuvu, jak jde vidět z příslušných tabulek.

Varianta 10.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník	
Upnutí nástroje	upínač weldon	<b>Upínač weldon</b>	
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140	
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	669	
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230	
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,3</b>	
Výjezd	rychluposuv	rychluposuv	
Házivost [ $\mu\text{m}$ ]	12	14	12

Varianta 11.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	Upínač weldon
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1004
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,45</b>
Výjezd	rychluposuv	rychluposuv

Varianta 12.	ISCAR vrták	HAM-FINAL výstružník
Upnutí nástroje	upínač weldon	Upínač weldon
řezná rychlost $v_c$ [m/min]	70	140
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	330	1338
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	1125	2230
otáčkový posuv $f$ [mm/ot]	0,3	<b>0,6</b>
Výjezd	rychluposuv	rychluposuv

		Číslo varianty											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Upnutí výstružníku	Kuželová stopka	x	x										
	Weldon										x	x	x
	Hydro ISCAR							x	x	x			
	RC upínací systém			x	x	x	x						
Upnutí vrtáku	Weldon	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Hydro ISCAR												
Materiál výstružníku	HSS	x	x										
	Cermet			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Řezné podmínky	Vc	3,14	x	x									
		140			x	x	x		x	x	x	x	x
		180						x					
	Posuv	0,3			x				x			x	
		0,45				x				x			x
		0,6					x	x			x		x
		1,2	x	x									
Přívod chladící kapaliny	Vnější	x	x										
	Vnitřní			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 4.6. Přehled technologických variant

#### 4.4. Průběh experimentu

Při celém experimentování nedošlo k většímu problému. Celý experiment proběhl na pracovišti ve Vědecko-technickém parku. Pro experimentování byl vybrán stroj DMU 65 monoblock. Jako první byla vyzkoušena technologie, která je využívána ve firmě GTW BEARINGS (popsána v předešlé kapitole). Při upnutí GTW výstružníku pomocí kuželové stopky do vřetena stroje byla přeměřena jeho obvodová házivost, která byla do 15 $\mu$ m. Byly vystruženy 2 díry, výstružník byl přeupnut a znovu byla přeměřena jeho obvodová házivost. Poté byly vystruženy 3 díry a znovu se výstružník přeupnul a přeměřil. Jako poslední byly vystruženy poslední 2 díry. Touto technologií bylo obrobena celkem 7 děr.

U 2. varianty byl vyměněn GTW vrták za vrták od firmy Iscar a použitý výstružník zůstal stejný jako u 1. varianty. Také obvodová házivost výstružníku byla proměřována průběžně jako u předchozí varianty. Touto technologií bylo vystruženo 7 děr. Pomocí drsnoměru od firmy Mahr (vlastnosti přístroje k nahlédnutí v příloze 3.) byly proměřeny všechny doposud vystružené díry. Pro další varianty byl vybrán vrták ISCAR, který dle dosahované drsnosti děr připravoval díru před vystružením kvalitněji a i produktivněji.

Poté byl ve 3. až 6. variantě nasazen produktivní výstružník od firmy HAM-FINAL, který byl upnut pomocí RC upínacího systému. Při upnutí do RC upínacího systému byla změřena obvodová házivost výstružníku, která při těchto variantách byla do 4 $\mu$ m. Jednotlivé varianty 3. až 6. se od sebe liší velikostí otáčkového posuvu a u 6. varianty byla změněna velikost rezné rychlosti na 180 m/min. Podrobnější popis jednotlivých variant je uveden pomocí přehledných tabulek v předchozí kapitole. Stejně jako u předchozích variant i zde byla přeměřena obvodová házivost výstružník mezi jednotlivými variantami 3. až 6.

Při 7. až 9. variantě byl vyměněn RC upínací systém za hydraulický upínač od firmy Iscar. Obvodová házivost výstružníku vykazovala velikost do 5 $\mu$ m. Varianty 7. až 9. se od sebe liší velikostí otáčkového posuvu. Podrobnější popis jednotlivých variant je uveden pomocí přehledných tabulek v předchozí kapitole.

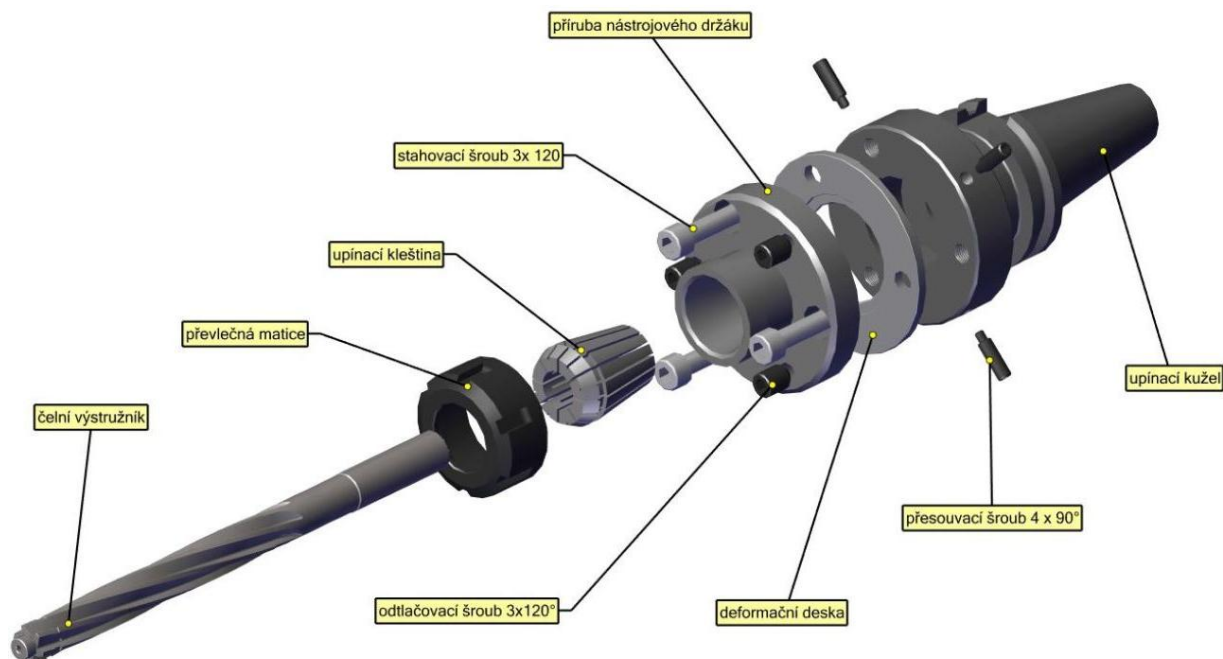
U posledních variant 10. až 12. byl výstružník od firmy HAM-FINAL upnut do weldon upínače. I u těchto variant byl měněn otáčkový posuv. Obvodová házivost výstružníku u těchto variant byla do 15 $\mu$ m.

Záznamy naměřených hodnot po experimentování jsou k nahlédnutí v příloze č.7. Dále je uveden stručný popis pro seřízení centricity u RC upínacího systému.



#### 4.4.1. RC upínací systém – popis seřízení házivosti [24]

RC upínací systém použitý při experimentování je hydraulický upínač s možností nastavení házivosti nástroje v řádech mikrometrů. Házivost je možné regulovat na přírubě a na řezné části nástroje. Pro jednodušší představu je pod obrázkem uveden jenom stručný popis seřízení házivosti příruby a nástroje. U seřizování RC upínacího systému při experimentování nedošlo k žádným problémům. Bylo použito ilustrační video popisující seřízení házivosti krok po kroku.



Obr. 4.8. Rozstřel RC upínacího systému s čelním výstružníkem

#### ***Přípravné úkony -***

Uvolnění všech tří odtlačovacích šroubů.

Mírné dotažení stahovacích šroubů.

#### ***Seřízení radiálního házení příruby -***

Nastavení doteku úchylkoměru na obvod příruby.

Povolováním nebo utahováním přesouvacích šroubů seřídí házení příruby.

Dotažení napevno stahovací šrouby (fixace příruby).

#### ***Korekce házivosti výstružníku -***

Lehké přitáhnutí odtlačovacích šroubů.

Nastavení doteku úchylkoměru na řeznou část výstružníku.

Při protáčení vřetene změřit nejmenší a největší hodnotu házivosti.

Pomocí utahování odtlačovacích šroubů vycentrovat házivost.

## 5. Vyhodnocení naměřených výsledků

V této kapitole bude provedeno zhodnocení experimentu, který byl v předešlé kapitole podrobně popsán. Cílem je zhodnotit jednotlivé varianty z hlediska přesnosti výroby a kvality povrchu obrobených děr. Při měření jednotlivých vystružených děr byla využita stejná měřidla jakou při prvotním měření ve firmě GTW BEARINGS.

Hodnoty skutečných průměrů děr byly měřeny pomocí třídotekového dutinoměru. Měření probíhalo ve dvou hladinách. První hladina byla 5mm od vstupu díry, druhá hladina byla vzdálená 15mm od vstupu díry. V každé hladině byla tolerance díry měřena dvakrát.

Drsnost vystružených děr byla měřena pomocí drsnoměru od firmy Mahr. Parametry drsnoměru jsou uvedeny v příloze č. 3. Měřená délka drsnosti byla 5,6mm. Měření díry probíhalo v náhodně vybraném místě. Toto měření bylo dvakrát opakováno v každé díře a poté byl vypočítán aritmetický průměr těchto hodnot. Parametry drsnoměru jsou uvedeny v příloze č. 3.

I přesto, že na výkrese součásti není předepsána mezní úchylka kruhovitosti a válcovitosti, byla po experimentování změřena kruhovitost a válcovitost děr vytvořených při jednotlivých variantách. Tyto dva parametry byly změřeny na kruhoměru značky Taylor – Hobson jehož parametry jsou uvedeny v příloze č. 8.

## 5.1. Hodnocení skutečného průměru v hloubce 5 mm

Hodnoty průměrů děr změřené pomocí třídotekového dutinoměru jsou vyobrazeny v grafu (Obr. 5.1.) U každé technologické varianty je uvedena jedna hodnota skutečného průměru, která byla vypočítána jako aritmetický průměr naměřených hodnot. Také je u jednotlivých variant uveden rozptyl měření označený černou svislou čarou. V grafu je červenou čarou naznačena hodnota horního mezního rozměru díry. V našem případě je hodnota horního mezního rozměru 20,021 mm. Pod grafem je podrobná legenda, vysvětlující co bylo použito za nástroje a upínače v jednotlivých variantách. Pro přehlednost a snadnou orientaci, jsou v legendě uvedeny i řezné podmínky použité pro vystružování u jednotlivých variant.

