

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie - obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Aplikace výstružníků s břity z cermetu pro produktivní obrábění
hydraulického komponentu

Autor: **Bc. Daniel Rut**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan Řehoř, PhD.**

Akademický rok 2014/2015

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“.

Tímto bych chtěl poděkovat všem konzultantům, ať už oficiálním či neoficiálním, kteří se svými radami podíleli na zpracování této práce. Jmenovitě Ing. Jaroslavě Fulemové z Katedry technologie obrábění Západočeské univerzity, za pravidelnou pomoc a ochotu v průběhu řešení práce. Dále panu Dušanu Babincovi ze společnosti Danfoss Power Solutions v Považské Bystrici za ochotu a spolupráci při získávání podkladů pro vyhodnocování dat z výroby dané komponenty. Dále panu Vladimíru Vaňkovi ze společnosti HAM-FINAL za rady a připomínky v dané problematice.

V neposlední řadě pak doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D, jednak za poskytnuté rady a vedení této práce, zároveň i za uvedení a zapojení do projektu SGS řešící danou problematiku.

Za podporu nejen během celého studia, ale i během dosavadního života, pak děkuji celé své rodině.

Tady bude zadání DP

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení RUT	Jméno Daniel		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 – „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. ŘEHOŘ, PhD.		Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Aplikace výstružníků s břity z cermetu pro produktivní obrábění hydraulického komponentu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	89	TEXTOVÁ ČÁST	71	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato diplomová práce je zaměřena na oblast vystružování z hlediska hydraulických komponent. Teoretická část pojednává o řezných materiálech a nutnosti přesné výroby děr v hydraulických komponentech. Praktická část je zaměřena na přínosy aplikace cermetových výstružníků pro sériovou výrobu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p>	<p style="text-align: center;">Vystružování, hydromotory, cermety</p>

SUMMARY OF BACHELOR THESIS

AUTHOR	Surname RUT	Name Daniel	
FIELD OF STUDY	N2301 – „Manufacturing Process – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. REHOR, PhD.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Application of reamers with plates from cermet for productive machining of hydraulic component		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	89	TEXT PART	71	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This Master's thesis is focused on reaming from the perspective of hydraulic components. Theoretical part deals with cutting materials and the importance of precise holes in hydraulic components. The practical part is focused on describing the benefits of application of the reamers of cermets for serial production.
KEY WORDS	Reaming, Fluid pistons, Cermets

Obsah

Obsah.....	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod.....	10
2. Vystružování	11
2.1 Vystružování.....	11
2.2 Vystružovací nástroje	11
2.3 Geometrie výstružníku	12
3. Řezné materiály.....	13
3.1 Rychlořezná ocel	13
3.1.1 Povlakované rychlořezné oceli.....	14
3.2 Slinuté karbidy.....	17
3.2.1 Povlakované slinuté karbidy	18
3.2.2 Předdepoziční úpravy	18
3.3 Cermety	20
3.4 Diamant	23
3.5 Kubický nitrid boru	24
4. Hydraulické systémy.....	25
4.1 Hydrostatické převody.....	25
4.2 Hydrostatické obvody.....	25
4.3 Vystružování při výrobě hydraulických komponent	26
5. Společnost Sauer-Danfoss a. s.	28
5.1 Přehled vyráběných typů servoventilů	28
5.2 Obráběná součást	31
5.3 Polotovary.....	32
5.4 Kontrola součástí	33
5.5 Obráběcí pracoviště	35
5.6 Upnutí obrobku.....	36
6. Rozbor původní technologie	37
6.1 Technologický postup.....	38
6.2 Výstružník ANAJ	39
6.3 Dosahované výsledky	39

6.3.1	Úvod.....	39
6.3.2	Průměr a válcovitost.....	39
6.3.3	Drsnost	41
6.3.4	Shrnutí	45
7.	Nová technologie – aplikace cermetového výstružníku	46
7.1	Technologický postup.....	47
7.2	Výstružník HAM – FINAL	48
7.3	Dosahované výsledky	49
7.3.1	Úvod.....	49
7.3.2	Průměr a válcovitost.....	49
7.3.3	Drsnost	51
7.3.4	Shrnutí	54
8.	Přínosy nové technologie	55
8.1.1	Řezný materiál.....	55
8.1.2	Počet zubů na výstružníku.....	58
8.1.3	Vnitřní přívod chladicí kapaliny	58
9.	Technicko-ekonomické hodnocení	60
9.1	Technické hodnocení	60
9.1.1	Přínos kvalitativní	60
9.1.2	Přínos kvantitativní	61
9.2	Ekonomické hodnocení	63
9.2.1	Ekonomické hledisko - náklady na nástroje.....	63
9.2.2	Ekonomické hledisko - náklady na stroj	64
9.2.3	Ekonomické hledisko – úspora mzdy.....	65
9.3	Celkové zhodnocení	66
10.	Závěr.....	67
	Zdroje a použitá literatura	69
	Seznam příloh.....	71

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka veličiny, symbol	Jednotka	Název – popis
SK	-	Slinutý karbid
WC	-	Karbid wolframu
Co	-	Kobalt
HV	-	Tvrдость dle Vickerse
HRC	-	Tvrдость podle Rockwella
EDC	-	Electrical Displacement Control
FNR	-	Forward-Neutral-Reverse control
NFPE	-	Non-feedback Proportional Displacement Control
AC	-	Automotive Control
MDC	-	Manual Displacement Control
FDC	-	Fan Displacement Control
Ra	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
Rk	[μm]	Základní hloubka
Rpk	[μm]	Redukovaná výška špiček – střední výška špiček profilu, vyčnívající z profilu drsnosti jádra
Rz	[μm]	Výška profilu daná deseti body
HMR	-	Horní mezní rozměr
DMR	-	Dolní mezní rozměr
CBN	-	Kubický nitrid boru
CVD	-	Chemical vapor deposition
PVD	-	Physical vapor deposition
f_z	[mm/z]	Posuv na zub
f_{min}	[mm/min]	Posuv minutový
v_f	[mm/min]	Posuvová rychlost
n	[1/min]	Otáčky
HSS	-	Rychlořezná nástrojová ocel
HSSE	-	Rychlořezná nástrojová ocel s kobaltem
HSSE-PM	-	Rychlořezná nástrojová ocel vyráběná práškovou metalurgií
SW	-	Software

\bar{x}	-	Průměr průměrů
$\langle T \rangle$	-	Rozměr v toleranci
$\rangle T \langle$	-	Rozměr mimo toleranci
t_{A1}	[min]	Čas vystružování pro ANAJ
t_{A2}	[min]	Čas pro zpětný posuv výstružníku ANAJ
t_{H-F1}	[min]	Čas vystružování pro HAM-FINAL
t_{H-F2}	[min]	Čas pro zpětný posuv výstružníku HAM-FINAL
t_{ks}	[min]	Úspora času na jeden obrobený kus
t_{obrA}	[min]	Čas vystružování za směnu výstružníku ANAJ
t_{obrH-F}	[min]	Čas vystružování za směnu výstružníku HAM-FINAL
k_{H-F}	[ks]	Počet kusů vyrobených za směnu HAM-FINAL
t_{rok}	[min]	Roční časová úspora
γ_o	[°]	Úhel čela
α_o	[°]	Úhel hřbetu
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
κ_r^c	[°]	Úhel nastavení vedlejšího ostří
r_n	[mm]	Poloměr zaoblení ostří
r_ϵ	[mm]	Poloměr špičky
b_α	[mm]	Fazetka
$n_{MZDY-ANAJ}$	[€]	Náklady na mzdy pro výstružníky ANAJ
T_p	-	Počet pracovních týdnů/rok
p_{SM}	[€]	Průměrná mzda na směnu
$T_{směny}$	[min]	Časový fond směny

1. Úvod

Již po dlouhá desetiletí se neustále zvyšují požadavky na kvalitu či produktivitu ve všech oblastech strojírenství a tento trend nikterak neustupuje ani v dnešní době. Výroba děr je nedílnou součástí celé technické oblasti, strojírenství nevyjímaje. I ona je tedy vystavena stále se zvyšujícím požadavkům. Dvojnásob to pak platí pro díry, které jsou součástí pohybových ústrojí.

Hydrostatické obvody využívané k pohonům například zemědělských strojů jsou ukázkovým příkladem, kde jsou požadavky na kvalitu děr zásadním parametrem pro spolehlivost a funkci a kde jsou zároveň, vzhledem k hromadným výrobám, kladeny vysoké požadavky na časové úspory.

Tato diplomová práce se věnuje problematice výroby přesných děr vystružováním do hydrostatických komponent. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí – teoretické a praktické.

Teoretická část je zaměřena na tři základní témata týkající se dané problematiky. Těmito tématy jsou vystružování, řezné materiály a hydrostatické obvody. První z kapitol stručně uvádí operaci vystružování a představuje druhy výstružníků. Kapitola o řezných materiálech obsahuje základní informace o řezných materiálech používaných pro vystružovací nástroje. Jsou zde zmapovány základní vlastnosti materiálů, případně způsob jejich výroby a představitelů výrobců. Druhá kapitola teoretické části se věnuje hydrostatickým obvodům. Je zde vysvětleno, v jakých oblastech jsou využívány, jsou popsány jejich základní výhody a nastíněn princip fungování. Část pojednávající o principu fungování vypovídá o důležitosti výroby velmi přesných děr v hydraulických komponentech.

Praktická část této práce je zaměřena na technologii výroby děr vystružováním. Jejím cílem je popsat přínosy nové vystružovací technologie s výstružníkem z cermetu od společnosti HAM-FINAL pro výrobu hydrostatické komponenty oproti původní technologii s využitím výstružníku ze slinutého karbidu od společnosti ANAJ. Aplikace nové technologie byla provedena na servoventilu vyráběném v povážskobystrickém závodě společnosti Danfoss Power Solutions. Tato praktická část má pět základních kapitol.

První kapitola uvádí do podmínek výroby z hlediska pracoviště, obrobku, požadavků na obrobek a do způsobů kontroly požadovaných parametrů. Kontrolován je průměr díry a dále pak parametry drsnosti Ra, Rk a Rpk. Z geometrických tolerancí je kontrolována kruhovitost v šesti řezech a výsledná válcovitost. Druhá podkapitola je zaměřena na původní stav výroby s výstružníkem ze slinutého karbidu. V této kapitole jsou zároveň zobrazeny dosahované výsledky původní technologie a tedy i zdůvodnění, proč bylo přistoupeno k aplikaci technologie nové. Právě nové technologii využívající cermetový výstružník se věnuje třetí podkapitola, která je strukturována stejně jako předchozí podkapitola. Následuje kapitola, ve které jsou popsány základní rozdíly mezi původní a novou technologií., resp. mezi původním (SK) a novým (Cermet) nástrojem, a zároveň je zde vysvětleno, jaký mají tyto rozdíly přínos pro vystružovací proces a pro výsledné parametry díry. Poslední kapitolou praktické části je technicko-ekonomické hodnocení změny technologie, kde jsou popsány a vyčísleny přínosy z hlediska technického i ekonomického.

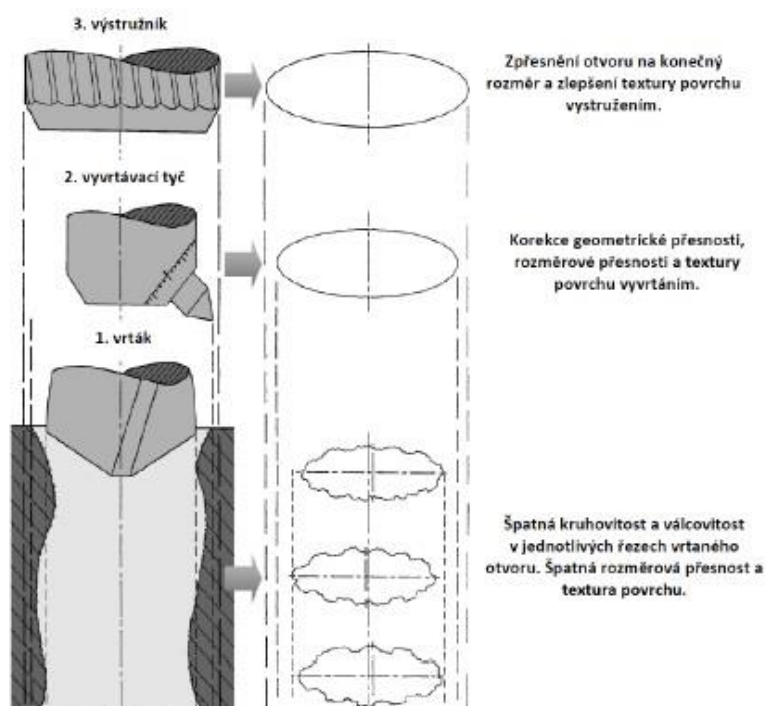
2. Vystružování

Proces výroby přesných děr může končit samotným vystružováním, tedy nástrojem s definovanou geometrií, nebo v případě ještě vyšších nároků na kvalitu díry může po vystružování následovat operace nástroji s nedefinovanou geometrií, tedy například broušení nebo honování.

2.1 Vystružování

Samotné vystružování je metoda třískového obrábění, při níž hlavní řezný pohyb (rotační) i vedlejší pohyb (posuv) koná nástroj. V některých případech může hlavní řezný pohyb vykonávat také obrobek.

Vystružovací operace navazuje na předchozí operace. Těmi je nejčastěji vrtání, vyvrtávání nebo hrubování. Pro splnění předepsaných požadavků na díru je nutné věnovat maximální pozornost i těmto operacím, protože některé geometrické tolerance, které nedodržíme u přípravných operací již vystružováním ovlivnit nelze vůbec nebo jen málo. [5]



Obr. 1 Vliv jednotlivých operací na geometrii a průměr díry [5]

2.2 Vystružovací nástroje

Nástroje pro vystružování se nazývají výstružníky. Jedná se o jedno i vícebřité nástroje se zuby přímými nebo ve šroubovici. Jednobřité výstružníky, které bývají doplněny vodícími lištami, se využívají k výrobě velmi přesných děr.