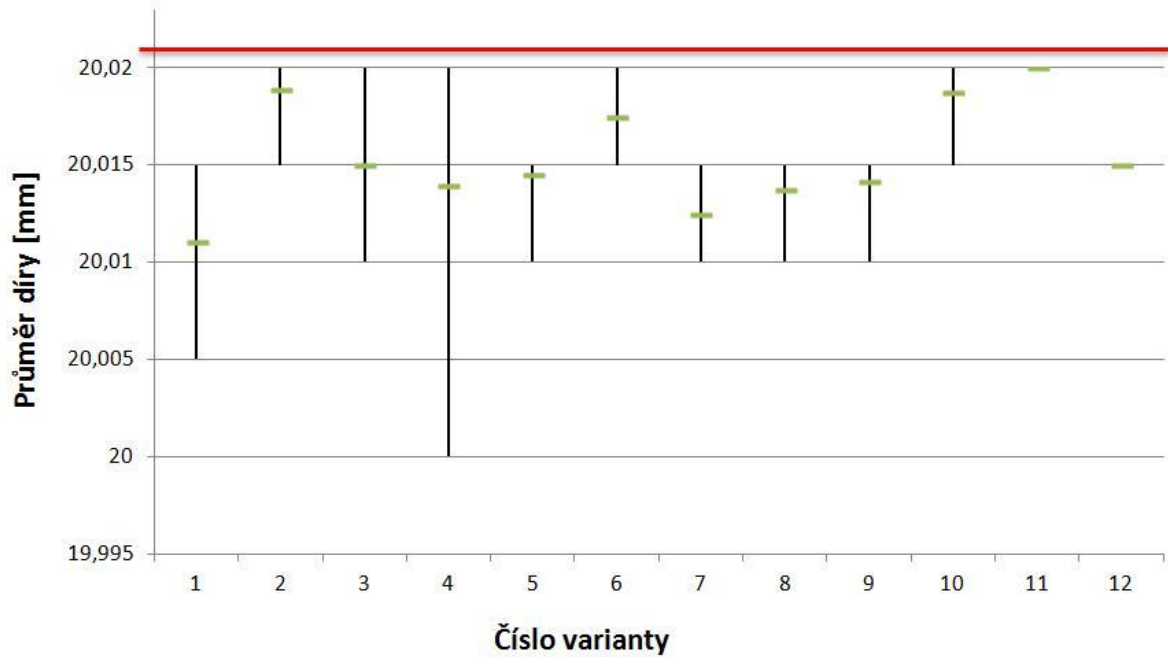
Při pohledu na graf je patrné, že při všech použitých technologických variantách nedošlo k překročení horního mezního rozměru díry. Nejmenší průměrnou hodnotu vykazovala stávající technologie využívaná ve firmě GTW BEARINGS čili 1. varianta avšak u této varianty byl naměřen velký rozptyl hodnot. Při této variantě je vrtáno tvrdokovovým vrtákem upnutým ve weldon upínači a struženo pomocí výstružníku z HSS oceli, který je upnut pomocí kuželové stopky.

Velmi podobné výsledky vykazují varianty 3. 4. 5., u kterých byl použit ISCAR vrták upnutý v upínači weldon a výstružník HAM-FINAL upnutý pomocí RC upínacího systému. U těchto variant byla stejná řezná rychlost (140 m/min), pouze posuv výstružníku byl měněn. V grafu je u 4. varianty vidět velký rozptyl měřených rozměrů. Jeho hodnoty se pohybují od 20 mm až do 20,02 mm. Tento rozptyl mohl být zapříčiněn přítomností nestabilního nárůstku při obrábění.

Podobných hodnot bylo dosaženo ve variantách 7.; 8.; 9., u kterých byl použit pro upnutí výstružníku ISCAR hydraulický upínač.

Varianty 10.; 11.; 12.; dosáhly výsledků blízkých se hodnotě horního mezního průměru díry. Dosáhly nejmenšího rozptylu naměřených hodnot. Tento rozptyl se pohyboval od 20,015 do 20,020mm. U těchto variant byl HAM-FINAL výstružník upnut pomocí weldon upínače. Z tohoto faktu je patrné, že tato nekvalita mohla být zapříčiněna použitým upínačem weldon u výstružníku.

### Skutečný průměr díry v hloubce 5mm



- |  |   |
|--|---|
| 1. GTW(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2            | 2. ISCAR(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2           |
| 3. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,3    | 4. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,45    |
| 5. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,6    | 6. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-180; f-0,6     |
| 7. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,3 | 8. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,45 |
| 9. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,6 | 10. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,3     |
| 11. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,45   | 12. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,6     |

Vysvětlivka: druh vrtáku (upnutí vrtáku) + druh výstružníku (upnutí výstružníku)

(w) - upínač weldon

(RC) - RC upínací systém

(Hydro) - Hydraulický upínač od firmy Iscar

**Obr. 5.1. Skutečný průměr díry naměřený při jednotlivých variantách v 5mm hloubce**

## 5.2. Hodnocení skutečného průměru v hloubce 15 mm

Stejně jako u předchozího grafu i zde jsou hodnoty skutečných průměrů vypočítány jako aritmetický průměr naměřených hodnot. Také je u jednotlivých variant uveden rozptyl měření označený černou svislou čarou. V grafu je červenou čarou označena hodnota horního mezního rozměru díry.

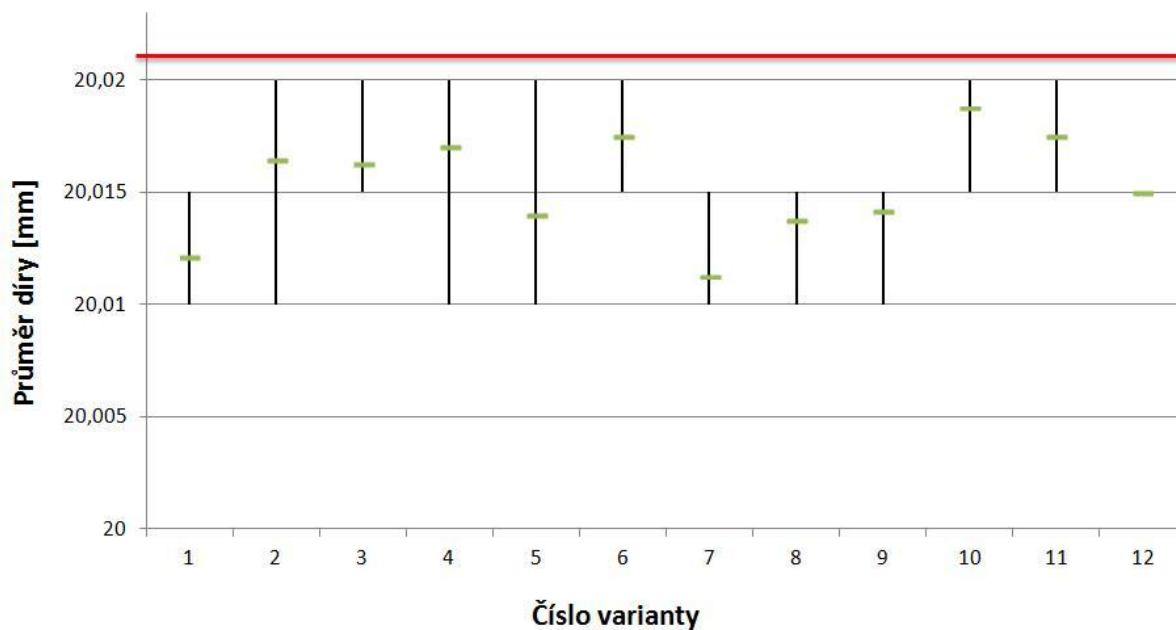
I při tomto měření nedošlo ani v jednom případě k přesáhnutí horního mezního rozměru díry. Stávající technologie využívána ve firmě GTW BEARINGS čili 1. varianta, vykazuje přibližně stejnou hodnotu jako v hloubce 5mm od vstupu do díry. U 2. varianty se rozměr skutečné hodnoty průměru díry zmenšil a však nijak markantně.

Varianty 3. 4. 5., u kterých byl použit ISCAR vrták upnutý v upínači weldon a výstružník HAM-FINAL upnutý pomocí RC upínacího systému vykazují velmi podobnou hodnotu jako v předchozím grafu. Jinými slovy, se zvětšující se hloubkou se rozměr díry u těchto variant zásadně nemění.

Stejně jako u předchozího grafu i zde varianty 10.; 11. dosáhly výsledků blížících se hodnotě horního mezního průměru díry

V tomto grafu už není tak veliký rozptyl měřených hodnot u 4. varianty, proto s největší pravděpodobností byla při předchozím měření průměrů v hloubce 5 mm špatně odečtená hodnota průměru díry a proto vznikl tento rozptyl.

### Skutečný průměr díry v hloubce 15mm



- |  |   |
|--|---|
| 1. GTW(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2            | 2. ISCAR(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2           |
| 3. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,3    | 4. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,45    |
| 5. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,6    | 6. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-180; f-0,6     |
| 7. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,3 | 8. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,45 |
| 9. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,6 | 10. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,3     |
| 11. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,45   | 12. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,6     |

Vysvětlivka: druh vrtáku (upnutí vrtáku) + druh výstružníku (upnutí výstružníku)