Základní rozdělení výstružníků:

a) podle způsobu práce:

- ruční
- strojní

b) podle způsobu upínání:

- stopkové: - s válcovou stopkou
 - s kuželovou stopkou
- nástrčné

c) podle tvaru řezné části:

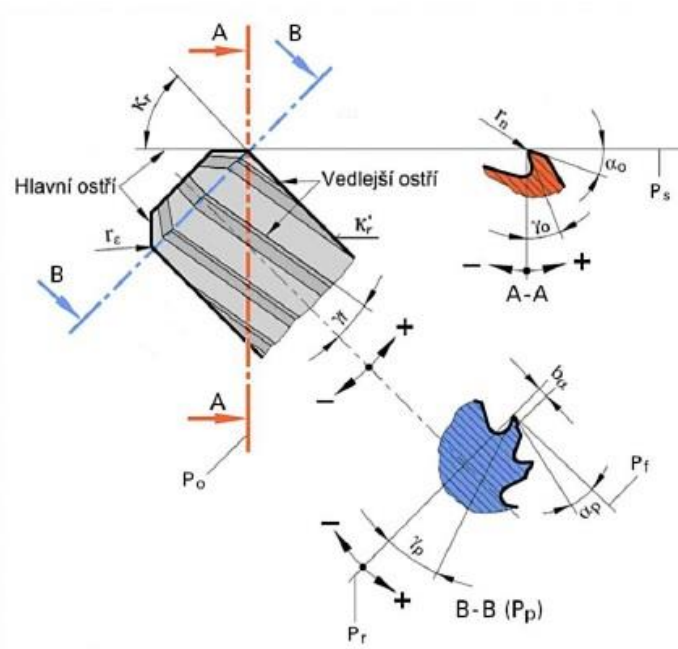
- válcové
- kuželové
- tvarové

d) podle konstrukce:

- jednobřité
- vícebřité
 - pevné:
 - monolitní
 - s pájenými zuby
 - se zuby upínanými mechanicky
 - rozpínací
- stavitelné. [5]

2.3 Geometrie výstružníku

Na obrázku je uvedena obecná geometrie výstružníků. Přesné geometrie jsou různé dle výrobců a požadavků na výsledek obrábění. Tyto specifické geometrie jsou však pečlivě chráněny samotnými výrobci.

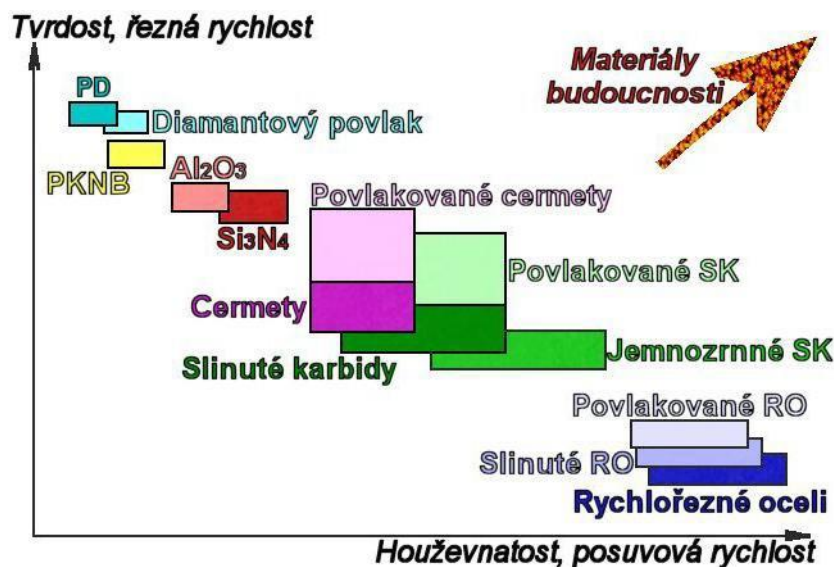


Obr. 2 Obecná geometrie výstružníků [5]

3. Řezné materiály

Řezné materiály jsou jednou z oblastí neustálého technologického vývoje. Požadavky na nástroje jdou ruku v ruce se zvyšujícími se požadavky na kvalitu a produktivitu obrábění. Mezi základní požadavky na materiál nástroje patří:

- tvrdost
- houževnatost
- teplotní stabilita
- chemická stabilita
- neutralita řezného a obráběného materiálu



Graf 1 Řezné materiály v závislosti na tvrdosti a houževnatosti[6]

Tato kapitola se zabývá řeznými materiály z hlediska vystružování. Vzhledem k zaměření této práce je pak největší pozornost věnována slinutým karbidům a cernetům. [5]

3.1 Rychlořezná ocel

Rychlořezné oceli jsou stále hojně využívaným řezným materiálem, i když s neustálým vývojem požadavků na kvalitu výrobků a produktivitu je postupně nahrazován výkonnějšími řeznými materiály.

Použití rychlořezných ocelí vzhledem k teplotě řezání dosahuje až 650°C, při této teplotě je zajištěna tvrdost nad 60HRC. Velice důležitým prvkem ocelí je uhlík, jeho obsah u rychlořezných ocelí se pohybuje mezi hodnotami 0,7-1,3 %.

Oproti klasickým nástrojovým ocelím se ty rychlořezné liší chemickým složením a tepelným zpracováním. Významnými legujícími prvky jsou především wolfram, vanad a chrom.

- Wolfram - nízká difúzní rychlost wolframu zpomaluje jeho rozpad, čímž zvyšuje tvrdost i za vyšších teplot, než bývá obvyklé u běžných nástrojových ocelí.
- Vanad - u ocelí se vyskytuje ve formě karbidů, které zvyšují tvrdost a řezivost.
- Kobalt - zvyšuje austenitizační teplotu, což zvyšuje odolnost proti popuštění (vyšší teplota použití)

- Molybden - podobné vlastnosti jako wolfram, ovšem má vyšší houževnatost, je tedy vhodnější pro nástroje s přerušovaným řezem.

Základní druhy rychlořezných ocelí a jejich využití pro vystružovací nástroje jsou zobrazeny v následujícím přehledu.

HSS	HSS-E 5% cobalt	HSS-E 8% cobalt	HSS-PM (powder metallurgy)
<ul style="list-style-type: none">• Především pro ruční výstružníky• Pro měkké oceli, litiny a neželezné slitiny	<ul style="list-style-type: none">• Základní volba	<ul style="list-style-type: none">• Pro vysokou produktivitu• Pro tvrdé oceli, tepelně odolné oceli a titanové slitiny	<ul style="list-style-type: none">• Vysoký výkon• Dlouhá trvanlivost

Obr. 3 Příklady použití rychlořezných ocelí pro vystružování [16]

3.1.1 Povlakované rychlořezné oceli

Pro zvyšování řezivosti rychlořezných ocelí se přistupuje k nanášení tenkých vrstev. Jednou z možností deponování je **metoda PVD (Physical Vapor Deposition)**.

Tato metoda využívá prostředí o teplotě do 500°C a je tedy zaručeno, že během procesu nedojde k tepelnému ovlivnění struktury oceli. Po depozici je běžně dosahováno o 50-200 % vyšší trvanlivosti nástroje než nástroje bez povlaku. Přestože jde o vysoká čísla, jsou tyto hodnoty až o polovinu nižší než u povlakovaných nástrojů ze slinutých karbidů.

Výhody:

- nízká teplota depozice
- malé tloušťky vrstev (2-8μm)
- ekologicky nejšetrnější metoda deponování vrstev
- nízký koeficient tření

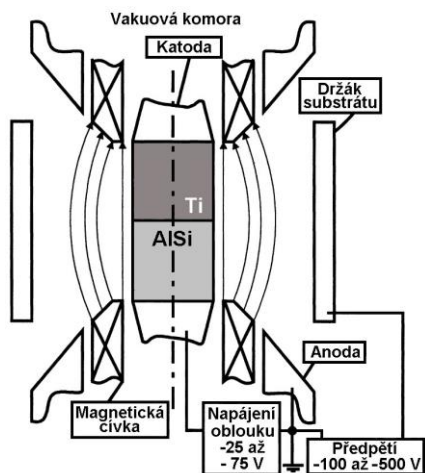
Nevýhody:

- nemožnost deponování odvrácených stran
- omezený výběr materiálů tenkých vrstev a důkladná předdepoziciční příprava.

Způsoby deponování PVD:

A, odpařováním [8]

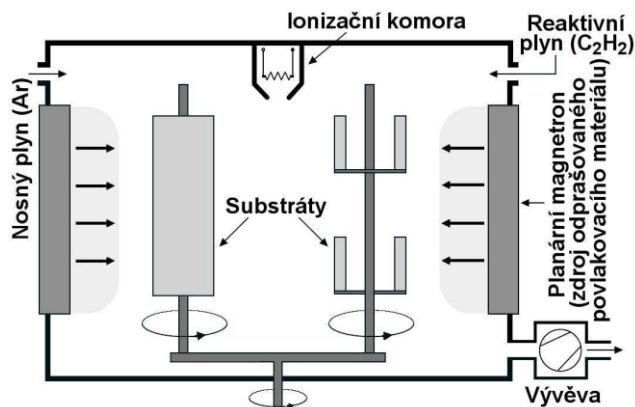
- při tomto způsobu depozice lze deponovat pouze elektricky vodivé materiály
- terče jako zdroje materiálu tenké vrstvy jsou variabilní (tvar, poloha,...)



Obr. 4 Schéma depozice metodou PVD naprašováním [8]

B, napařováním [8]

- probíhá ve vakuu nebo při velmi nízkých tlacích
- kladné ionty argonového plazma v okolí terče z materiálu povlaku jsou urychlovány a při dopadu na terč odprašují částice
- nevýhodou této metody je její rychlost, tu můžeme zvýšit magnetickým polem, v takovém případě se pak jedná o magnetronové napařování
- terče jako zdroje materiálu tenké vrstvy bývají poměrně drahé
- výhodou je nízké tepelné zatížení a malý objem zařízení



Obr. 5 Schéma depozice metodou PVD magnetronovým napařováním [8]

CVD metoda depozice (Chemical Vapor Deposition) [17]

Jak už z názvu vyplývá, tato metoda depozice funguje na principu chemických reakcí. Depozice CVD metodou je prováděna za výrazně vyšších teplot než metoda PVD, konkrétně při teplotách 900 – 1 100°C. Materiál tenké vrstvy je přiváděn v plynné fázi a vlivem vysokých teplot dochází k dislokaci molekul a vzájemné chemické reakci. Jako reaktivních plynů se využívá například C_2H_2 , Ar, N_2 , CH_4 apod.

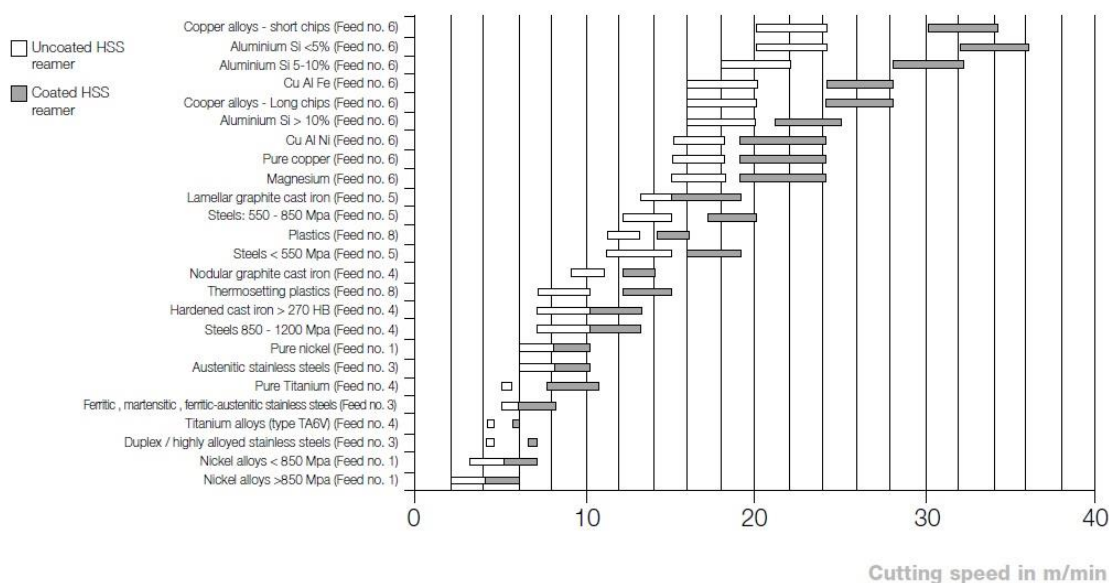
Výhody:

- vhodný i pro odvrácená místa
- lepší adheze
- ekonomicky nejvýhodnější pro tvorbu silných vrstev
- vyšší odolnost proti opotřebení
- vysoká teplotní stabilita

Nevýhody:

- energetická náročnost
- tahová prnutí
- dlouhý čas depozice

Jeden z přínosů deponování tenkých vrstev na nástroje z rychlořezných ocelí (a nejen na tento materiál) je vidět například na následujícím grafu. Zvyšování řezných rychlostí se v něm odvíjí od obráběného materiálu, znatelný přínos je zde vidět například u hliníkových slitin s vysokým obsahem křemíku.



Graf 2 Rozdíly řezných rychlostí výstružníků s nadeponovanou tenkou vrstvou a bez tenké vrstvy [16]



Obr. 6 Logo společnosti STIMZET [18]

Jedním z výrobců výstružníků z rychlořezných ocelí je například společnost STIMZET. Ta nabízí škálu ručních a

strojních výstružníků v provedení válcovém i kuželovém. V nabídce lze najít také nástrčné vystružovací hlavy pro větší rozměry nebo stavitelné rozpínací výstružníky. Zároveň nabízí možnost vybrat i dle upínací části – s kuželovou nebo válcovou stopkou.



Obr. 7 Logo společnosti BECK [23]

Výstružníky z rychlořezných ocelí vyrábí například také společnost BECK, ale i další. BECK se zabývá výrobou klasických výstružníků s nebo bez vnitřního chlazení a také rozpínacími výstružníky.

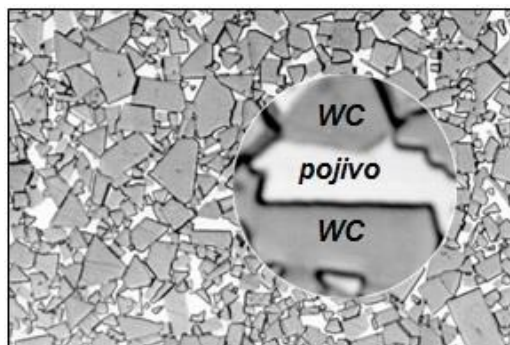


Obr. 8 Výběr z nabídky výstružníků z rychlořezné oceli firmy STIMZET (shora: Strojní výstružník s kuželovou stopkou na díry pro kolíky s kuželovostí 1:50 HSS 8-14mm; Výstružník strojní s přímými zuby s kuželovou stopkou HSS 6-32mm; Výstružník strojní se zuby ve šroubovici s válcovou stopkou HSSCo Cobalt 5%; Výstružník strojní s přímými zuby s válcovou stopkou HSSCo Cobalt 5%; Ruční výstružníky stavitelné bez vodícího pouzdra s nestejnou roztečí 7,6-60mm; vpravo: Výstružník nástrčný se zuby ve šroubovici - HSS 25-100mm) [18]

3.2 Slinuté karbidy

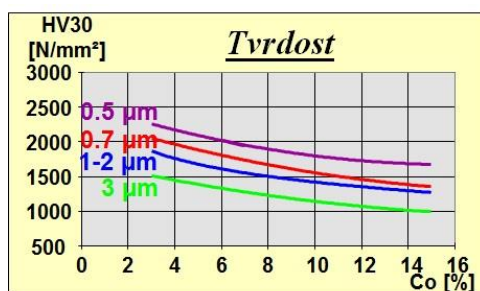
Z tohoto hlediska patří mezi nejvyužívanější řezný materiál slinuté karbidy. Slinuté karbidy se vyrábějí práškovou metalurgií. Nejpopulárnějším typem je SK na bázi karbidu wolframu (WC). Jako pojivo je nejčastěji využíván kobalt, méně pak například nikl.