(w) - upínač weldon

(RC) - RC upínací systém

(Hydro) - Hydraulický upínač od firmy Iscar

**Obr. 5.2. Skutečný průměr díry naměřený při jednotlivých variantách v 15mm hloubce**

### 5.3. Hodnocení drsnosti povrchu Ra

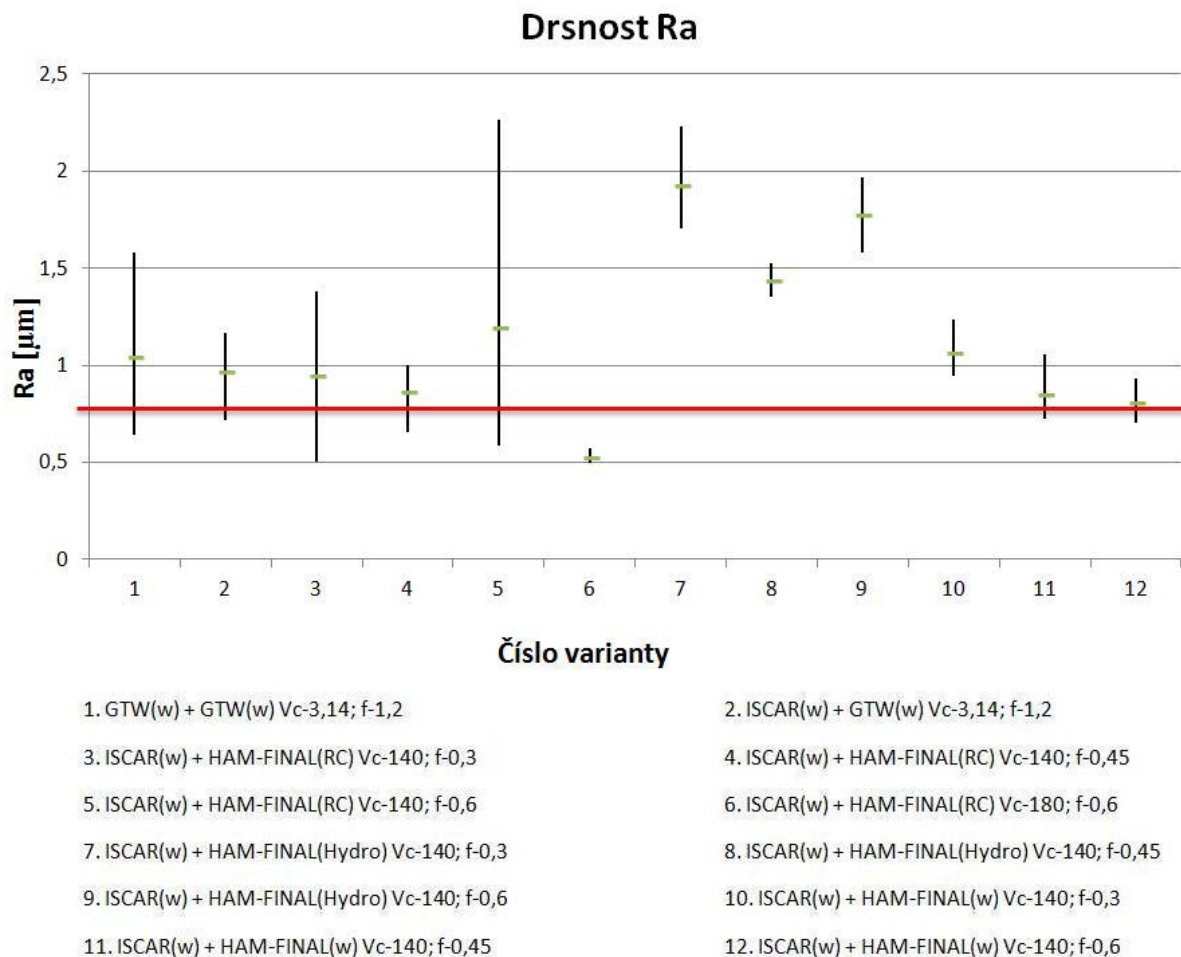
Na obrázku 5.3. jsou zobrazeny naměřené drsnosti Ra. Kriteriaální hodnota drsnosti předepsaná na výkrese součásti je  $Ra = 0,8\mu\text{m}$  jak již bylo zmíněno dříve. Tato hodnota je v grafu označena červenou čarou.

Kriteriaální hodnota drsnosti  $Ra = 0,8\mu\text{m}$  byla dosažena jenom u jediné varianty a to u 6. varianty. U této varianty byla použita při vystružování nejvyšší řezná rychlost = 180 m/min a otáčkový posuv byl 0,6mm. Vzhledem k tak velké řezné rychlosti je tento výsledek nad očekávání. Při tak velké řezné rychlosti a vysokému otáčkovému posuvu mohlo dojít ke stabilizaci procesu a proto byla jenom při této variantě dosažena požadovaná drsnost díry.

Nejhůře dopadly varianty, u kterých byl výstružník upnut do hydraulického upínače od firmy ISCAR (7.;8.;9. varianta). I přesto, že u těchto variant obvodová házivost výstružníku dosahovala hodnot do 0,005mm. Takovouto hodnotu obvodové házivosti vykazoval výstružník i při upnutí do RC upínacího systému. Avšak jak je patrné z grafu, při variantách s RC upínacím systémem (varianty 3.; 4.; 5.; 6.) byla dosažena hodnota blízká kriteriaální hodnotě  $Ra = 0,8\mu\text{m}$ , narozdíl od varianty s hydraulickým upínačem od firmy ISCAR. V porovnání s variantami 10.; 11.; 12.; u kterých je výstružník upnut ve weldon upínači by měly varianty s hydraulickým upínačem vykazovat nižší hodnoty drsností avšak je tomu naopak. Paradox tohoto jevu může být způsoben vlivem výskytu nárůstku na břitech výstružníku, který by mohl vézt k nestabilitě řezného procesu, která by měla vliv na dosahovanou drsnost při vystružování.

Varianty 10.; 11.; 12., u kterých je výstružník upnut do weldon upínače, stejně jako varianty s RC upínacím systémem, dosahovaly drsností okolo 0,8 – 1  $\mu\text{m}$ . Přesto tyto hodnoty nejsou pro tento typ součásti dostačující.

Nejlepších hodnot drsnosti bylo dosaženo při použití 6. varianty. Při této variantě byl použit ISCAR vrták upnutý ve weldon upínači a výstružník od firmy HAM-FINAL upnutý pomocí RC upínacího systému. Použitá řezná rychlost = 180 m/min a otáčkový posuv byl 0,6mm. Další varianty dosahovaly drsnosti v rozmezí 0,8 – 1,3  $\mu\text{m}$ . Jediný výkyv drsností nastal u variant, při kterých byl výstružník upnut do hydraulického upínače od firmy ISCAR.



Vysvětlivka: druh vrtáku (upnutí vrtáku) + druh výstružníku (upnutí výstružníku)

(w) - upínač weldon

(RC) - RC upínací systém

(Hydro) - Hydraulický upínač od firmy Iscar

**Obr. 5.3. Drsnost Ra naměřená u jednotlivých variant**

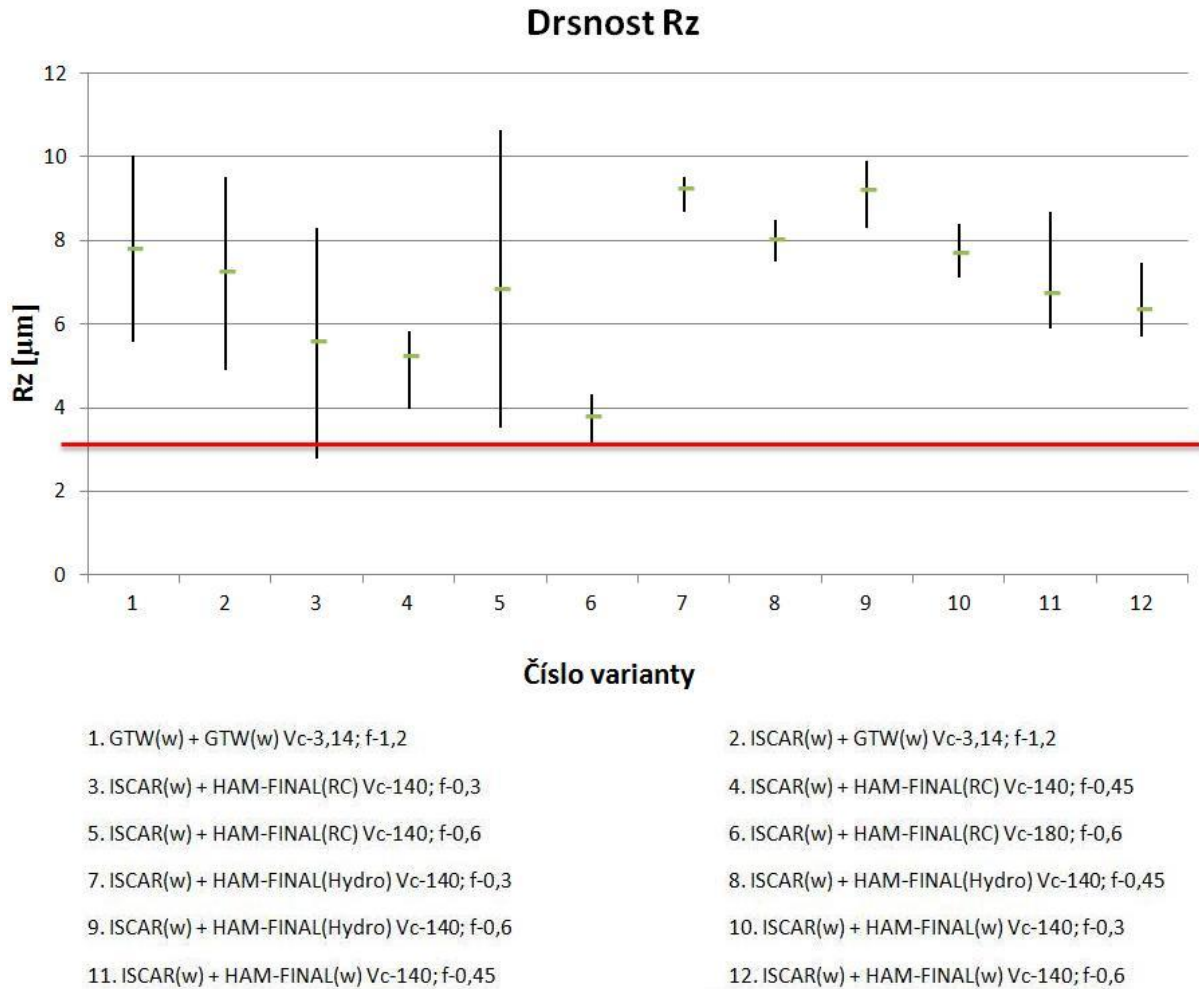


#### 5.4. Hodnocení drsnosti povrchu Rz

Na obrázku 5.4. jsou zobrazeny naměřené drsnosti Rz. Tato hodnota není uvedena na výkrese, avšak co se týče integrity povrchu, měla by být tato hodnota kontrolována. Vzhledem k tomu, že hodnota Rz není na výkrese uvedena, byla tato kritériální hodnota vypočítána pomocí převodové tabulky (příloha č. 9.) z hodnoty  $R_a = 0,8\mu\text{m}$ . Tato vypočtená hodnota je  $R_z = 3,2\mu\text{m}$ . Kritériální hodnota Rz je v grafu označena červenou čarou.

Z grafu je patrné, že ani v jednom případě nebyla naměřena hodnota  $R_z \leq 3,2\mu\text{m}$ . U variant 7., 8., 9. byla naměřená hodnota Rz až trojnásobná. Stejně jako u hodnot drsností Ra i zde 6. varianta dopadla dle naměřených hodnot nejlépe. Velikost Rz u 6. varianty byla  $3,8\mu\text{m}$  což je ale také nedostačující.

U vystružených děr jsme se při experimentování setkali se vzniklou šroubovicí, která může být příčinou vysokých hodnot drsnosti Rz. Tato šroubovice vznikla s největší pravděpodobností při výjezdu výstružníku s místa řezu. Šroubovice se nepodařilo odstranit ani zvýšením řezné rychlosti a otáčkového posuvu. Avšak u této součásti není na prvním místě vizuální stránka díry, proto je hodnota Rz a vznik šroubovice možno zanedbat.



Vysvětlivka: druh vrtáku (upnutí vrtáku) + druh výstružníku (upnutí výstružníku)

(w) - upínač weldon

(RC) - RC upínací systém

(Hydro) - Hydraulický upínač od firmy Iscar

**Obr. 5.4. Drsnost Rz naměřená u jednotlivých variant**

## 5.5. Hodnocení kruhovitosti a válcovitosti

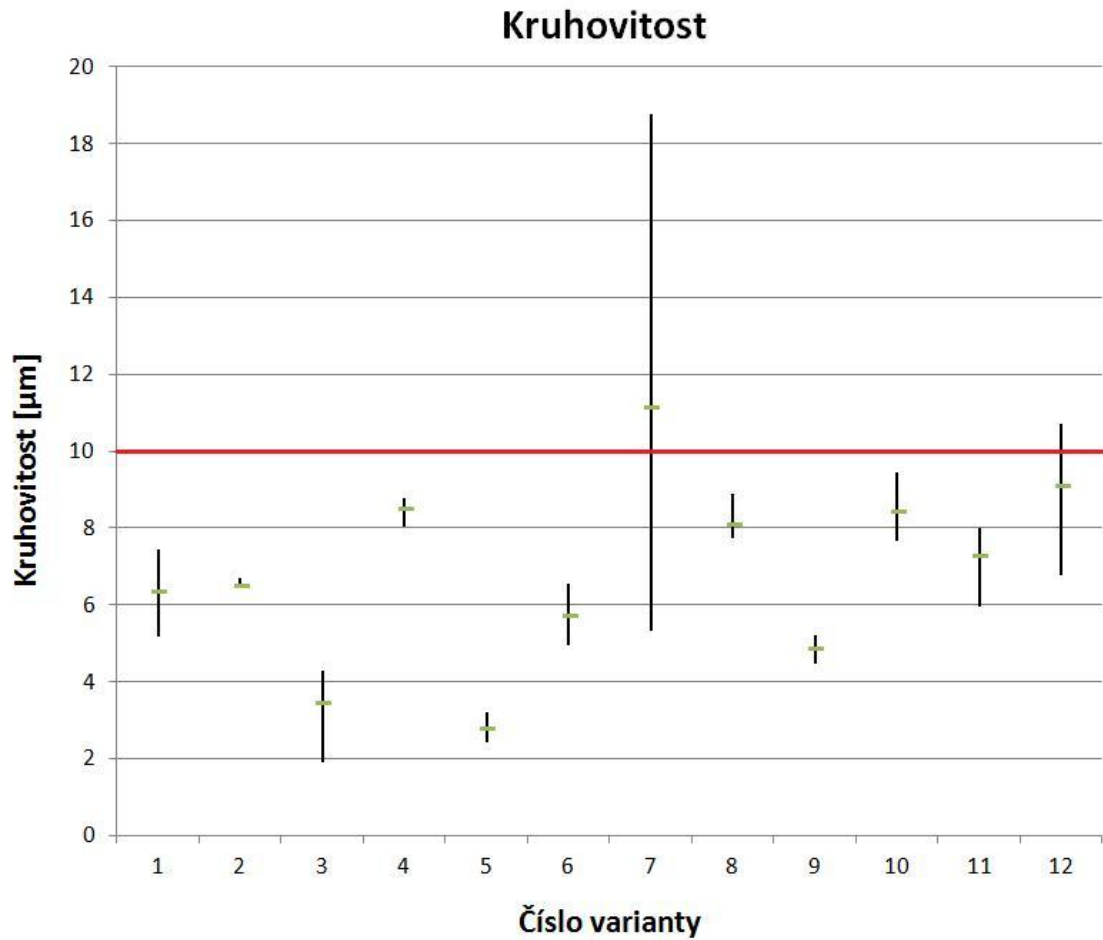
Kruhovitost a válcovitost je zobrazena na následujících grafech obr. 5.5, obr. 5.6, obr. 5.7, obr. 5.8. U každé technologické varianty je uvedena jedna hodnota kruhovitosti, která byla vypočítána jako aritmetický průměr naměřených hodnot ve třech hloubkách. Také je u jednotlivých variant uveden rozptyl měření označený černou svislou čarou. Červenou čarou je označena kritériální hodnota kruhovitosti a válcovitosti. Pod grafem je podrobná legenda jednotlivých experimentovaných variant.

Velikost kruhovitosti a válcovitosti není v reálné výrobě hodnocena, proto byla stanovena dle normy ČSN-01-4405. Dle této normy je kritériální hodnota kruhovitosti a válcovitosti = 10  $\mu\text{m}$ .

U každé měřené díry byly parametry kruhovitosti zjišťovány ve třech řezech. V návaznosti na tyto hodnoty byla vytvořena válcovitost jednotlivých děr.

Kruhovitost byla překročena u 12. varianty na vstupu díry a u 7. varianty ve středu díry. Překročení kruhovitosti u 7. varianty ve středu díry je velmi markantní. Hodnota kruhovitosti je dvakrát větší než u ostatních variant, což je mimořádné. Tato zvláštnost mohla vzniknout přítomností nečistoty v měřené díře.

Válcovitost byla vytvořena pomocí dílčích kruhovitostí díry. Z tohoto faktu je zřejmé, že 7. varianta vykazovala vysokou hodnotu válcovitosti. Nejlepší hodnoty válcovitosti vykazovaly 3.; 5.; 6.varianta, u níž byl výstružník upnut do RC upínacího systému a také 9. varianta, u které byl výstružník upnut v hydraulickém upínači od firmy ISCAR. V tomto případě je patrný vliv zvýšení otáčkového posuvu na hodnotu  $f_{ot} = 0.6\text{mm}$ .



- |  |   |
|--|---|
| 1. GTW(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2            | 2. ISCAR(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2           |
| 3. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,3    | 4. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,45    |
| 5. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,6    | 6. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-180; f-0,6     |
| 7. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,3 | 8. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,45 |
| 9. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,6 | 10. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,3     |
| 11. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,45   | 12. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,6     |

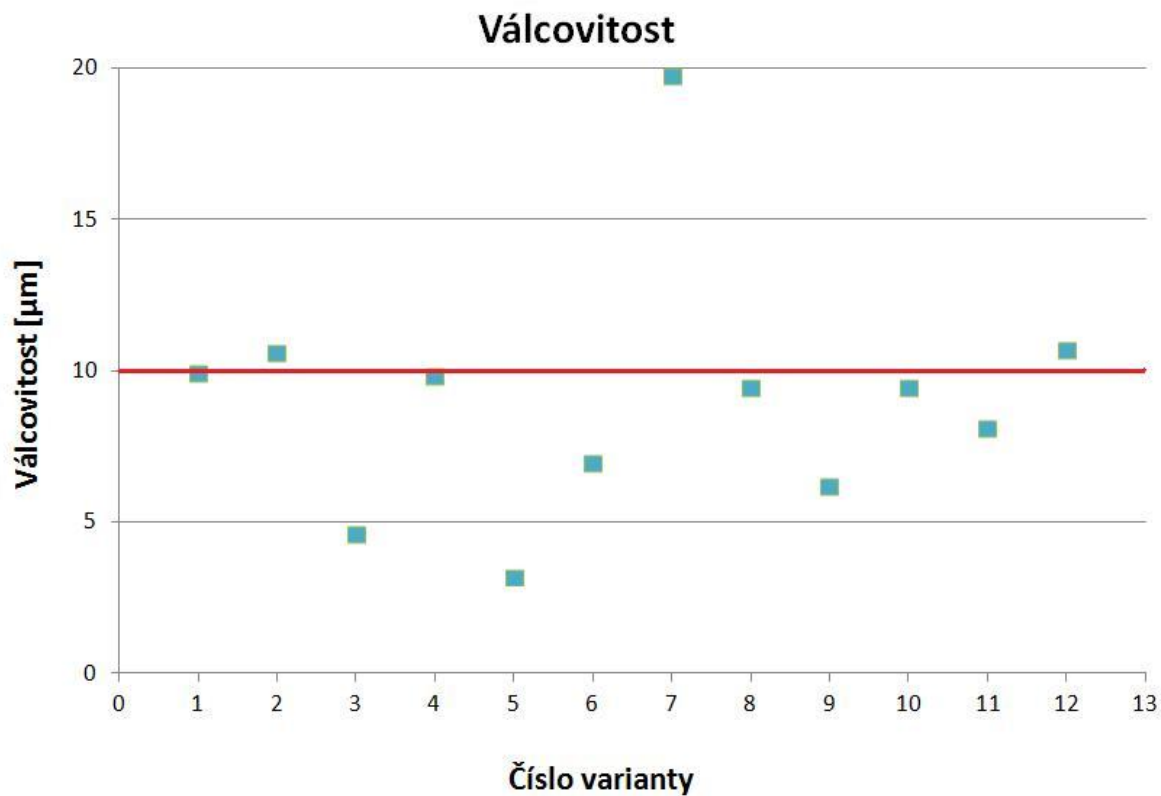
Vysvětlivka: druh vrtáku (upnutí vrtáku) + druh výstružníku (upnutí výstružníku)

(w) - upínač weldon

(RC) - RC upínací systém

(Hydro) - Hydraulický upínač od firmy Iscar

**Obr. 5.5. Kruhovitost díry u jednotlivých variant**



- |  |   |
|--|---|
| 1. GTW(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2            | 2. ISCAR(w) + GTW(w) Vc-3,14; f-1,2           |
| 3. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,3    | 4. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,45    |
| 5. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-140; f-0,6    | 6. ISCAR(w) + HAM-FINAL(RC) Vc-180; f-0,6     |
| 7. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,3 | 8. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,45 |
| 9. ISCAR(w) + HAM-FINAL(Hydro) Vc-140; f-0,6 | 10. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,3     |
| 11. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,45   | 12. ISCAR(w) + HAM-FINAL(w) Vc-140; f-0,6     |

Vysvětlivka: druh vrtáku (upnutí vrtáku) + druh výstružníku (upnutí výstružníku)

(w) - upínač weldon

(RC) - RC upínací systém

(Hydro) - Hydraulický upínač od firmy Iscar

**Obr. 5.8. Válcovitost díry u jednotlivých variant**

## 5.6. Hodnocení časové náročnosti

V této kapitole bude zhodnocena časová náročnost vybraných variant. Časová náročnost bude zhodnocena pro 1. variantu a 6. variantu. Do časové náročnosti je započítáno vrtání a vystružování. Sražení hrany díry nebude do časové náročnosti započítáno, protože je shodné pro každou variantu. Uvedené časy jsou vypočtené pro výrobu jedné díry v laboratorních podmínkách.

Popis jednotlivých variant je dostupný v kapitole 4.3. Technologický postup experimentu.

Jak jde vidět z tabulky (Tab. 5.1.) 6.varianta ušetří 26,5 sekundy oproti stávající variantě obrábění díry, která se využívá ve firmě GTW BEARINGS. Tato úspora je zapříčiněna z části větší posuvovou rychlostí a větším otáčkovým posuvem vrtáku od firmy Iscar, avšak z větší části je zapříčiněna několikanásobně větší posuvovou rychlostí výstružníku od firmy HAM-FINAL.