Vlastnosti SK jsou dány jak poměrem tvrdé karbidické fáze a složky pojiva, tak také velikostí zrn karbidické fáze.

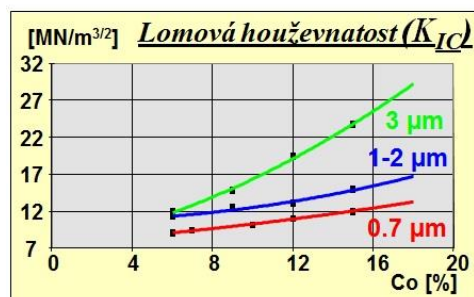


Obr. 9 Metalografický výbrus slinutého karbidu [15]

Z hlediska poměru obsahu pojiva k obsahu karbidické fáze se s klesajícím obsahem Co zvyšuje tvrdost SK při vyšších teplotách. Velikost zrna má velký vliv na lomovou houževnatost SK, respektive jeho tvrdost. Se snižující se velikostí zrna se zvyšuje tvrdost a zároveň lomová houževnatost.



Graf 3 Vliv velikosti zrna SK na jeho tvrdost [6]



Graf 4 Vliv velikosti zrna SK na jeho houževnatost [6]

Důležitou informací o řezném materiálu je také tvrdost v závislosti na teplotě řezání. Slinuté karbidy dosahují tvrdosti až 1900HV, která se ovšem s rostoucí teplotou poměrně rychle snižuje. Nepovlakované SK mají oblast použití v některých případech až v rozmezí 800-900°C.

3.2.1 Povlakované slinuté karbidy

Pro zlepšení vlastností SK se sahá k deponování tenkých vrstev. Tenké vrstvy na nástroji mají hned několik funkcí, především je jejich úkolem zajistit vyšší trvanlivost, vyšší kvalitu obrobeneho povrchu nebo umožnit obrábění s nižším množstvím procesní kapaliny.

Tenké vrstvy mohou být jednovrstevné, ale často dochází k vícevrstevnému deponování, jež kombinuje výhody jednotlivých vrstev.

Deponování tenkých vrstev vyžaduje pečlivou přípravu. V opačném případě nemusí dojít ke správné adhezi substrátu s tenkou vrstvou. To může mít za následek stržení nadeponované vrstvy a ztráty požadovaných vlastností.

3.2.2 Předdepoziční úpravy

Deponování tenké vrstvy je finální operací, která se provádí až po tepelném zpracování. Proces deponování tenké vrstvy v sobě zároveň skrývá mnohá úskalí. Pro úspěšné provedení je nutné zajistit dostatečnou schopnost adheze základního substrátu a nanášené vrstvy. Na adhezi má vliv například (úprava) mikrogeometrie nástroje nebo teplota.

Druhy předdepozičních úprav:

- Úprava řezných hran – po broušení vznikají na řezných hranách otěpy a defekty, které se po nadeponování stávají koncentrátoři napětí, čímž poté může docházet k porušení tenké vrstvy
Hrany nástrojů se tedy po nabroušení otryskávají, omílají nebo kartáčují, kladen je důraz na úpravu mikrogeometrie.

- Mechanické čištění – principiálně jde o podobný proces jako úprava řezných hran, není však kladen důraz na změnu mikrogeometrie, ale „pouze“ na očištění od nečistot.
- Chemické čištění – úkolem je odstranit z povrchu případné nečistoty nebo mastnoty. Využívají se různé vodné roztoky s kyselinami, ultrazvukové čištění ve vodném roztoku a jiné.
- Iontové čištění – finální úprava před depozicí. Povrch substrátu je bombardován urychlenými ionty, které vyřázejí nečistoty z povrchu.

Při nedostatečné úpravě může dojít k rychlému odtržení tenké vrstvy, čímž dojde ke znehodnocení nástroje, protože již neplní požadovanou funkci.

Nedostatečná předdepoziciční úprava může mít fatální následky. Může dojít k rychlému stržení tenké vrstvy a ztrátě vlastností, které její deponování mělo přinést. Pochopitelně pak není možné zajistit výrobu v požadované kvalitě nebo kvantitě. [5] [6] [7] [8] [12]

Sortiment vybraných výrobců

Výstružníky ze slinutého karbidu jsou v současnosti nejvíce rozšířené. Mezi známé producenty nástrojů patří například společnost BECK, která nabízí široké portfolio SK výstružníků jak monolitních, tak ve formě VBD či výměnných hlav.



Obr. 10 Logo společnosti HAM-FINAL [21]

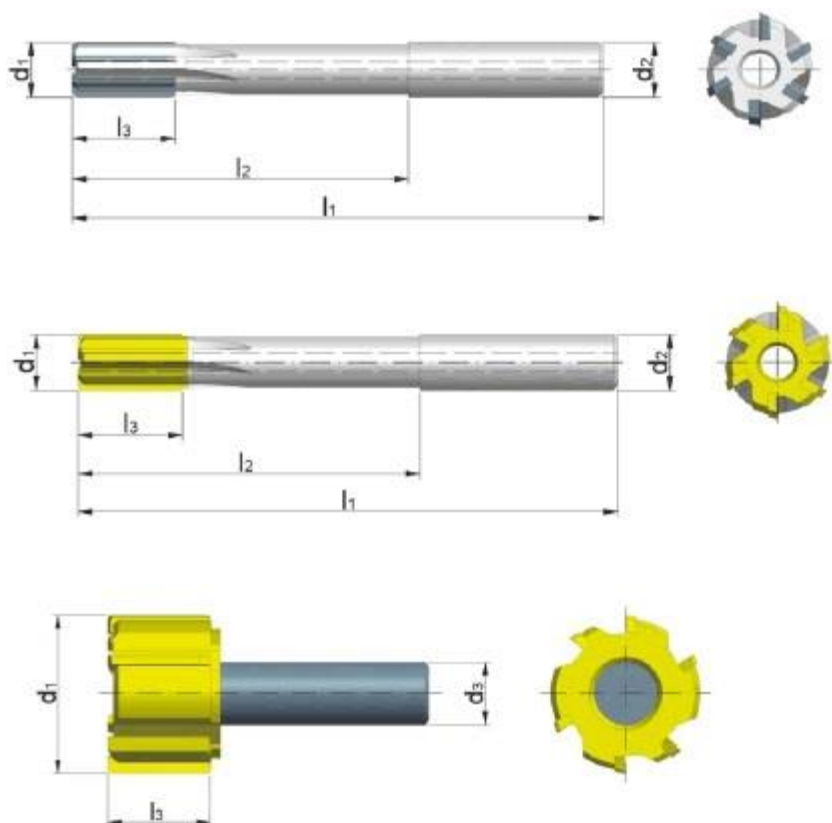
Dalším výrobcem je například brněnský HAM-FINAL. Ten má ve svém portfoliu například nástroje s pájenými destičkami ze SK, monolitní nástroje s tenkou vrstvou, ale i bez ní. Dále nabízí i

nástroje kuželové či válcové a podobně jako MAPAL nabízí také výměnné vystružovací hlavice.

Široký sortiment nabízí taktéž společnost GÜHRING. Výstružníky ze slinutého karbidu s tenkými vrstvami nabízí v rozmezí již od 3 mm. V nabídce jsou i výměnné vystružovací hlavice s rozměry až 76 mm.



Obr. 11 Vystružovací hlavice HR 500 GT S ze slinutého karbidu[27]

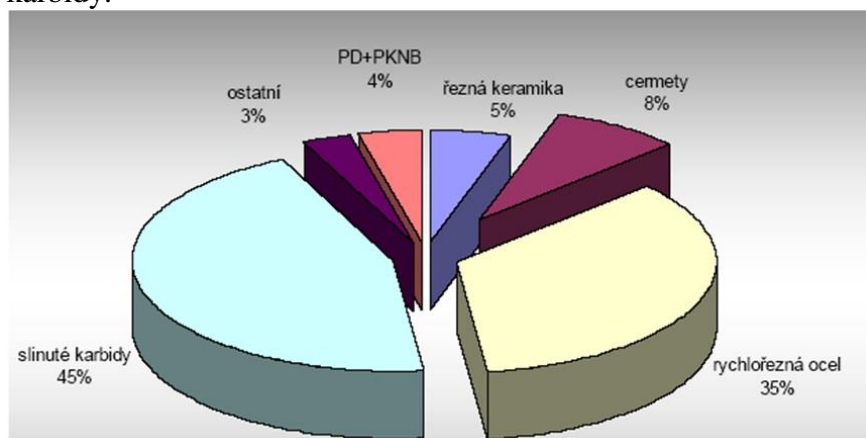


Obr. 12 Příklady nabídky výstružníků ze SK společnosti HAM-FINAL (1, Monolitní výstružník s břity z SK - 6335; 2, Monolitní výstružník s břity z SK(TiN) - 6336; 3, Výměnná vystružovací hlavice pro průchozí díry ze SK (TiN) - 6401) [21]

Doporučené řezné rychlosti při vystružování nástroji ze SK viz Příloha 1.

3.3 Cermety

Tento druh řezného materiálu v sobě již podle názvu kombinuje vlastnosti keramiky a kovů. Stejně jako SK se vyrábí práškovou metalurgií. Ačkoli k první výrobě cermetu došlo již ve třicátých letech minulého století, je v současnosti v praxi využíván výrazně méně než slinuté karbidy.

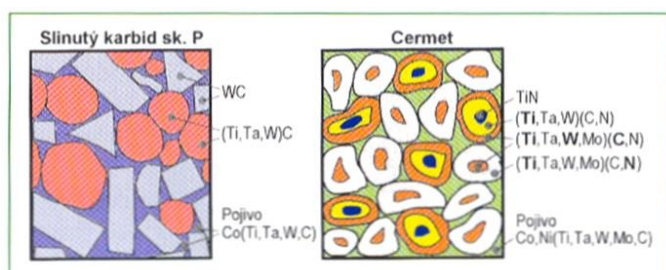


Graf 5 Podíl využití řezných materiálů v praxi [7]

Oproti SK mají cermety složitější mikrostrukturu, která je tvořena dvěma fázemi. Jako pojivo se stejně jako v případě SK používají kobalt a nikl. Na rozdíl od SK se nepoužívají jako tvrdé fáze WC, ale v případě cermetů jsou jimi většinou karbidy titanu (TiC) nebo karbonitridy titanu (TiCN). Během procesu slinování se poté kolem této fáze vytvoří věnec na bázi Mo, Ti, W (C,N).

Cermety jsou méně náchylné k tvoření nárůstku na čele nástroje a jsou také lehčí než SK. Zároveň disponují vysokou tvrdostí za tepla a nízkým koeficientem tření ve vztahu ke kovům.

Tepelná vodivost cermetů je v porovnání se slinutými karbidy nižší, což je zapříčiněno přítomností dusíku ve formě TiN. S přibývajícím množstvím TiN se pak snižuje i tepelná vodivost. To by při vyšší teplotě řezání mohlo způsobit vyšší teplené napětí a tím vznik trhlin. V případě používání chlazení je tedy nutné přivádět chladicí kapalinu co nejbližší k místu řezu, aby nedocházelo k tepelným šokům.



Obr. 13 Porovnání struktury SK a cermetu [7]

Druhy cermetů:

I. generace cermetů

Jedná se o cermety na bázi TiC-Mo-Ni a TiC-Mo₂C-Ni, které mají oproti běžným slinutým karbidům nižší hodnoty houževnatosti a odolnosti proti vydrolování. Z tohoto důvodu je jejich využití velmi omezené a používá se pouze v případě lehkých řezů.

II. generace cermetů

Oproti první generaci jsou obohaceny o TaC a WC, čímž je dosaženo vyšší houževnatosti. Nedochází tolik k vydrolování a využití je možné i při soustružení středními hodnotami posuvů.

III. generace cermetů

Je založena na kombinaci TiC a TiN. Oproti předcházejícím generacím mají výrazně lepší houževnatost, která umožňuje široké využití v oblasti řezných nástrojů.

Cermety jsou vhodné pro vyšší řezné rychlosti, ale vzhledem k nízké houževnatosti, také k menším hloubkám řezu. S nízkou houževnatostí také souvisí vhodnost cermetů pro operace při nepřerušovaném řezu. Jejich využití je tedy vhodné především v dokončovacích operacích. Vzhledem k dlouhé trvanlivosti břitu se značně využívá při sériových či hromadných výrobcích.

Vlivem vysoké odolnosti proti adhezi a nízké schopnosti reakce s obráběným materiálem dosahují cermetové nástroje nízké drsnosti obráběného povrchu. To je dalším důvodem využívání cermetových nástrojů pro dokončovací operace. [7][8]

V následující tabulce jsou vidět základní vlastnosti vybraných řezných materiálů, například vyšší tvrdost cermetů než slinutých karbidů nebo výrazně vyšší hustota slinutých karbidů.

Tab. 1 Vlastnosti vybraných řezných materiálů [7][8]

Vlastnosti	Diamant	cBN	SK	Cermet
Hustota [$\times 10^6 \text{ kg/m}^3$]	3,5	3,5	14,5	6,8
Tvrdość HV [GPa]	98	49	14,7	15,7
Pevnost [MPa]	---	1 078	2 450	1 960
Young Modul [$\times 10^4 \text{ MPa}$]	103	72	588	392
Teplotní vodivost	2 000	50	76	13

Sortiment vybraných představitelů

Mezi představitele výrobců cermetových nástrojů patří český HAM-FINAL nebo například německý BECK. Nabízeny jsou jak monolitní cermetové výstružníky, tak výměnné hlavy nebo výstružníky s cermetovými VBD.



Obr. 14 Logo společnosti GÜHRING [27]

Dalším představitelem s nabídkou cermetových výstružníků na trhu je společnost GÜHRING. Ta nabízí dva druhy výstružníků s cermetovými destičkami nebo výměnné hlavy. Vše ve verzi s vnitřním chlazením.



Obr. 15 Cermetové výstružníky společnosti BECK [23]



Obr. 16 Cermetové výstružníky společnosti HAM-FINAL [24]

Doporučené řezné podmínky při vystružování nástroji z cermetu viz Příloha 2.