Bylo by vhodné vyměnit dosavadní nástroje používané ve firmě GTW BEARINGS za produktivnější nástroje ( použité v 6. variantě ) dosahující větších posuvových rychlostí. Tato změna by vedla k úspoře času a tím k produktivnější výrobě.

Časová náročnost			
Označení	Vrtání	Vystružování	Součet
1.varianta	11,5	22	33,5s
6.varianta	6	1	7s
			26,5s

Tab. 5.1. Časová náročnost vybraných variant

**Shrnutí:** Vyhodnocení výsledků naměřených u jednotlivých variant použitých v experimentu ukazuje, že všechny u všech variant byla dodržena předepsaná tolerance díry, avšak jenom u jedné varianty byla dodržena předepsaná drsnost  $Ra = 0,8\mu\text{m}$ . Přidaný parametr kruhovitosti a válcovitosti byl ve větší míře dodržen u všech variant. Tedy až na 7. variantu, u které toto překročení kruhovitosti na středu díry mohlo vzniknout výskytem nečistoty při měření.

Při experimentu bylo testováno 12 technologických variant s různými nástroji, upínači a řeznými podmínkami. Vzhledem k malému počtu zkušebních kusů nebylo možné test dvakrát či vícekrát opakovat. Výsledky nebyly plnohodnotně statisticky vyhodnoceny, a přesto ukazují určité závislosti, ze kterých se možné vyvozovat závěry.

**Doporučení:** Firmě GTW BEARINGS bych doporučil výměnu vrtáku a výstružníku za produktivnější nástroje, které by vedly k úspoře času a k přesnější výrobě s ohledem na drsnost vystružené díry.

Na univerzitě by bylo potřeba dotestovat 6. variantu, která jako jediná dosáhla průměrné hodnoty drsnosti  $Ra$  menší než  $Ra = 0,8\mu\text{m}$ . Bylo by vhodné 6.variantu podrobit dlouhodobějším testům, které by ukázaly jestli tato varianta dodržuje předepsanou toleranci a drsnost  $Ra$  i po větším množství vystružených kusů ( v řádech desítek kusů ). Při těchto testech by mohla být nadále sledována závislost opotřebení břitu na počtu vystružených kusů.

## 6. Technicko – ekonomické hodnocení

V této diplomové práci bylo otestováno 12. technologických variant. Díky těmto experimentům by mělo dojít k zefektivnění výroby ve firmě GTW BEARINGS. Do technicko – ekonomického hodnocení byly zapojeny dvě technologické varianty. První, původní varianta, která se používá ve firmě GTW BEARINGS označována v diplomové práci jako 1. varianta. Druhá technologická varianta obsahoval vrták od firmy ISCAR a výstružník od firmy HAM-FINAL. Bližší informace k jednotlivým technologickým variantám jsou napsány v kapitole (4.3. Technologický postup experimentu).

Technicko – ekonomické hodnocení bylo provedeno pomocí párové analýzy a multikriteriálního hodnocení. V první části bylo provedeno ekonomické hodnocení jednotlivých technologických variant. Byly spočítány náklady na jednotlivé varianty technologických postupů. Dále byly vybrány hodnotící kritéria, ke kterým byly přiřazeny váhy dle toho, které z kritérií je pro nás nejdůležitější. Nakonec bylo provedeno multikriteriální hodnocení a z navržených variant byla vybrána ta nejvhodnější.

### 6.1. Ekonomické hodnocení jednotlivých variant

V tabulkách níže jsou uvedeny hodnoty vlastních nákladů na vrtáky a výstružníky použité v jednotlivých variantách, doba trvání experimentu je shodně 1 hodina. V tabulkách je v neposlední řadě uveden počet vyrobených děl za hodinu práce. Tento výpočet je spíše orientační. Není ve výpočtu započítána například výměna polotovaru nebo čas výměny nástrojů apod.

#### *Vlastní náklady na výrobu:*

##### Původní technologie

Cena vrtáku GTW	3800 Kč
Cena výstružníku GTW	520 Kč
Doba trvání experimentu	1 h
Počet vyrobených děl	107 ks

**Tab. 6.1. Vlastní náklady původní technologie z GTW BEARINGS**

Celkové náklady na nástroje:  $3800 + 520 = 4320$  Kč

Celkové náklady na stoj: 1480 Kč

Celkové náklady:  $4320 + 1480 = 5800$  Kč

Cena výroby jedné díry:  $5800 / 107 = \underline{54,2}$  Kč

### Nová technologie

Cena vrtáku ISCAR	9655 Kč
Cena výstružníku HAM-FINAL	6500 Kč
Doba trvání experimentu	1 h
Počet vyrobených děr	514 ks

**Tab. 6.2. Vlastní náklady pro novou technologii**

Celkové náklady na nástroje:  $9655 + 6500 = 16155$  Kč

Celkové náklady na stoj: 1480 Kč

Celkové náklady:  $16155 + 1480 = 17635$  Kč

Cena výroby jedné díry:  $17635 / 514 = \underline{34,3}$  Kč

## 6.2. Procesní hodnocení

Při procesním hodnocení je za úkol vzájemně porovnat technické a ekonomické parametry jednotlivých variant. Prvním krokem procesního hodnocení je vlastní výběr hodnotících ukazatelů. Ty posléze budou vyhodnocené pomocí párové analýzy. Hodnoty z párové analýzy budou použity v multikriteriálním hodnocení.

### 6.2.1. Výběr hodnotících ukazatelů

Zvolená kritéria mohou být volena například z pohledu ekonomického, technického, bezpečnostního atd. V tomto případě byla volena tato kritéria:

- **Potřebný čas na obrobění 1 díry** – Součet času vrtání a vystružování díry.
- **Drsnost Ra** – velmi důležitý ukazatel při dokončovacích operacích. V tabulkách níže jsou uvedeny průměrné hodnoty naměřených drsností Ra dosažených při jednotlivých variantách.
- **Drsnost Rz** – Druhý z parametrů kvality povrchu. I tyto hodnoty jsou uvedeny jako průměr naměřených hodnot drsností Rz.
- **Cena upnutí použitých nástrojů** – Do této hodnoty byly započteny dvě ceny upínačů. Jeden upínač pro vrták. Druhý upínač pro výstružník. V obou variantách jsou použity odlišné upínače, proto je zde zahrnuto toto kritérium.
- **Přesnost vystružené díry** – Rozměrová přesnost otvoru, změřená po experimentování. Měření bylo popsáno v úvodu 5. kapitoly.
- **Vlastní náklady výroby** – Ekonomický ukazatel zahrnující cenu nástrojů a efektivitu vystružování. Hodnoty vycházejí z předešlé kapitoly.



### 6.2.2. Párová analýza

U párové analýzy se přiřazují k ukazatelům váhy, používající se pro hodnocení výrobních variant. Všechna kritéria se mezi sebou vzájemně porovnávají. Při tomto porovnání se rozhoduje, které z kritérií je důležitější a to dostane v tabulce číselnou hodnotu 1 a naopak. Po vyplnění celé tabulky se poté sečtou v jednotlivých řádcích hodnoty v políčkách. Tímto způsobem vznikne seřazená tabulka od nejdůležitějšího až po nejméně důležité kritérium.

	Cena upnutí výstružníku	Čas obrobění 1 díry	Dosažená drsnost Ra	Dosažená drsnost Rz	Dosažená přesnost díry	Vlastní náklady	Pořadí	Váha
Cena upnutí výstružníku	x	1	1	1	0	1	2	5
Čas obrobění 1 díry	0	x	0	1	0	0	5	2
Dosažená drsnost Ra	0	1	x	1	0	0	4	3
Dosažená drsnost Rz	0	0	0	x	0	0	6	1
Dosažená přesnost díry	1	1	1	1	x	1	1	6
Vlastní náklady	0	1	1	1	0	x	3	4

Tab. 6.3. Párová analýza ukazatelů

### 6.2.3. Multikriteriální hodnocení variant

Pro výběr nejvhodnější varianty z technicko – ekonomického pohledu bylo použito multikriteriální hodnocení variant. Níže je uvedena tabulka s příslušnými hodnotami obou variant.

Kritéria	GTW	Ham-final
Cena upnutí výstružníku + vrtáku	nízká	vysoká
Čas obrobění 1 díry [s]	33,5	7
Dosažená drsnost Ra [ $\mu\text{m}$ ]	1,046	0,532
Dosažená drsnost Rz [ $\mu\text{m}$ ]	7,82	3,798
Dosažená přesnost díry [mm]	velmi dobrá	dobrá
Vlastní náklady [mm]	54,2	34,3

Tab. 6.4. Hodnocení kritérií pro jednotlivé varianty

Pro danou variantu se pro každé kritérium přiřadí hodnota od 10 až 100 bodů dle hodnot z tabulky 6.4. Tyto hodnoty jsou poté vynásobeny příslušnou váhou kritéria. Výsledná hodnota užitečnosti je součtem dílčích vážených hodnot jednotlivých kritérií. Pro lepší přehlednost jsou výsledky uvedeny jako relativní užitečnost v procentech.

Kritéria	Pořadí	Váha	GTW		Ham/final	
			Prostá hodnota	Vážená hodnota	Prostá hodnota	Vážená hodnota
<i>Cena upnutí výstružníku</i>	2	5	100	500	30	150
<i>čas obrobení 1 díry</i>	5	2	20	40	100	200
<i>Dosažená drsnost Ra</i>	4	3	20	60	100	300
<i>Dosažená drsnost Rz</i>	6	1	20	20	100	100
<i>Dosažená přesnost díry</i>	1	6	100	600	80	480
<i>Vlastní náklady</i>	3	4	60	240	100	400
<i>Výsledná hodnota užitečnosti</i>	21*100 = 2100		<b>1460</b>		<b>1630</b>	
<i>Relativní využitelnost variant</i>			<b>70%</b>		<b>78%</b>	

Tab. 6.5. Multikriteriální analýza

### **Shrnutí technicko – ekonomického hodnocení:**

Z multikriteriální analýzy je patrné, že efektivnějším způsobem obrábění díry Ø20H7 je pomocí nové technologie, která obsahuje vrták od firmy ISCAR upnutí do hydraulického upínače a výstružník od firmy HAM-FINAL upnutý do RC upínacího systému. Tato varianta dosáhla 78% relativní využitelnosti. Tento výsledek je zapříčiněn vyššími reznými podmínkami, které mají za následek nižší dobu na obrobení jedné díry. Tyto podmínky ovlivňují i vlastní náklady výroby, u kterých se počítá s množstvím vyrobených děr. Negativně tuto variantu ovlivňuje cena použitých nástrojových upínačů, která může být v praxi přijata negativně.

Přestože výsledky původní technologie nevyšly špatně v porovnání s novou variantou, tak při této technologické variantě nebyla dosažena požadovaná drsnost povrchu, která je u vystružování v mnoha případech zásadní a čas na obrobení jedné díry byl 6krát větší než u nové varianty.

Dá se předpokládat, že nová technologická varianta by v praxi dosahovala lepších výsledků než - li je tomu v této době. Tento předpoklad by bylo nutné ověřit přímo v praxi. Na tento test nebylo v rámci magisterského studia bohužel dostatek času.

## 7. Závěr

V této diplomové práci je řešena problematika výroby přesných děr pomocí technologie vystružování. Jsou zde popsány faktory ovlivňující vystružovanou díru a jejich dopad na vystružování. Mezi tyto faktory byly zařazeny: řezný nástroj, řezné podmínky a řezné prostředí.

Tato diplomová práce je rozdělena na dvě části. První část se zabývá teoretickými znalostmi technologie vystružování a faktory ovlivňující vystružování. Druhá část je praktická. V této části je rozebrán současný stav výroby zkoumané díry Ø20H7 ve firmě GTW BEARINGS. Dále byl na základě výsledků naměřených ve firmě GTW BEARINGS navrhnout experiment obsahující 12. technologických variant. Tyto varianty se od sebe lišily použitými nástroji, upínači a odlišnými řeznými podmínkami. Při experimentu byla hledána nejvhodnější technologická varianta pro obrábění díry Ø20H7. Na konci diplomové práce bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení vybraných variant.

V úvodu diplomové práce byly stanoveny cíle, které byly v průběhu vypracování splněny, jedná se konkrétně:

- rozbor vlivu vystružovacího nástroje na proces vystružování.
- rozbor řezných podmínek a řezného prostředí na proces vystružování.
- zmapování současné výroby díry Ø20H7 ve firmě GTW BEARINGS.
- změření a vyhodnocení vybraných parametrů díry dosáhnutých výchozí technologií firmy.
- navrhnout a provést experiment.
- vyhodnotit experiment a zhodnotit efektivitu nových variant.

Při testování byly zvoleny dvě hlavní kritéria obrábění. Tolerance vystružené díry (H7) a drsnost díry ( $R_a = 0,8\mu\text{m}$ ). U všech vystružených děr byla dodržena předepsaná tolerance. U některých variant byl naměřen velký rozptyl hodnot průměru díry. Všechny navržené technologické varianty zlepšily kvalitu povrchu  $R_a$  oproti výsledkům naměřeným přímo ve firmě GTW BEARINGS. Hodnoty drsnosti  $R_a$  naměřené v GTW BEARINGS se pohybovaly v rozmezí  $4\div 6\mu\text{m}$ . Navržené varianty dosahovaly drsností  $R_a 1\div 2\mu\text{m}$ . Nicméně jenom jedna z testovaných variant (6. varianta) dodržela předepsanou drsnost  $R_a = 0,8\mu\text{m}$ . Dále tato varianta významně zvýšila produktivitu obrábění díry Ø20H7. Časová úspora činila 26,5 sekund (na výrobu jedné díry) oproti technologii používané ve firmě GTW BEARINGS.

Na základě vyhodnocení uvedeném v této diplomové práci by bylo vhodné použít ve firmě GTW BEARINGS 6. variantu, při které se pro vrtání využije vrták od firmy ISCAR upnutý do weldon upínače a výstružník od firmy HAM-FINAL upnutý v RC upínací hlavici používající tyto řezné podmínky ( $v_c = 180\text{m/min}$  a  $f = 0,6\text{ mm}$ ).

Tato varianta by měla projít dalšími testy, které by ověřily spolehlivost těchto produktivních nástrojů a jejich trvanlivost. Na tyto testy při řešení této diplomové práci nebylo dostatek času.

## 7. Použitá literatura

### 7.1. Knižní publikace

[14] MÁDL, Jan. Technologie obrábění. 1. vydání, dotisk. Praha: ČVUT, 2000, 79 s. ISBN 80-010-2091-6.

### 7.2. Publikace na internetu

[1] HAM-FINAL. In: HAM-FINAL [online]. [2002] [cit. 2013-11-21]. Dostupné z: [http://www.ham-final.cz/?page=o\\_firme](http://www.ham-final.cz/?page=o_firme)

[2] *T-support* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.t-support.cz/t-support/data/resources/Image/old/rezne\\_11c.jpg](http://www.t-support.cz/t-support/data/resources/Image/old/rezne_11c.jpg)

[3] Upínače stopkových nástrojů. In: *Mmspektrum.com* [online]. 23.04.2008 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/upinace-stopkovych-nastroju.html>

[4] PECHÁČEK, Miroslav. Vliv řezných kapalin na výsledky obrábění. Zlín, 2009. Dostupné z: [https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8911/pech%C3%A1%C4%8Dek\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8911/pech%C3%A1%C4%8Dek_2009_bp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Ondřej Bílek.

[5] Srovnáváme. *Srovnáváme* [online]. 2015 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.srovnave.cz/popup.php?action=img-xxl-b&img-src=http://www.kovetools.cz/data/pics/5539.jpg&b\\_ID=2083615](http://www.srovnave.cz/popup.php?action=img-xxl-b&img-src=http://www.kovetools.cz/data/pics/5539.jpg&b_ID=2083615)

[6] *TNTRADE* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.tntrade.cz/221430-14-h11-vystruznik-pr-14x160-47mm-h11-strojni-s-valcovou-stopkou-hss\\_ies407400.jpg](http://www.tntrade.cz/221430-14-h11-vystruznik-pr-14x160-47mm-h11-strojni-s-valcovou-stopkou-hss_ies407400.jpg)

[7] Řehoř, Jan. Přednášky z EMO. Plzeň, ZČU, akademický rok 2010/2011.

[8] *Taylor-Hobson* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.taylor-hobson.com/uploads/downloads/products/Talyrond\\_565H\\_585H\\_Highres\\_EN-web.pdf](http://www.taylor-hobson.com/uploads/downloads/products/Talyrond_565H_585H_Highres_EN-web.pdf)

[9] *Komet group* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [www.kometgroup.com/pdf/dihart-cz.pdf](http://www.kometgroup.com/pdf/dihart-cz.pdf)

[10] NEPRÁŠEK, Martin. Technologie výroby vysoce přesných otvorů vystružováním. Plzeň, 2012/2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.

[11] DLOUHÝ, Michal. Technologické aspekty přesnosti obráběcího procesu. Brno, 2009. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16019](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16019).

Diplomová práce. Vysoké učení technické Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

[12] *Mapal* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [www.mapal.com](http://www.mapal.com)

[13] *MM průmyslové spectrum* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/15/1538.jpg>

[14] *Sandvik coromant* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/reaming/how\\_to\\_apply/stock\\_removal/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/reaming/how_to_apply/stock_removal/pages/default.aspx)

[15] HUMÁR, Anton. Technologie I: Technologie obrábění - 2.část. Brno, 2004. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf). Rešerže. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Anton Humár, CSc.

[16] OBR, Lukáš. Vliv geometrie ostří výstružníků na obrábění otvorů. Zlín, 2010. Dostupné z: <https://dspace.k.utb.cz/handle/10563/11313>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Josef Hrdina.

[17] *Exapro* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.exapro.de.com/heller-bea-2-pe128363/>

[18] PLÁNIČKA, František. Výstružníky ze špičkových materiálů zvyšují produktivitu. In: [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [online]. 2007 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vystruzniky-ze-spickovych-materialu-zvysuji-produktivitu.html>

[19] Není vrtání jako vrtání. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/neni-vrtani-jako-vrtani.html>

[20] BRABENEC, Petr. Konstrukce komparačního měřidla pro měření nástrojů. Brno, 2008. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=4736](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=4736). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Pavel Ždímal, CSc.

[21] *Mikrotex: Prodej a servis měřící techniky* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.mikrotex.cz/Mahr/drsnomery-Ma.pdf>

[22] *Machinen- und apparatebau* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.wapfeiffer.de/>

[23] *Bolzano* [online]. 2015. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-34crnimo6>

[24] MATOUŠ, Bc. Pavel. Technická ilustrace a animace nástrojového systému HAM-FINAL RC pro praktické použití. Plzeň, 2014. Dostupné také z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/15062/DP%20matous.pdf?sequence=1>.  
Diplomová práce.

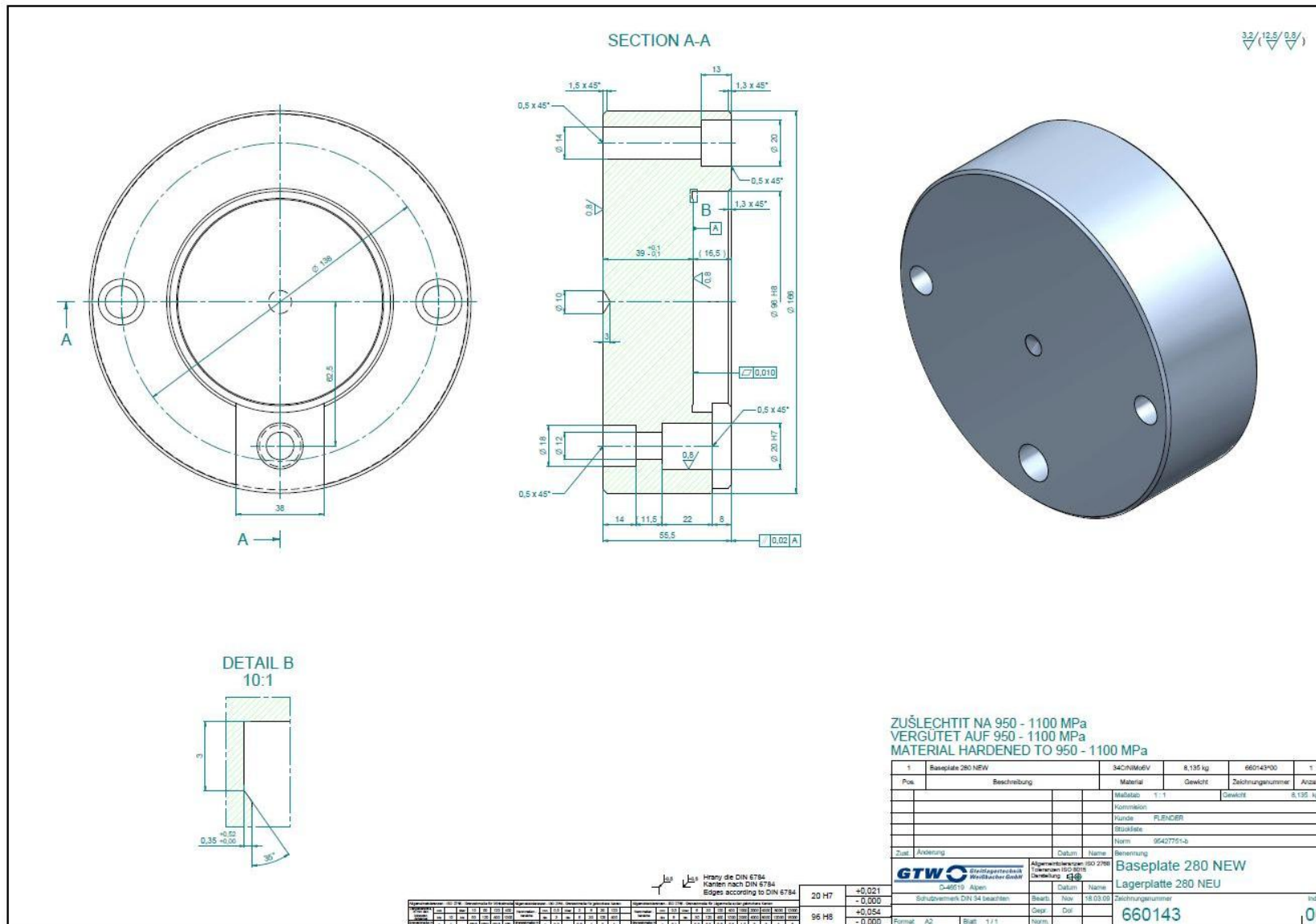
[25] FIALA, Stanislav a Petr HLADÍK. Cermetové výstružníky. MM Průmyslové spektrum[online]. 14. 4. 2004, [vid. 2011-11-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cermetove-vystruzniky.html>