3.4 Diamant

Mezi tzv. supertvrde řezné materiály patří i řezné materiály na bázi diamantu. Diamant je pouze jiná forma grafitu, která vzniká za vysokých teplot a tlaků. Funkčnost diamantových nástrojů je z tohoto důvodu omezena teplotou pohybující se okolo 700°C, při které dochází k přeměně diamantu na grafit. Vzhledem k těmto vlastnostem se diamantů využívá pro obrábění neželezných kovů se sklonem k vzniku abrazivního otěru nástroje, jakými jsou například siluminy nebo kompozitní materiály.

Diamant se u řezných materiálů vyskytuje ve více formách: přírodní monokrystal, polykrystalický diamant a syntetické tenké vrstvy.

Nejrozšířenějším druhem je polykrystalický diamant (PKD). Ten je stejně jako slinuté karbidy nebo cermety vytvořen slinutím. PKD nástroje jsou vzhledem k přítomnosti pojiva houževnatější a oproti monokrystalickému diamantu mají také izotropní vlastnosti. Z tohoto důvodu se PKD využívá spíše u hrubovacích operací.

Chemickou metodou deponování (CVD) při reakci vodíku a uhlovodíkových plynů se vyrábí tzv. CVD diamantové vrstvy, kterými se deponují nástroje především ze slinutého karbidu. CVD diamantové vrstvy mají oproti PKD vyšší tvrdost, vyšší řezivost a nižší součinitel tření. Používá se spíše v oblasti dokončovacích operací, tedy při malé tloušťce odebírané vrstvy. Nevýhodou CVD diamantových tenkých vrstev je nutná složitější předdepoziční úprava povrchu nástroje. Kromě čištění nebo odmašťování má na schopnost depozice větší vliv i obsah kobaltu v povrchových vrstvách slinutého karbidu. Ten se musí před depozicí snižovat kvůli lepší adhezi.

Sortiment vybraných výrobců



Mezi výrobce diamantových výstružníků patří například společnosti DIHART, která nabízí dvoubřité a čtyřbřité nástroje s PKD výměnnými břitovými destičkami. Nástroje jsou určeny pro vystružování neželezných kovů.

Obr. 17 Logo společnosti DIHART [22]



Obr. 18 PKD výstružníky společnosti DIHART [22]

Mezi známé výrobce PKD výstružníků lze zařadit i BECK. Ten nabízí například vícebřité nástroje s VBD a vnitřním přívodem chladicí kapaliny v rozsahu 14 – 40 mm nebo výměnné hlavy s VBD v rozmezí průměrů 14 – 40 mm.

Doporučené řezné podmínky při vystružování nástroji z PKD viz Příloha 2.

3.5 Kubický nitrid boru

Dalším ze skupiny supertvrdých řezných materiálů je kubický nitrid boru (CBN). Tvrdost kubického nitridu se blíží hodnotám tvrdosti diamantu. Na rozdíl od diamantu má však až dvojnásobnou teplotu použití dosahující 1 300-1 400°C, a spojení dusíku a boru je ve vztahu k železným materiálům velmi stabilní. Jeho použití tedy není omezeno na neželezné kovy, protože nedochází k difuzi či oxidaci. Má velmi dobrou tepelnou vodivost a není náchylný na tepelné výkyvy.

Oproti nástrojům ze slinutého karbidu a řezné keramiky má vyšší trvanlivost, používá se pro obrábění především kalených ocelí, žáruvzdorných materiálů, šedých litin nebo niklových slitin.

Sortiment vybraných výrobců

Opět společnost BECK nabízí výstružníky s výměnnými břitovými destičkami z kubického nitridu boru. Jedná se o šesti až osmnáctibřité nástroje určené pro obrábění litin nebo pro tvrzené materiály s tvrdostí do 63 HRC. V nabídce jsou nástroje s průměry v rozmezí 10 – 40 mm.

Také společnost GÜHRING nabízí nástroje z kubického nitridu boru. Jedná se o nástroje v rozmezí průměrů 10 až 52 mm. Chlazení těchto výstružníků má radiální vývod přímo do místa styku břitu s materiálem. Společnost dále nabízí speciální nástroje s osazením, které vystružují ve dvou krocích, čímž výrazně přispívají ke zvýšení časové efektivity.



Obr. 19 Stupňovité výstružníky GÜHRING s břity z CBN a PKD [27]

Doporučené řezné podmínky při vystružování nástroji z cermetu viz Příloha 2.

4. Hydraulické systémy

Hydraulické systémy jsou systémy využívající k přenosu energie kapaliny. Takové systémy podle způsobu využití energie kapaliny dělíme na hydrodynamické a hydrostatické.

Hydrodynamické systémy, které jsou využívány především v energetice při konstrukci turbín, využívají kinetické energie kapaliny. Naproti tomu hydrostatické systémy využívají tlakové energie kapaliny.

Hydraulické obvody jsou pak tvořeny čerpadlem, hydromotorem, zásobníkem kapaliny, rozvody, pomocnými a ovládacími prvky.

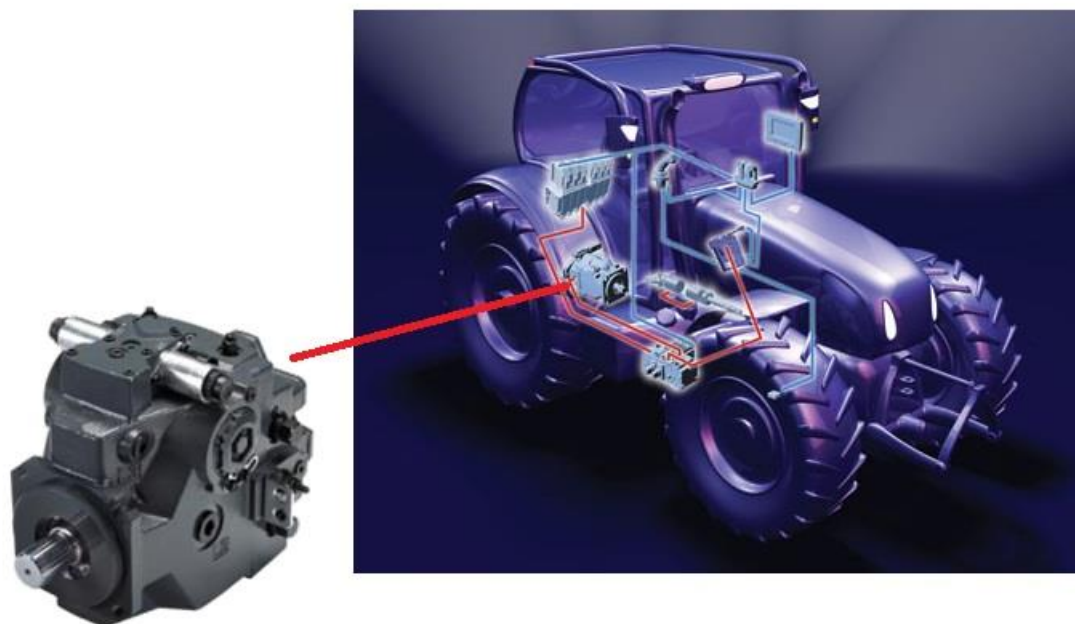
4.1 Hydrostatické převody

V zemědělské technice jsou velmi často využívány hydrostatické obvody. Důvodem jsou výhody, mezi něž patří především:

- vysoká účinnost
- klidný chod
- vysoké převody
- vysoký krouticí moment i při nízkých otáčkách
- plynulá regulace otáček
- možnost reverzace chodu zařízení

4.2 Hydrostatické obvody

Hydrostatické obvody mají mnohé neoddiskutovatelné výhody, které jsou důvodem jejich širokého využití. Dosahují vysoké účinnosti, protože oproti mechanickým přenosům, kupříkladu třecí spojkou, nedochází u hydrostatických obvodů k přeměně energie na teplo. Zároveň umožňují přenos výrazně vyššího krouticího momentu i za nižších otáček. Dalšími výhodami jsou pak celkově klidný chod, plynulá regulace otáček či možnost reverzace chodu. Z těchto důvodů jsou hydrostatické převodníky s čerpadly a hydromotory nezbytnými články například v pohonech lesní techniky, manipulační techniky nebo traktorů a jiných zemědělských strojů. Výše zmíněná řada výhod však zároveň klade vysoké nároky na jejich kvalitu.



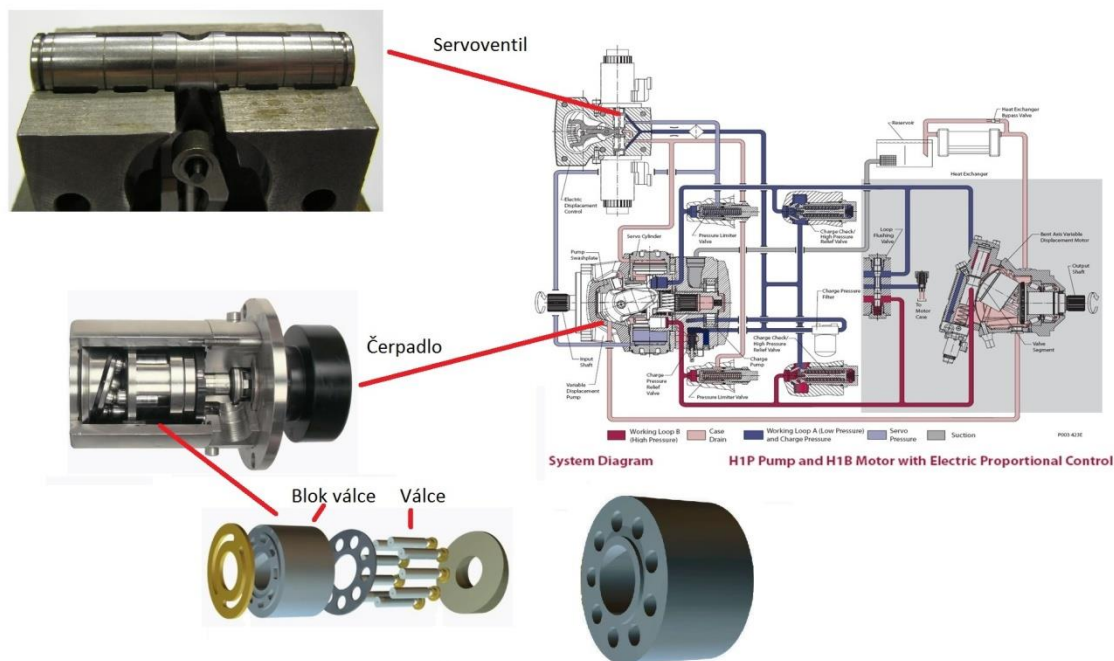
Obr. 20 Příklad hydrostatického obvodu s hydromotorem v traktoru [13]

Nejdůležitějšími prvky hydrostatických obvodů jsou čerpadla a hydromotory. Čerpadlo mění naklápěním bloku válců směr a rychlost proudění pracovní kapaliny dodávané do hydromotoru. Pro správnou funkci čerpadel je nutné zajistit rovnoměrnost toku a těsnost, aby nedocházelo ke ztrátám. Z hlediska výroby jsou například hydrostatická axiální pístová čerpadla poměrně složitá, avšak disponují řadou výhod, díky nimž jsou i přes složitost výroby značně rozšířená.

Pístová čerpadla fungují na principu pohybu několika pístů, které jsou spojeny a poháněny unášecí deskou v bloku válců, přičemž regulace dodávaného objemu pracovní kapaliny k hydromotoru je prováděna naklápěním buď naklápěcí desky, nebo bloku válců. Rozsah naklápění je řízen servoválcem, který je ovládán za pomoci servoventilů. Ty jsou právě v návaznosti na již zmíněný rozvoj elektrotechniky ovládány pomocí cívek, které přeměňují elektrický impuls na magnetický, čímž mění polohu pístu servoventilu. [13] [14] [5] [10] [11]

4.3 Vystružování při výrobě hydraulických komponent

Z předcházející kapitoly vyplývá, že pro funkčnost hydraulických komponent je velmi často využíváno pohybu pístu ve válci. Toho je využíváno jak v servoventilu, tak v samotném čerpadle nebo hydromotoru. To s sebou přináší i zvýšené nároky na kvalitu všech součástí, které s tímto pohybem přímo souvisí. Při případném nedodržení předepsaných geometrických nebo rozměrových tolerancí by mohlo docházet k zasekávání pístu ve válci nebo úniku pracovního média. Tím by pak nebyla zajištěna spolehlivost celého hydrostatického obvodu.



Obr. 21 Sestava hydrostatického obvodu s axiálním pístovým čerpadlem[10]

Přirozeně jsou pak pro výrobu přesného válcového otvoru využívány vystružovací operace.

Vystružování je operace dokončovací, ačkoliv v případě zvýšených nároků na kvalitu povrchu může po vystružování docházet ještě například k broušení nebo honování.

Běžně dosahované výsledky při vystružování jsou stupně přesnosti IT6 – IT8. Dosahované tolerance drsnosti se pak pohybují v mezi Ra 0,3-0,8 μm , v případě použití jednobřitého výstružníku lze dosáhnout až Ra 0,15 μm .

Požadavky na vystružované otvory v rámci hydraulických obvodů se liší především dle vystružované hloubky. V případě vystružování děr v bloku válce, kde je potřeba vytvořit díry 3-4xD, se požadavky pohybují v třídách přesnosti IT 5 - IT6 a drsnost Ra 0,2 μm .

Při vystružování díry v tělese servoventilu, kde dochází pouze k mikrozdvihu, nejsou požadavky tak vysoké a postačují hodnoty IT6 a tolerance drsnosti Ra 1,8 μm . [5] [10] [11]

5. Společnost Sauer-Danfoss a. s.



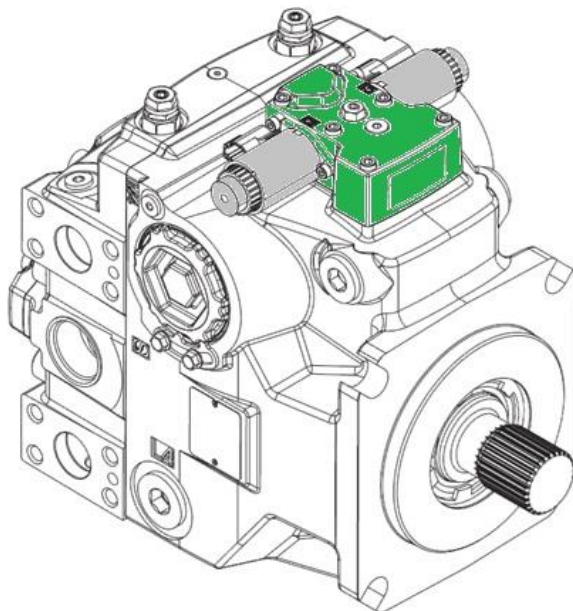
Obr. 22 Sauer-Danfoss [13]

Společnost Danfoss se sídlem v Dánském Nordborgu byla založena roku 1933 panem Clausenem v téže městě. V současné době se společnost soustředí na výrobu v oblastech vytápění, chladicích zařízení, řídicích jednotek a pohonných jednotek. Ve více než šedesáti podnicích po celém světě pracuje okolo 24 000 zaměstnanců.