## Seznam příloh

Příloha č.1 - Výkres součásti .....	I
Příloha č.2 – Parametry obráběcího stroje .....	III
Příloha č.3 – Drsnoměr Mahr-Marsurf M300 .....	V
Příloha č.4 – Naměřené hodnoty z prvního měření v GTW BEARINGS.....	VII
Příloha č.5 – Parametry stroje DMU 65 monoblock.....	IX
Příloha č.6 – Výkres výstružníku z firmy HAM-FINAL .....	XI
Příloha č.7 – Experiment – naměřené hodnoty .....	XIII
Příloha č.8 – Parametry stroje Taylor Hobson – Talyrond 585H .....	XVIII
Příloha č.9 – Tabulka převodů mezi drsností Ra a Rz .....	XX

## Příloha č.1 - Výkres součásti





Obr 1 - Výkres součásti Baseplate 280 NEW

## Příloha č.2 – Parametry obráběcího stroje



Obr. II - Obráběcí centrum Heller bea 2 [17]

<b><i>Druh:</i></b>	Obráběcí centrum
<b><i>Typ stroje:</i></b>	Heller Bea 2
<b><i>Rok výroby:</i></b>	1991
<b><i>Výkon pohonu (N):</i></b>	320
<b><i>Rozsah otáček vřetene (ot./min.):</i></b>	6000 – variabilní
<b><i>Rozsah pracovních posuvů (mm/min.):</i></b>	50m – variabilní
<b><i>Druh upínání:</i></b>	ISO/SK 50
<b><i>Poloha vřetene:</i></b>	Horizontální
<b><i>Nástroj:</i></b>	Rotující

## Příloha č.3 – Drsnoměr Mahr-Marsurf M300



Obr. III - Drsnoměr Mahr-MarSurf M300 [21]

<b>Měřicí princip:</b>	profilová metoda
<b>Rozsah měření:</b>	do 350 $\mu$ m
<b>Měrná jednotka:</b>	mm/inch
<b>Rozlišení profilu:</b>	90 $\mu$ m, 180 $\mu$ m, 350 $\mu$ m
<b>Snímané délky:</b>	1,75, 5,6, 17,5mm
<b>Počet jednotlivých snímaných délek:</b>	1-5
<b>Parametry DIN/ISO:</b>	Ra, Rq, Rz, Rmax, Rp, Rpk, Rk, Rvk, Rv
<b>Rozhraní:</b>	USB, MarConnect
<b>Teplotní rozsah pro měření:</b>	+5°C až +40°C
<b>Relativní vlhkost vzduchu:</b>	30 % až 85 %
<b>Rozměry (d x š x v):</b>	190 x 140 x 75 mm
<b>Hmotnost:</b>	cca. 1 kg

- Tolerance jsou ukazovány na displeji a zaznamenávány do protokolu

## Příloha č.4 – Naměřené hodnoty z prvního měření v GTW BEARINGS

Naměřené hodnoty:

Nástroj: HSS výstružník									
Průměr otvoru: Ø20									
Tolerance: H7									
Číslo otvoru	Hloubka					Aritmetický průměr	Drsnost - Ra		Aritmetický průměr
	5mm		Aritmetický průměr	15mm					
1	20,025	20,025	20,025	20,005	20,01	20,0075	4,063	3,678	3,8705
2	20	20,005	20,0025	20,005	20,01	20,0075	2,694	2,909	2,8015
3	20	20	20	20,005	20,005	20,005	2,536	2,63	2,583
4	19,725	19,73	19,7275	20,005	20,005	20,005	4,098	3,784	3,941
5	20,005	20,01	20,0075	20,005	20,01	20,0075	3,198	2,923	3,0605
6	20	20,005	20,0025	20,005	20,01	20,0075	3,041	3,087	3,064
7	20	20	20	20,005	20,01	20,0075	6,114	6,535	6,3245
8	20,015	20,015	20,015	20,02	20,015	20,0175	1,077	1,087	1,082
9	20	20,005	20,0025	20,005	20,005	20,005	2,653	2,202	2,4275
10	20,005	20,005	20,005	20,005	20,01	20,0075	4,254	3,495	3,8745
11	20,005	20,005	20,005	20,005	20,01	20,0075	2,956	2,833	2,8945
12	20,01	20,01	20,01	20,015	20,02	20,0175	2,841	2,693	2,767
13	19,995	20,005	20	20,005	20,01	20,0075	2,348	2,421	2,3845
14	20,005	20	20,0025	20	20,005	20,0025	3,733	3,84	3,7865
15	20	20,005	20,0025	20,005	20,01	20,0075	3,322	3,233	3,2775
16	20,005	20,005	20,005	20,005	20,01	20,0075	3,233	3,425	3,329
17	20	20	20	20,005	20,01	20,0075	2,19	2,863	2,5265
18	20,005	20,01	20,0075	20,01	20,01	20,01	3,201	3,103	3,152
19	20,005	20,005	20,005	20,005	20,01	20,0075	2,739	2,549	2,644
20	20,015	20,005	20,01	20,005	20,005	20,005	3,99	3,797	3,8935

## Příloha č.5 – Parametry stroje DMU 65 monoblock

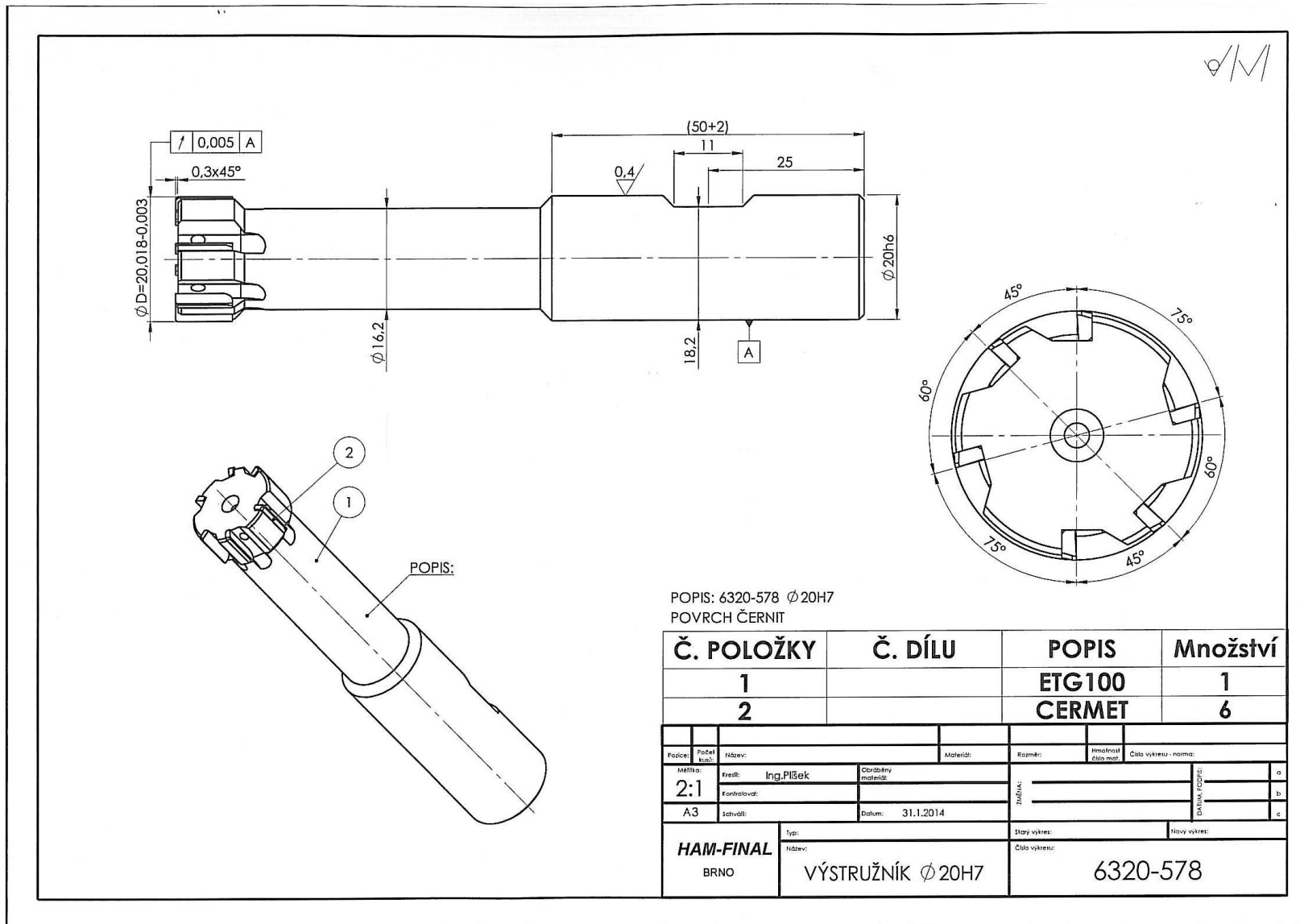




Obr. IV - DMU 65 monoblock [22]

<b><i>Druh stroje:</i></b>	5-ti osé centrum
<b><i>Počet řízených os:</i></b>	5
<b><i>Výkon pohonu [kW]:</i></b>	21
<b><i>Rozsah otáček vřetene [ot./min.]:</i></b>	20-14000
<b><i>Rychloposuv [m/min.]:</i></b>	24
<b><i>Velikost upínacího stolu [mm]:</i></b>	700x500
<b><i>Revolverová hlava:</i></b>	16 nástrojů
<b><i>Operační systém:</i></b>	Siemens 840D
<b><i>Tlak vnitřního chlazení [bar]:</i></b>	40