Podnik Danfoss Power Solutions a. s. působící v Považské Bystrici je zaměřen na výrobu pohonů pro zemědělskou a těžší techniku. Zároveň se zabývá komponenty na podporu jejich řídicích či ovládacích funkcí. [3][4]

5.1 Přehled vyráběných typů servoventilů

Servoventily jsou umístěny na skříní čerpadla, případně hydromotoru. V hydrostatických obvodech slouží k ovládání servoválce. Samotný servoválec pak mění úhel naklonění výkyvné unášecí desky, čímž dochází ke změně geometrického objemu proudící kapaliny do obvodu. Rozsah naklápění výkyvné desky u čerpadel a hydromotorů společnosti Danfoss se pohybuje mezi 0-18°. [13]



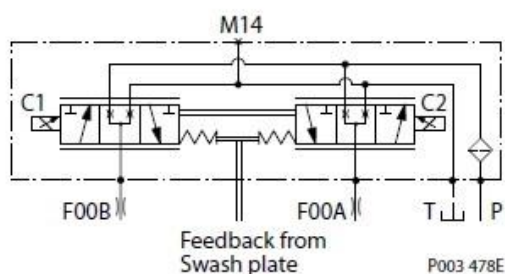
Obr. 23 Umístění servoventilu na skříní hydromotoru [13]

V současnosti se Danfoss a. s. zabývá produkcí šesti druhů servoventilů:

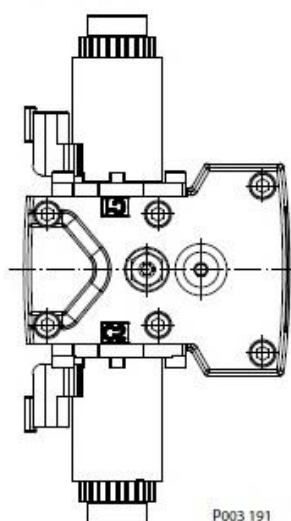
EDC – Electrical Displacement Control

Proporcionální servoventil s elektrickým ovládáním geometrického objemu s mechanickou zpětnou vazbou.

EDC schematic



EDC control

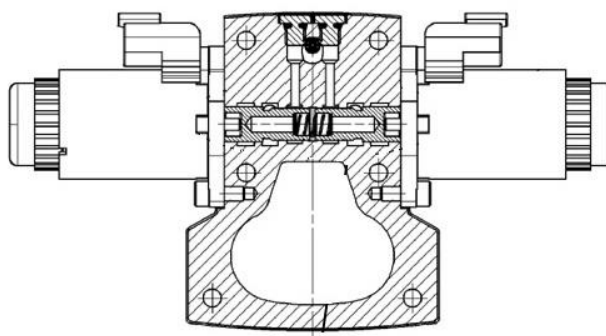
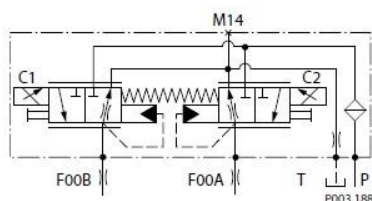


Obr. 24 Schéma a zobrazení EDC servoventilu [13]

NFPE – Non-feedback Proportional Displacement Control

Proporcionální servoventil s elektrickým ovládáním geometrického objemu bez zpětné vazby.

NFPE schematic

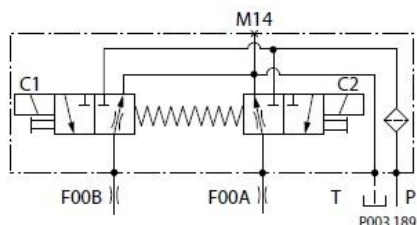


Obr. 25 Schéma a zobrazení NFPE servoventilu [13]

FNR – Forward Neutral Reverse

Třípolohový servoventil s elektrickým ovládáním.

3-Position electric control, hydraulic schematic

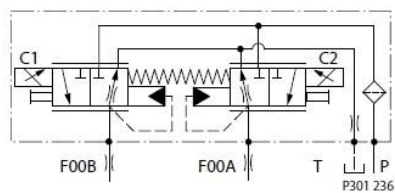


Obr. 26 Schéma FNR servoventilu [13]

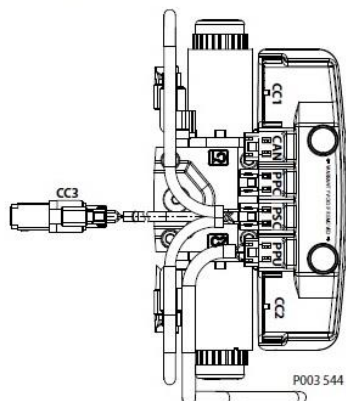
AC – Automotive Control

Používá se u kombajnů.

Automotive Control (AC) schematic



Automotive Control (AC)

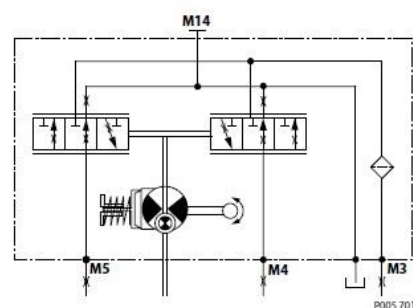


Obr. 27 Schéma a zobrazení AC servoventilu [13]

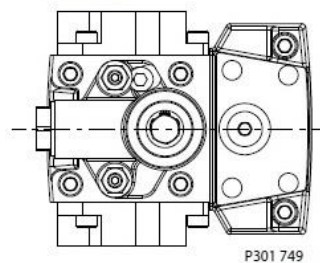
MDC – Manual Displacement Control

Servoventil měnící geometrický objem kapaliny manuálně.

MDC schematic diagram



MDC control

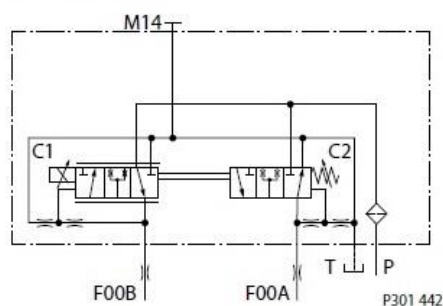


Obr. 28 Schéma a zobrazení MDC servoventilu [13]

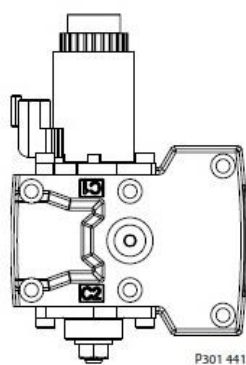
FDC – Fan Displacement Control

Bez zpětné vazby.

FDC schematic



FDC control

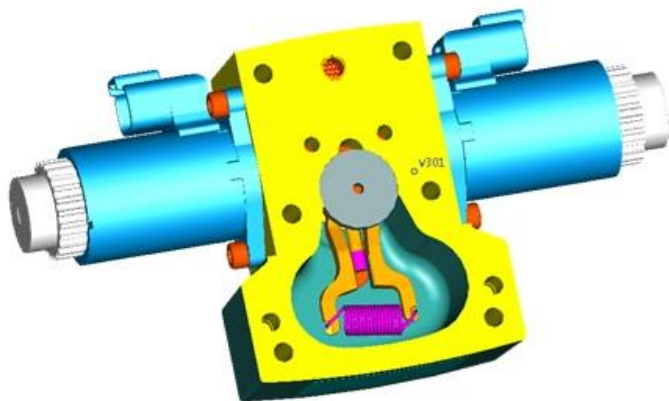


Obr. 29 Schéma a zobrazení FDC servoventilu [13]

5.2 Obráběná součást

Servoventil EDC

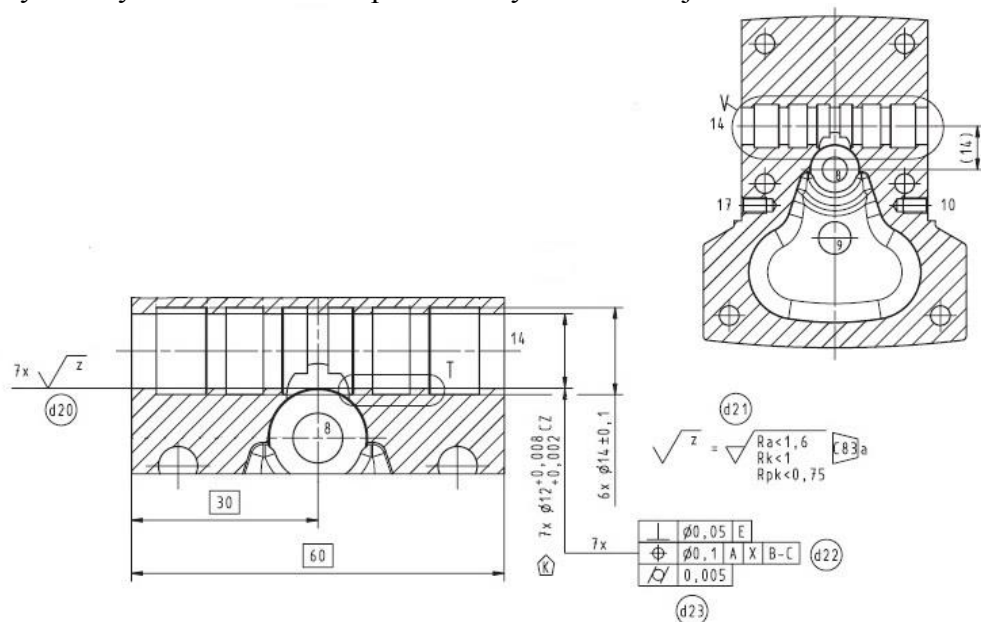
Pro potřeby této diplomové práce byla zvolena výroba díry pro píst v tělese servoventilu EDC s mechanickým zpětným pohybem zajištěným pružinou.



Obr. 30 Sestava servoventilu EDC [13]

Uvnitř tělesa servoventilu se v závislosti na řídicí jednotce pohybuje píst, který řídí směr a množství proudícího média do servoválce. Pro správnou funkci je nutné zajistit správné průtočné množství pracovní kapaliny a plynulý pohyb pístu tak, aby nedocházelo k jeho zasekávání.

Přesný tvar vystružované včetně požadovaných tolerancí je vidět na obrázku.



Obr. 31 Detail vystružované díry

Z dlouhodobých zkušeností a kontroly bylo zjištěno, že jisté překročení předepsaných tolerancí nemá na spolehlivou a správnou funkčnost jednotky vliv. Byly proto zavedeny postačující parametry, při jejichž dodržení se nejedná o nevyhovující součást.

Tab. 2 Předepsané a postačující parametry

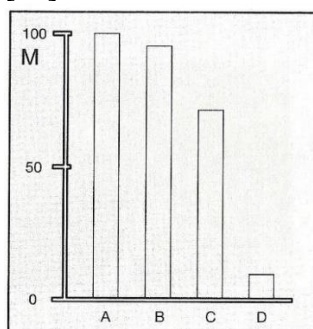
Parametr	Předepsané	Postačující
Průměr	12,002 – 12,008	11,999 – 12,01
Ra	1,6	1,8
Rpk	0,75	
Rk	1	
Válcovitost	0,005	0,01
Kruhovitost	0,005	

5.3 Polotovar

Polotovarem tělesa je odlitek z šedé litiny GG25.

Z hlediska obrobitelnosti je litina s lupínkovým grafitem velmi dobrým materiálem. Na rozdíl od litiny s kuličkovým grafitem nebo temperované litiny tvoří krátkou třísku.

V průběhu obrábění nedochází k chemickému otěru a příčinou opotřebení je pouze abraze. Relativní obrobitelnost této litiny, v porovnání s dalšími druhy litin, lze vidět na obrázku 32. [20].



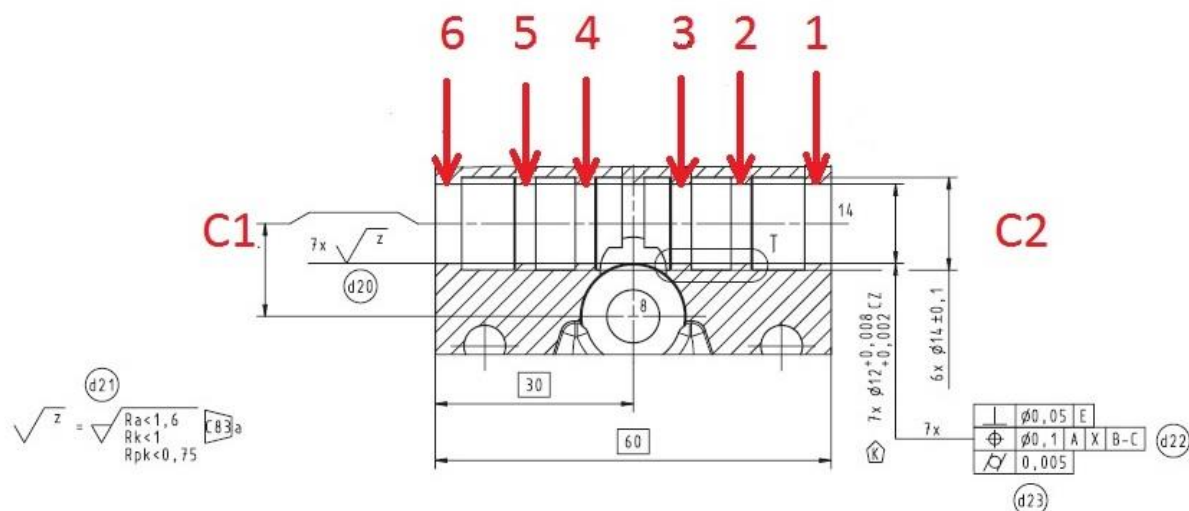
Obr. 32 Relativní obrobitelnost litiny s lupínkovým grafitem [20].

Základní vlastnosti materiálu viz Příloha 3.

Fotografie polotovaru viz Příloha 4.

5.4 Kontrola součásti

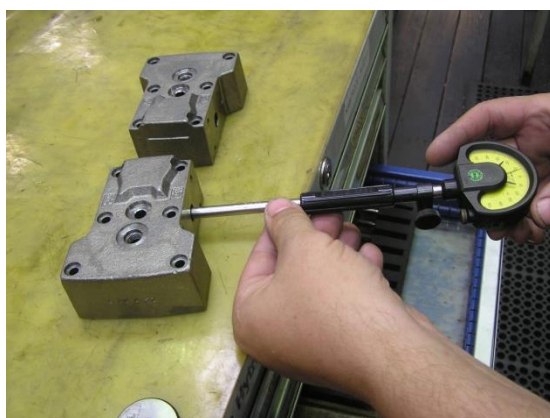
V případě vystružované díry se na součásti kontroluje válcovitost, průměr díry a kvalita opracovaného povrchu. Vzhledem k tomu, že se jedná o díru s šesti osazeními, provádí se kontrola průměru v šesti řezech na každém osazení (např. Ra – 1, Ra – 2, Ra – 3, Ra – 4, Ra – 5, Ra – 6, ... atd.). Po naměření hodnot v jednotlivých úsecích se jako nevyhovující součást považuje ta, která má minimálně tři nevyhovující úseky (v případě drsnosti). V případě šesti naměřených hodnot průměrů se vytvoří aritmetický průměr, který by neměl přesáhnout postačující hodnotu. Dále, kvůli předepsané kontrole složené odchylky tvaru – válcovitosti, se ve stejných šesti řezech vyhodnocují i odchylky kruhovitosti.



Obr. 33 Pozice pro měření průměru a kruhovitosti

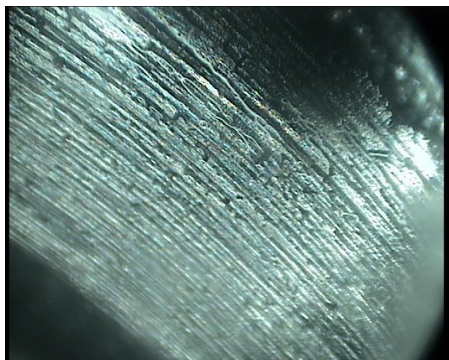
Jednotlivé fáze kontroly součásti:

- Kontrola tolerance průměru se nejprve provádí komparačním dutinoměrem, přímo na pracovišti, každé dvě až tři hodiny. Kontrolují se dvě namátkově vybrané součásti.



Obr. 34 Kontrola průměrů komparačním dutinoměrem

- Kontrola opracování na endoskopu KARL-STORZ se provádí přímo na pracovišti na každém vyrobeném kusu. Kromě kontroly kvality povrchu se kontrolují i otřepty na hranách jednotlivých osazení.



Obr. 35 Fotografický záznam kvality povrchu z endoskopu KARL-STORZ

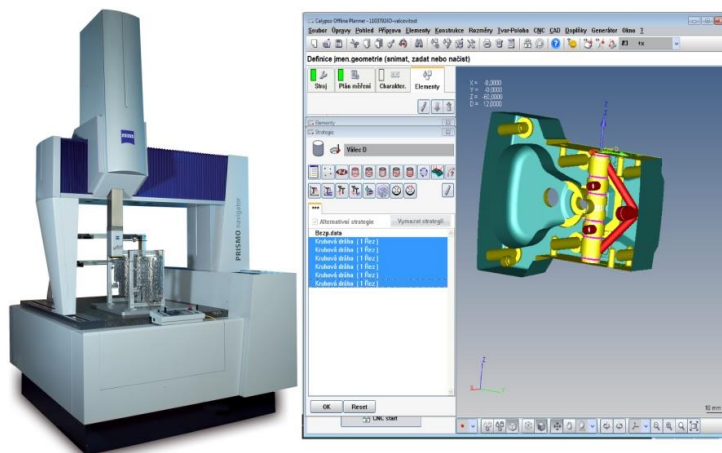
- Parametry drsnosti Ra, Rpk a Rk se vyhodnocují na drsnoměru HOMMEL WAVE ETAMIC 8000. Součást je pro měření upnuta ve speciálním přípravku. Měří se každý den dvě namátkově vybrané součásti.



Obr. 36 Drsnoměr Hommel Wave ETAMIC T8000 [9]

Parametry drsnoměru HOMMEL WAVE ETAMIC T8000 viz Příloha 5.

- Geometrické tolerance a průměr díry v jednotlivých řezech jsou pak kontrolovány v rámci souhrnného měření na 3D měřicím stroji CARL-ZEISS PRISMO 7.



Obr. 37 3D měřicí stroj CARL-ZEISS PRISMO 7; ukázka SW Calypso pro vyhodnocování

Potřebné parametry vystružované díry jsou v tomto případě kontrolovány v rámci dvou programů:

A, Krátký program – každý den dvě namátkově vybrané součásti, kontrolují se nejdůležitější rozměry součásti.

B, Dlouhý program – každý týden dvě až tři namátkově vybrané součásti, kontrolují se všechny rozměry na součásti.

Parametry souřadnicového měřicího stroje CARL-ZEISS PRISMO 7 viz Příloha 6.

5.5 Obráběcí pracoviště

Blok servoventilu je kompletně obroben na jedno upnutí ve vícevřetenovém obráběcím centru ELHA FMX+3. Pracoviště je doplněno robotem, který slouží pro přesun polotovaru ze vstupního dopravníku do stroje, jeho vyjmutí, očištění a následné uložení na výstupní dopravník.

Potenciál tohoto pracoviště je tedy velký. Vstupní dopravník s kapacitou 100ks EDC servoventilu a plně automatizovaná obsluha nabízí velké možnosti úspor.

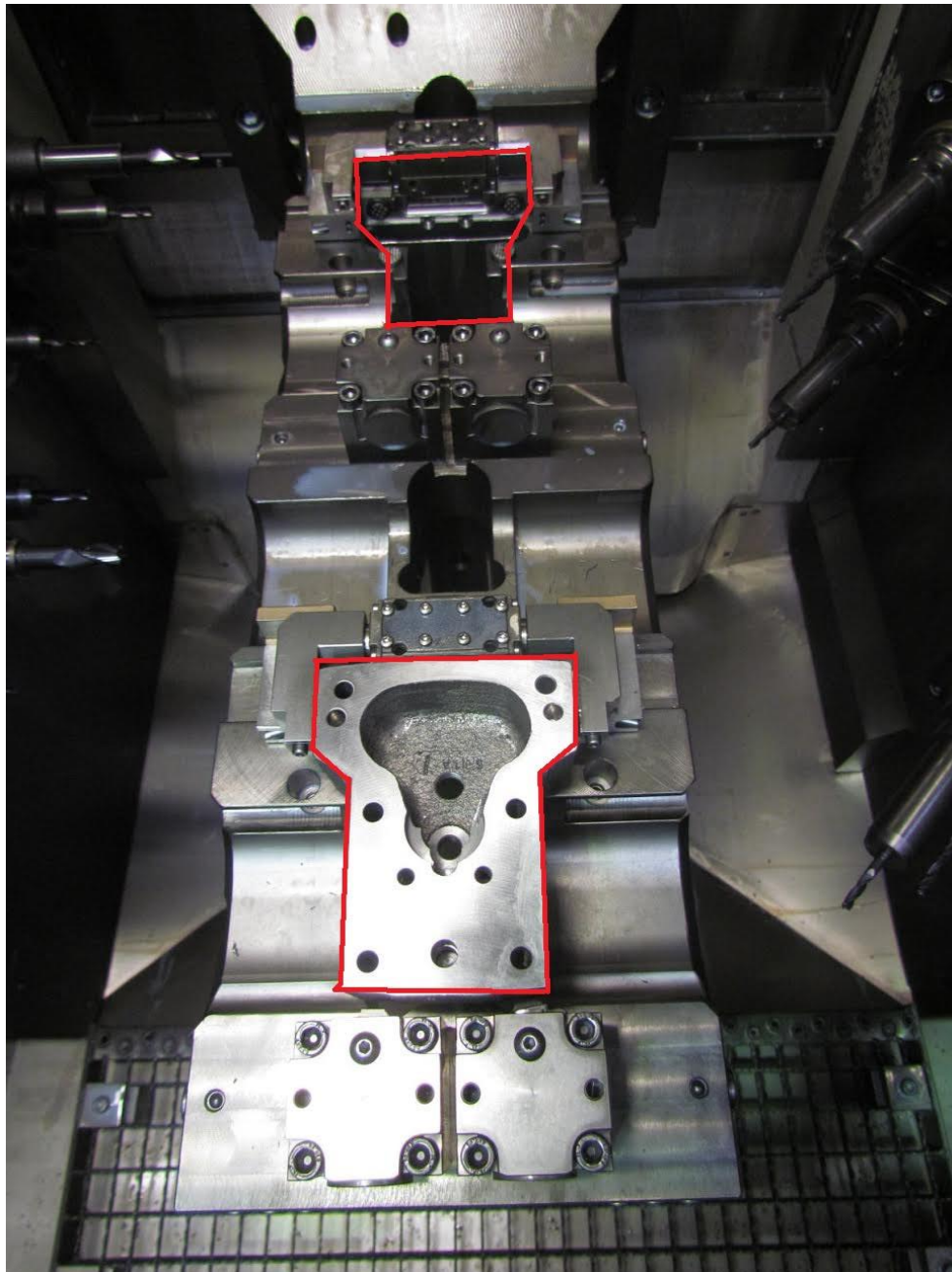


Obr. 38 Robotizované pracoviště ELHA FMX+3

Parametry souřadnicového měřicího stroje obráběcího centra ELHA FMX+3 viz Příloha 7.

5.6 Upnutí obrobku

Na jeden běh obráběcího programu jsou obrobena dva obrobky. K tomu je nutný speciální přípravek. Upnutí je provedeno pomocí hydraulických upínačů, na obrázku uvedeném níže (Obr. 39) je červeně vyznačen upnutý obrobek a místo pro upnutí druhého.

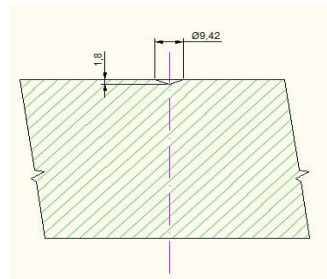
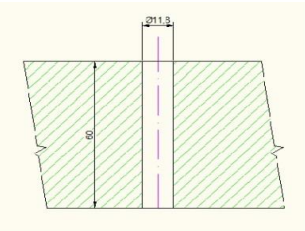
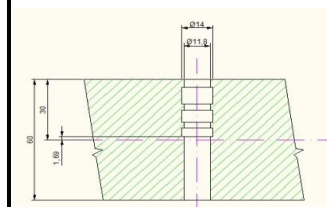
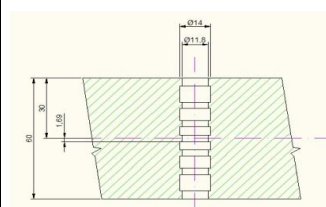
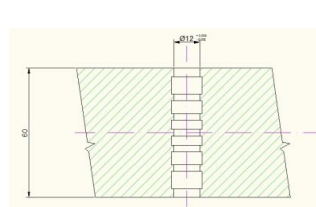


Obr. 39 Upnutí součásti v přípravku

6. Rozbor původní technologie

V této kapitole je nejprve popsán technologický postup týkající se původního stavu obrábění díry. Další podkapitola je věnována základním parametrům vystružovacího nástroje pro tuto technologii. Třetí částí jsou pak výsledky naměřených hodnot doplněné o základní matematicko-statistické hodnocení, které by mělo vypovídat o vlastnostech naměřených hodnot. V závěru kapitoly je krátké shrnutí naměřených výsledků a zdůvodnění nasazení nové technologie.

6.1 Technologický postup

	Materiál GG25	Stroj Elha FMX+3	Chlazení Sarol CL100 Plus - konc. 7%	Pevnost 250 MPa	
Operace	Navrtání Ø12	Vrtání Ø11,8	Frézování zápichů C1	Frézování zápichů C2	Vystružování Ø12
Nástroj	Vrták Ø12	Šroubový vrták Ø11,8	Tvarová fréza Ø8x5,6x8x70	Tvarová fréza Ø8x5,6x8x70	Výstružník Ø12 ANAJ
Materiál	SK + TiAlN	SK + TiN	SK + TiAlN	SK + TiAlN	SK + TiAlN
Upínání		Hydraulický upínač	Hydraulický upínač	Hydraulický upínač	Hydraulický upínač
					
Počet zubů[-]	2	2	4	4	8
Vc [m/min]	80	100	38	38	30
n[ot/min]	2100	2700	1500	1500	796
f _{ot} [mm/ot]	0,2	0,1	0,13	0,13	0,25
f _z [mm/zub]	0,1	0,046	0,033	0,033	0,031
Vf[mm/min]	424	250	200	200	200

6.2 Výstružník ANAJ

Pro vystružovací operaci v původním technologickém postupu byl využíván výstružník společnosti ANAJ ze slinutého karbidu s tenkou vrstvou TiAlN.



Obr. 40 Výstružník ANAJ

Parametry nástroje:

Označení:	D12 ANAJ 046360-R12011-e
Počet zubů:	8
Tenká vrstva:	TiAlN
Cena:	230 EUR
Cena přeoštění:	22 EUR
Otáčky:	$n = 796 \text{ ot/min}$
Posuv na otáčku:	$f_{ot} = 200 \text{ mm/min}$
Posuv na zub:	$f_z = 0,031 \text{ mm/z}$
Řezná rychlost:	$v_c = 30 \text{ m/min}$
Čas vystružování:	18,9s

6.3 Dosahované výsledky

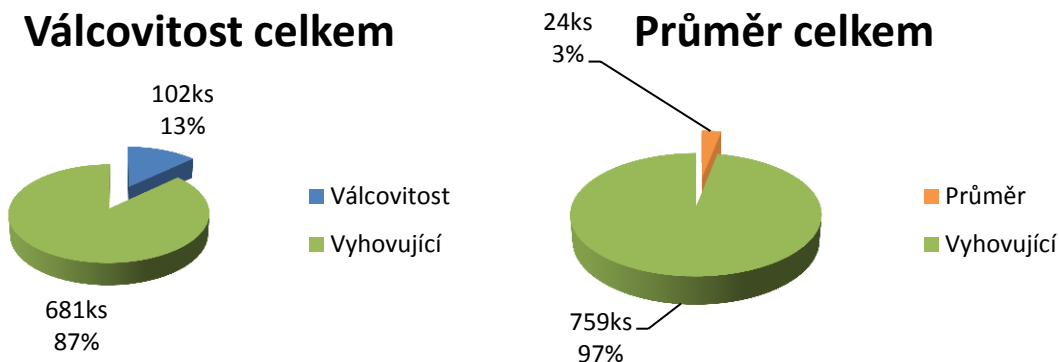
6.3.1 Úvod

Výstružníky ze slinutého karbidu byly nasazeny do výroby v roce 2011 a jejich aplikace fungovala až do roku 2012. Zpočátku plnily svou funkci spolehlivě. Výsledky se však v průběhu času postupně zhoršovaly a v určitých parametrech výrazně překračovaly povolené odchylky.