## Příloha č.6 – Výkres výstružníku z firmy HAM-FINAL



Obr. V – Cermetový výstružník od firmy Ham-final

## Příloha č.7 – Experiment – naměřené hodnoty

1.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,01	20,015	20,0125	20,015	20,01	20,0125
2	20,01	20,005	20,0075	20,015	20,015	20,015
3	20,01	20,015	20,0125	20,01	20,01	20,01
4	20,01	20,015	20,0125	20,015	20,01	20,0125
5	20,015	20,01	20,0125	20,01	20,01	20,01
6	20,005	20,01	20,0075	20,015	20,01	20,0125
7	20,01	20,015	20,0125	20,01	20,015	20,0125

2.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,02	20,02	20,02	20,02	20,02	20,02
2	20,02	20,02	20,02	20,02	20,02	20,02
3	20,02	20,02	20,02	20,015	20,02	20,0175
4	20,02	20,02	20,02	20,015	20,015	20,015
5	20,015	20,02	20,0175	20,015	20,015	20,015
6	20,015	20,015	20,015	20,015	20,01	20,0125
7	20,02	20,02	20,02	20,015	20,015	20,015

3.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,02	20,02	20,02	20,015	20,02	20,0175
2	20,01	20,01	20,01	20,015	20,015	20,015

4.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,015	20,02	20,0175	20,02	20,02	20,02
2	20,02	20,015	20,0175	20,02	20,02	20,02
3	20,015	20,02	20,0175	20,015	20,015	20,015
4	20,015	20,015	20,015	20,02	20,02	20,02
5	20	20,005	20,0025	20,01	20,01	20,01

5.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,015	20,015	20,015	20,015	20,02	20,0175
2	20,015	20,015	20,015	20,02	20,015	20,0175
3	20,015	20,015	20,015	20,01	20,015	20,0125
4	20,01	20,015	20,0125	20,01	20,015	20,0125
5	20,015	20,015	20,015	20,01	20,01	20,01

6.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,02	20,02	20,02	20,015	20,02	20,0175
2	20,015	20,015	20,015	20,02	20,015	20,0175

7.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,015	20,015	20,015	20,015	20,01	20,0125
2	20,01	20,01	20,01	20,01	20,01	20,01

8.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,01	20,015	20,0125	20,01	20,015	20,0125
2	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015

9.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015
2	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015
3	20,01	20,015	20,0125	20,01	20,015	20,0125

10.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,02	20,015	20,0175	20,02	20,02	20,02
2	20,02	20,02	20,02	20,015	20,02	20,0175

11.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,02	20,02	20,02	20,015	20,015	20,015
2	20,02	20,02	20,02	20,015	20,02	20,0175
3	20,02	20,02	20,02	20,02	20,02	20,02

12.varianta		Průměr díry [mm]				
číslo díry	Hloubka - 5mm		Průměrná hodnota	Hloubka 15mm		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015
2	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015	20,015

1.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,983	0,955	0,969	8,257	7,622	7,9395
2	1,168	1,237	1,2025	8,217	8,223	8,22
3	1,579	1,443	1,511	10,03	9,87	9,95
4	0,982	0,644	0,813	7,144	5,57	6,357
5	1,116	0,996	1,056	8,192	7,232	7,712
6	0,788	0,712	0,75	7,309	6,767	7,038
7	1,003	1,043	1,023	7,24	7,771	7,5055

2.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,996	1,114	1,055	8,068	9,522	8,795
2	0,885	1,103	0,994	6,753	7,863	7,308
3	1,067	0,979	1,023	6,804	6,935	6,8695
4	0,884	1,107	0,9955	6,636	7,064	6,85
5	0,718	0,728	0,723	6,297	4,911	5,604
6	1,168	0,987	1,0775	8,719	7,498	8,1085
7	0,889	0,984	0,9365	7,251	7,645	7,448

3.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,506	0,552	0,529	2,781	3,06	2,9205
2	1,376	1,378	1,377	8,274	8,303	8,2885

4.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,713	0,657	0,685	3,972	4,093	4,0325
2	0,813	0,858	0,8355	5,829	5,496	5,6625
3	0,874	0,907	0,8905	5,718	5,296	5,507
4	0,998	0,971	0,9845	5,541	5,598	5,5695
5	0,925	0,963	0,944	5,527	5,48	5,5055

5.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,67	0,603	0,6365	5,203	4,756	4,9795
2	0,586	0,596	0,591	3,528	3,744	3,636
3	1,988	2,261	2,1245	8,5	10,63	9,565
4	1,33	1,346	1,338	7,459	7,422	7,4405
5	1,315	1,332	1,3235	8,563	8,695	8,629

6.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,532	0,5	0,516	3,435	3,178	3,3065
2	0,572	0,527	0,5495	4,245	4,335	4,29

7.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	2,23	2,03	2,13	9,528	9,417	9,4725
2	1,708	1,755	1,7315	9,387	8,698	9,0425

8.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	1,522	1,406	1,464	7,959	7,506	7,7325
2	1,356	1,477	1,4165	8,253	8,482	8,3675

9.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	1,632	1,582	1,607	9,916	9,903	9,9095
2	1,816	1,97	1,893	8,312	9,42	8,8645
3	1,779	1,901	1,84	9,069	8,771	8,92

10.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	1,036	1,055	1,0455	7,105	7,899	7,502
2	1,238	0,943	1,0905	8,391	7,459	7,925

11.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,848	0,868	0,858	7,112	6,449	6,7805
2	0,898	1,055	0,9765	6,26	8,69	7,474
3	0,725	0,737	0,731	5,88	6,181	6,0305

12.varianta		Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]				
číslo díry	Drsnost Ra		Průměrná hodnota	Drsnost Rz		Průměrná hodnota
	1	2		1	2	
1	0,93	0,811	0,8705	7,456	5,747	6,6015
2	0,814	0,704	0,759	6,575	5,7	6,1375



## Příloha č.8 – Parametry stroje Taylor Hobson – Talyrond 585H

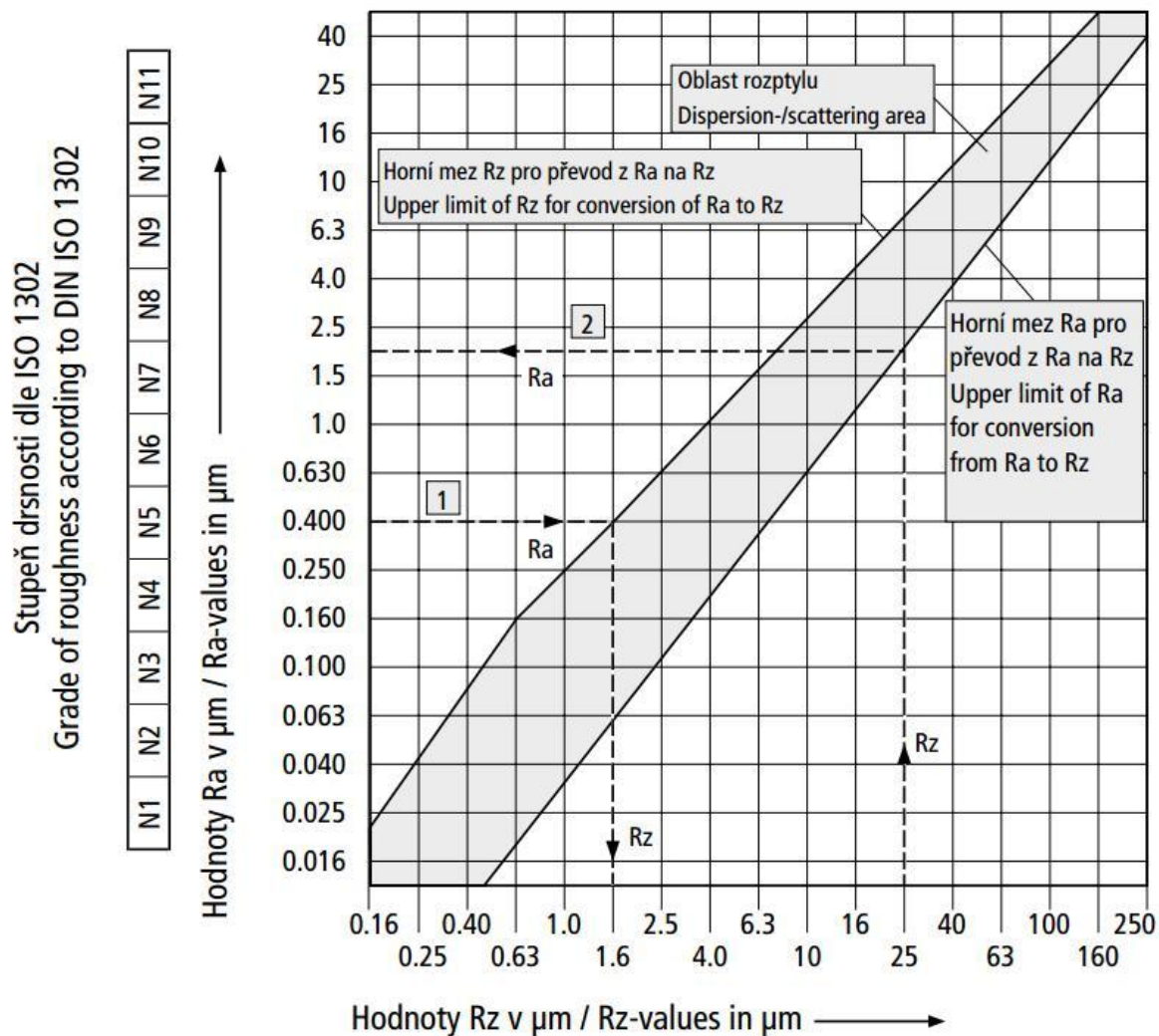


Obr. XI – Talyrond 585H [8]

<b>Typ stroje:</b>	Talyrond 585H
<b>Rozměry stroje [mm]:</b>	1920 x 890 x 2275
<b>Maximální váha komponentu [Kg]:</b>	75
<b>Maximální průměr komponentu [mm]:</b>	Ø400
<b>Maximální měřený průměr [mm]:</b>	Ø350
<b>Radiální přesnost [µm]:</b>	±0.01
<b>Měřená drsnost [µm]:</b>	méně než 0.1
<b>Teplota při měření [°C]:</b>	10 – 35°

## Příloha č.9 – Tabulka převodů mezi drsností Ra a Rz

## Vztahy pro přepočty mezi Ra a Rz podle DIN 47 Conversion-relations between Ra and Rz according to DIN 47



Obr. VII – Tabulka převodů drsnosti