6.3.2 Průměr a válcovitost

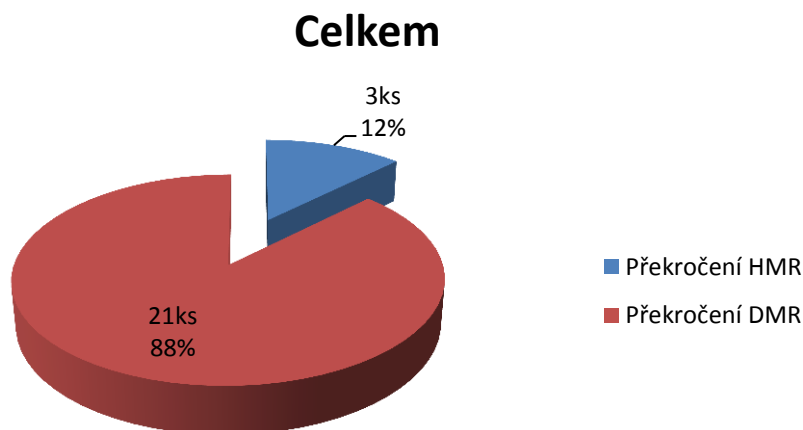
Měření byla provedena na souřadnicovém měřicím stroji Prismo 7. Během roku 2011 bylo provedeno 341 měření a v roce 2012 pak 432 měření, dohromady tedy za dva roky používání výstružníků ze SK 783 měření průměrů a válcovitosti. V rámci rozměrové přesnosti docházelo k občasnému překračování hodnot.

Z celkově naměřených 783 kusů bylo z hlediska průměru vyhodnoceno jako nevyhovující 24 kusů, z hlediska válcovitosti pak 102 kusů. Dohromady tedy bylo vyřazeno 126 nevyhovujících součástí. „Graf 6“ platí pro hodnoty postačující, uvedené v tabulce „Tab. 2“.

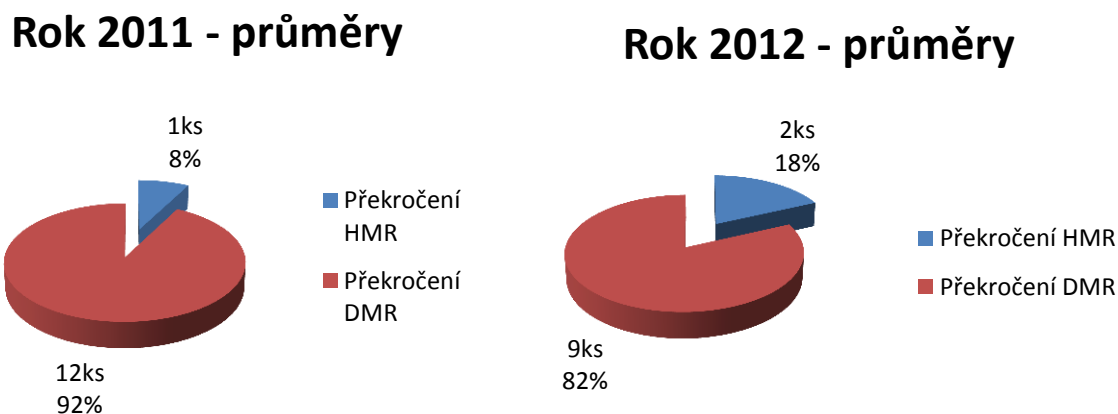


Graf 6 Podíl vyhovujících a nevyhovujících součástí z hlediska válcovitosti a průměru

Z počtu 24 nevyhovujících kusů z hlediska parametru průměru byly 3 ks v hodnotě přesahující horní mez postačujících parametrů, zbytek pak v hodnotách nižších než dolní mezní rozměr.



Graf 7 Podíl nevyhovujících hodnot průměru



Graf 8 Vývoj podílu odchylek od průměru

6.3.2.1 Matematicko-statistická data – válcovitost a průměr

Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8. Pro matematicko-statistické hodnocení bylo využito čtyř ukazatelů. Prvním z nich je průměr naměřených hodnot. Následují procentuální podíly počtu součástí v toleranci resp. mimo toleranci. Dalším parametrem je rozpětí, které charakterizuje, v jakém rozsahu se naměřené hodnoty pohybují, tedy jak moc jsou od sebe vzdáleny maximální a minimální hodnoty. Posledním ukazatelem je rozptyl hodnot. Ten uvádí, jak moc jsou naměřené hodnoty vzdáleny od průměrné hodnoty.

Tab. 3 Matematicko-statistické hodnoty pro válcovitost a průměr při vystružování nástroji ANAJ

	ANAJ				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Válcovitost	0,0076	86,97%	13,03%	0,0259	0,0119
Průměr	12,00378	96,93%	3,07%	0,0130	0,0089

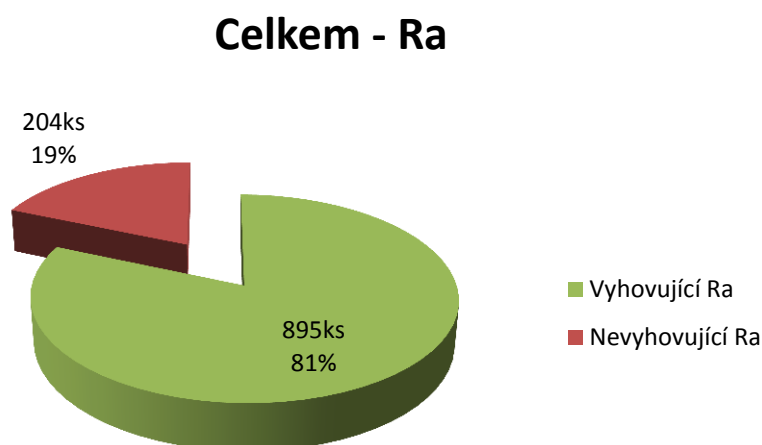
Z hlediska průměru jsou vypočtené hodnoty v pořádku. V případě válcovitosti je vidět vyšší podíl hodnot překračujících tolerance a zároveň s tím i vyšší hodnotu rozptylu, což znamená, že se jednotlivé naměřené hodnoty od sebe výrazněji liší.

6.3.3 Drsnost

Parametry drsnosti byly během aplikace původní technologie kontrolovány na drsnoměru Hommel Wave ETAMIC 8000 v 1 099 případech. Z tohoto počtu bylo 500 měření provedeno v prvním roce používání (2011) a zbylých 599 měření pak bylo provedeno v druhém roce (2012).

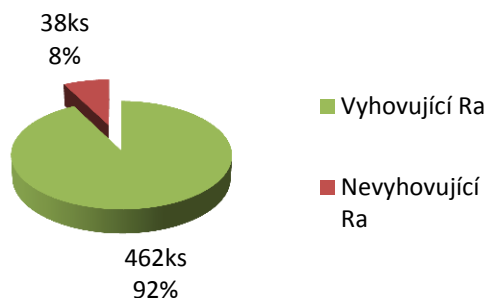
Za nevyhovující součást z hlediska drsnosti se považuje ta součást, která překračuje toleranci alespoň ve třech ze šesti měřených míst.

6.3.3.1 Parametr Ra

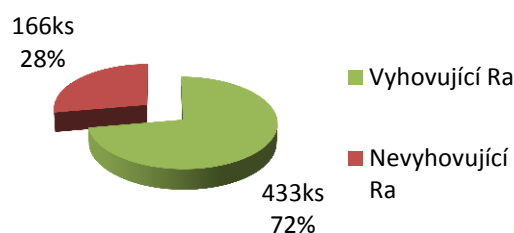


Graf 9 Podíl počtu nevyhovujících součástí z hlediska parametru Ra

ANAJ - Ra - 2011



ANAJ - Ra - 2012



Graf 10 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí z hlediska Ra

Z hlediska výsledků kontroly parametru Ra bylo během používání výstružníků ze slinutého karbidu vyrobeno 19 % nevyhovujících součástí (viz „Graf 9“). Z grafu „Graf 10“ vyplývá, že v porovnání s prvním rokem používání došlo v roce následujícím k 20% nárůstu podílu zmetků

6.3.3.1.1 Matematicko-statistická data – drsnost Ra

Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8. Pro matematicko-statistické hodnocení parametrů drsnosti byly použity stejné ukazatele jako v případě matematicko-statistického vyhodnocení válcovitosti a průměru. V případě parametrů drsnosti však byly výpočty statistických hodnot provedeny šestkrát pro každý parametr, protože hodnoty se měřily v šesti řezech – viz kapitola 5.4.

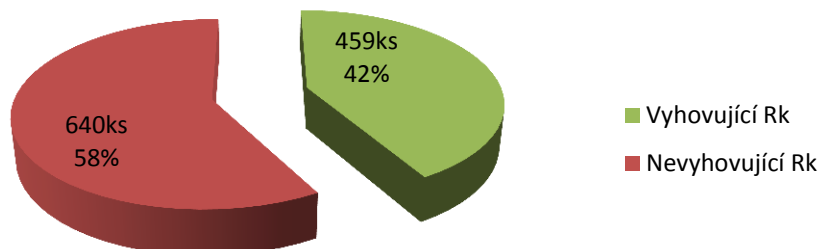
Tab. 4 Matematicko-statistické hodnoty pro drsnost Ra při vystružování nástrojem ANAJ

	ANAJ				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Ra-1	1,2297	74,88%	25,12%	3,29	0,0254
Ra-2	1,2935	72,34%	27,66%	3,16	0,0242
Ra-3	1,2345	73,79%	26,21%	4,28	0,027
Ra-4	1,2704	72,88%	27,12%	3,56	0,0235
Ra-5	1,2685	73,70%	26,30%	3,78	0,0228
Ra-6	1,2758	75,07%	24,93%	3,32	0,0223

Hodnoty průměrů dosahují hodnot okolo $Ra = 1,2\mu m$, což splňuje požadavky, ovšem vysoké hodnoty rozpětí a rozptylu ukazují, že se naměřené hodnoty od tohoto průměru výrazně vzdalují. To je také příčina vyššího podílu součástí mimo toleranci.

6.3.3.2 Parametr Rk

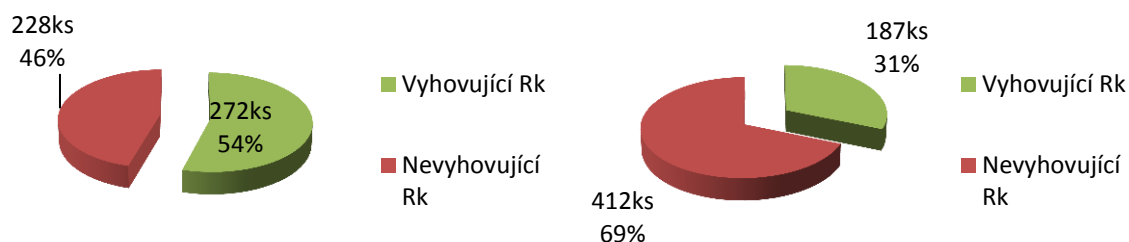
Celkem - Rk



Graf 11 Podíl počtu nevyhovujících součástí z hlediska parametru Rk

ANAJ - Rk - 2011

ANAJ - Rk - 2012



Graf 12 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí z hlediska Rk

6.3.3.2.1 Matematicko-statistická data – drsnost Rk

Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8.

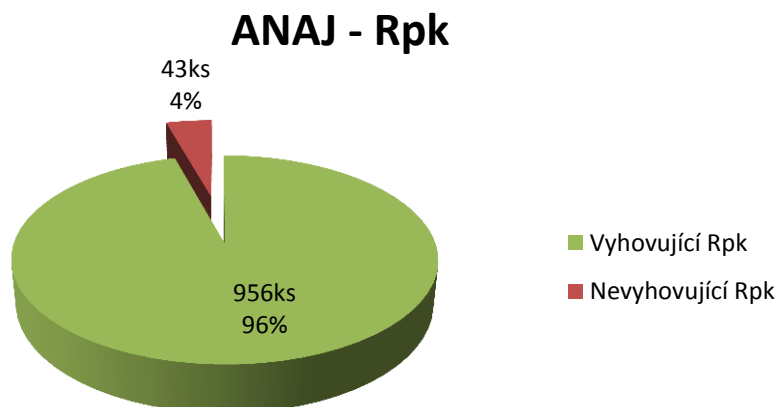
Tab. 5 Matematicko-statistické vyhodnocení drsnosti Rk při vystružování nástrojem ANAJ

	ANAJ				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Rk-1	1,8811	47,40%	52,60%	9,26	0,0321
Rk-2	2,0108	41,49%	58,51%	10,97	0,0334
Rk-3	1,845	47,50%	52,50%	11,11	0,0336
Rk-4	1,9804	42,86%	57,14%	9,35	0,0318
Rk-5	1,9076	44,49%	55,51%	9,2	0,03
Rk-6	1,9212	40,86%	59,14%	8,71	0,0269

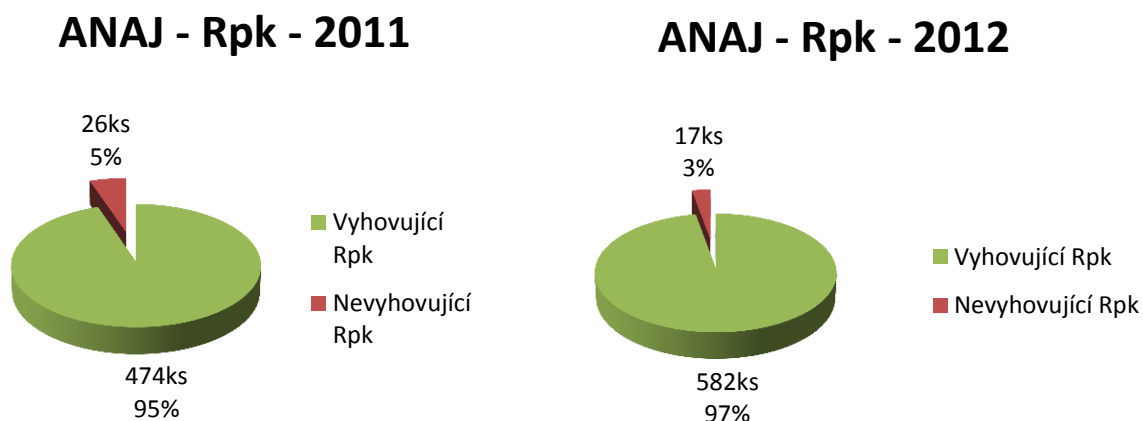
Jak je vidět z předešlých grafů a také statistických hodnot, zásadní problém byl zjištěn při kontrole dodržování předepsaného parametru Rk. Již samotné průměrné hodnoty výrazně přesahují požadovanou hodnotu Rk = 1μm . V případě Rk bylo dosaženo více než poloviční zmetkovitosti, jak je vidět z grafu „Graf 11“. Z toho v druhém roce používání byl poměr

nevyhovujících součástí téměř 70 % (viz „Graf 12“). Z toho vyplývá, že podíl počtu „zmetků“ v průběhu času stále rostl.

6.3.3.3 Parametr Rpk



Graf 13 Podíl počtu nevyhovujících součástí z hlediska parametru Rpk



Graf 14 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí z hlediska Rpk

6.3.3.3.1 Matematicko-statistická data – drsnost Rpk

Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8.

Tab. 6 Matematicko-statistické vyhodnocení drsnosti Rpk při vystružování nástrojem ANAJ

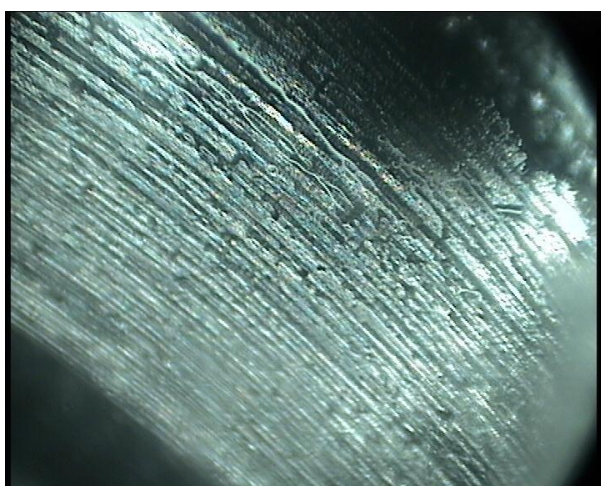
	ANAJ				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Rpk-1	0,3933	91,53%	8,47%	13,85	0,0298
Rpk-2	0,4072	89,90%	10,10%	3,29	0,0216
Rpk-3	0,4036	90,63%	9,37%	2,59	0,0202
Rpk-4	0,4044	90,81%	9,19%	4,73	0,0206
Rpk-5	0,3913	91,08%	8,92%	11,07	0,0212
Rpk-6	0,3732	92,08%	7,92%	7,58	0,0181

V případě kontroly dodržování parametru R_{pk} bylo taktéž odhaleno určité procento nevyhovujících součástí. To však mohlo být způsobeno náhodnými či hrubými chybami. Například špatným zanesením do formuláře výsledků.

6.3.4 Shrnutí

Zásadní problém ve výrobě tedy nastal v oblasti dodržování předepsaných parametrů drsnosti. Během let 2011 a 2012 byly hodnoty drsnosti měřeny v 999 případech. Z výše uvedených grafů vyplývá, že problémy při vystružování byly v případě parametrů drsnosti výrazně vyšší než v případě parametrů válcovitosti a průměru.

Z uvedených grafů zároveň vyplývá, že největší problém nastal u dodržení parametru drsnosti R_k , kde byla dosažena téměř 60% zmetkovitost. O nízkém podílu nevyhovujících výrobků se nedá mluvit ani v případě drsnosti R_a , kde dosáhla zmetkovitost hodnoty osmnácti procent. Nekvalitní povrch je vidět i na fotografickém snímku pořízeném na endoskopu KARL – STORZ.



Obr. 41 Fotografický snímek povrchu obrobku vystruženého z SK.

Výše uvedené grafy odpovídají skutečnosti, že výstružníky ze slinutého karbidu zpočátku dosahovaly požadovaných výsledků. Postupem času se však jejich kvalita zhoršovala a s tím ruku v ruce rostl i podíl „zmetků“, který v roce 2012 dosahoval vysokých hodnot.

Nedodržování požadovaných parametrů mělo za následek problémy s montáží a především zasekávání pístů servoventilu během pohybu, což neumožňovalo fungování servoventilu a s ním celé sestavy hydrostatického obvodu. Tím rostly ruku v ruce náklady na kontrolu, vznikaly velké časové ztráty a problémy s plněním plánovaného objemu výroby.

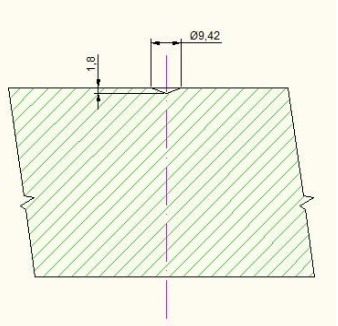
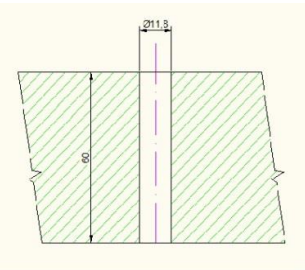
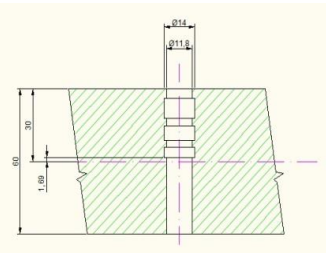
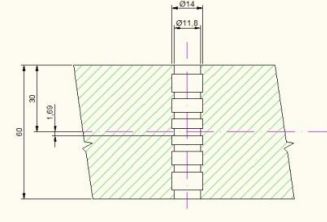
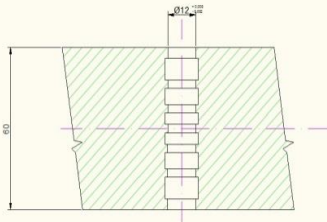
Na základě těchto problémů bylo rozhodnuto o vývoji nových nástrojů. Z důvodu nutné produkce však nebylo možné přerušit výrobu, dokud nebudou vyvinuty nové výstružníky, a i přes velké ztráty tak byly původní výstružníky nadále používány, i za cenu výše zmíněných problémů.

7. Nová technologie – aplikace cermetového výstružníku

Na základě problémů popsanych v předchozí kapitole byl po testování výstružníků více společností vybrán cermetový výstružník od společností HAM-FINAL.

Tato kapitola je strukturována stejně jako kapitola věnovaná původní technologii.

7.1 Technologický postup

	Materiál GG25	Stroj Elha FMX+3	Chlazení Sarol CL100 Plus - konc. 7%	Pevnost 250 MPa	
Operace	Navrtání Ø12	Vrtání Ø11,8	Frézování zápichů C1	Frézování zápichů C2	Vystružování Ø12
Nástroj	Vrták Ø12	Šroubový vrták Ø11,8	Tvarová fréza Ø8x5,6x8x70	Tvarová fréza Ø8x5,6x8x70	Výstružník Ø12 HAM-FINAL
Materiál	SK + TiAlN	SK + TiN	SK + TiAlN	SK + TiAlN	Cermet SC7
Upínání		Hydraulický upínač	Hydraulický upínač	Hydraulický upínač	Hydraulický upínač
					
Počet zubů [-]	2	2	4	4	12
Vc [m/min]	80	100	38	38	150
n [ot/min]	2100	2700	1500	1500	4000
f _{ot} [mm/ot]	0,2	0,1	0,13	0,13	0,17
f _z [mm/zub]	0,1	0,046	0,033	0,033	0,083
V _f [mm/min]	424	250	200	200	200

7.2 Výstružník HAM – FINAL

Pro vystružovací operaci v novém technologickém postupu byl využit výstružník společnosti HAM-FINAL s břity z cermetu.



Obr. 42 Výstružník HAM-FINAL

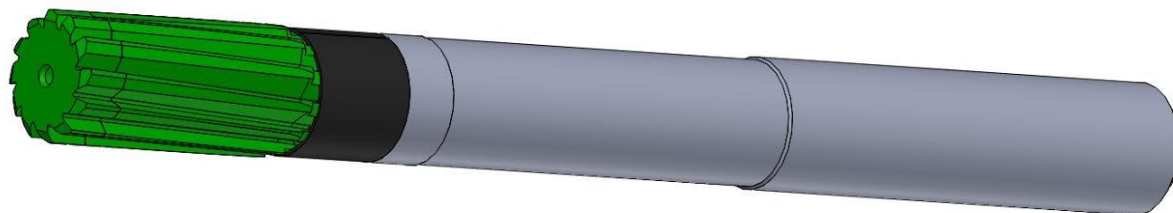
Parametry nástroje:

Označení:	D12 0,008-0,006 HAM-FINAL 6320-535
Počet zubů:	12
Tenká vrstva:	-
Cena:	124 EUR
Cena přeoštění:	124 EUR
Otáčky:	$n = 4\,000$ ot/min
Posuv na otáčku:	$f_{ot} = 4\,000$ mm/min
Posuv na zub:	$f_z = 0,083$ mm/z
Řezná rychlost:	$v_c = 150$ m/min
Čas vystružování:	0,95s

V případě používání výstružníku HAM-FINAL s břity z cermetu je přiváděna chladicí kapalina vnitřkem nástroje přesně k jednotlivým břitům, pod nerezovým kroužkem u řezné části. To umožňuje lepší odvod třísek z místa řezu a zároveň udržování stálé teploty řezné části, čímž se zabrání teplotním skokům.

Další změnou bylo zvolení cermetu jako řezného materiálu. Tím je umožněno zvýšení řezných podmínek a tím zvýšení produktivity.

Další změna je v počtu zubů řezné části.



Obr. 43 Model nástroje HAM-FINAL - zelená barva=řezná část; černá barva=nerezový kroužek; šedá barva=tělo nástroje

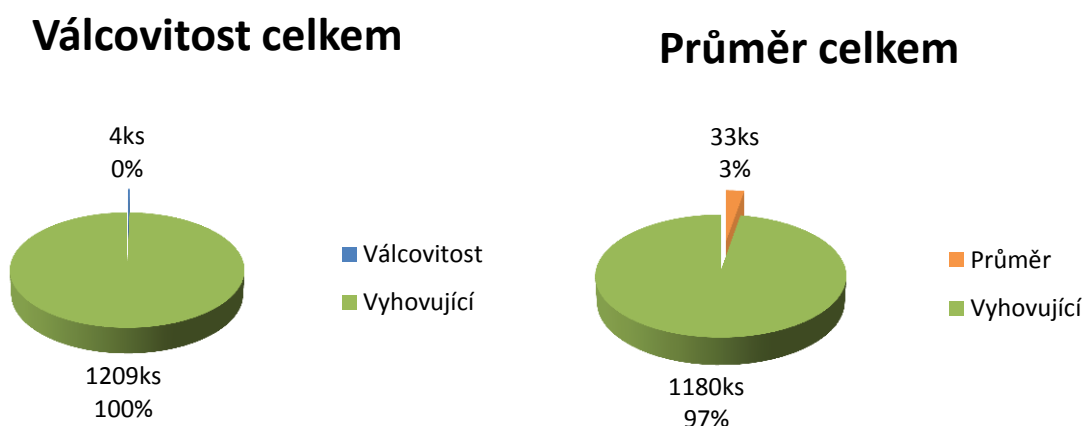
7.3 Dosahované výsledky

7.3.1 Úvod

Aplikace nástrojů HAM-FINAL z cermetu proběhla v roce 2013 po dlouhodobém zkoušení různých variant a dodavatelů. Naměřené hodnoty jsou z prvních dvou let používání nástrojů, přesněji rok 2013 až říjen 2014.

7.3.2 Průměr a válcovitost

Během této doby bylo kontrolováno 1 213 součástí z hlediska průměru a válcovitosti. Měření byla provedena na souřadnicovém měřicím stroji Prismo 7. Z těchto měření bylo 765 součástí kontrolováno v roce 2013 a 448 v roce 2014. Z tohoto počtu kontrol bylo pouze 33 součástí vyhodnoceno jako nevyhovujících z hlediska průměru a 4 kusy z hlediska válcovitosti díry. Dohromady tedy 37 nevyhovujících součástí.



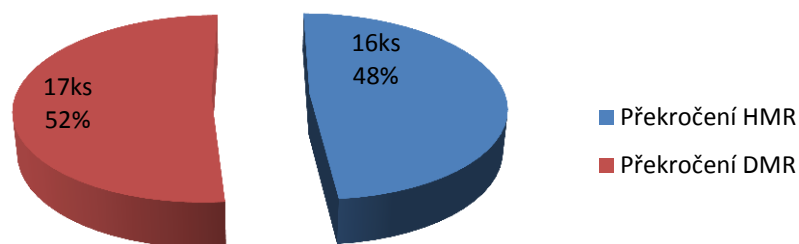
Graf 15 Podíl nevyhovujících parametrů z hlediska průměru a válcovitosti

Podíl chyb z hlediska průměru díry je uveden v grafu „Graf 16“, ten ukazuje, že je počet děr přesahujících HMR a DMR celkově vyrovnaný. V levé části grafu „Graf 17“ pro rok 2013 je vidět, že v počátku aplikace nových nástrojů docházelo k výrobě vyššího počtu děr s odchylkou pod dolní mezní rozměr. Příčinou tohoto problému bylo nadměrné opotřebení nástroje, které bylo způsobeno stržením ocelového kroužku a tím zhoršenými podmínkami při chlazení. Tento problém byl vyřešen použitím ocelového kroužku s větší tloušťkou. Což je patrné z nižšího počtu hodnot pod DMR v roce následujícím.

Graf pro rok 2014 již odchylky pod DMR nezobrazuje, zato je vidět vyšší výskyt hodnot nad HMR, což odpovídá skutečnosti, že prvních 64 kusů při upnutí nového výstružníku je vyráběno nad horním mezním rozměrem. To je způsobeno zaříznutím nástroje.

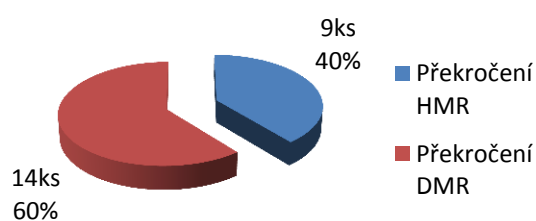
Větší průměr díry by mohl způsobit problémy s odlišným průtočným množstvím pracovní kapaliny v součásti. Tento problém byl vyřešen vložením podprogramu, který právě pro prvních 64 kusů odpovídajícím způsobem zmenší související rozměr, čímž je zajištěn stejný průtok kapaliny. Po obrobení těchto součástí se podprogram vypne.

Celkem

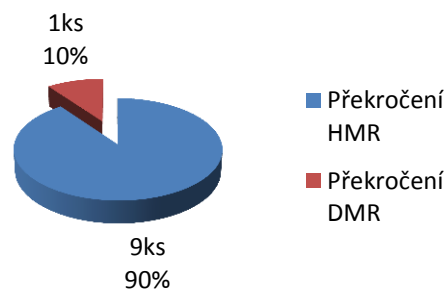


Graf 16 Podíl hodnot odchylek od tolerance průměru

Chyby průměru 2013



Chyby průměru 2014



Graf 17 Vývoj podílu odchylek od průměru

7.3.2.1 Matematicko-statistická data – válcovitost a průměr

Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8.

Tab. 7 Matematicko-statistické hodnoty pro válcovitost a průměr při vystružování nástroji HAM-FINAL

	HAM-FINAL				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Válcovitost	0,00620	99,67%	0,33%	0,34010	0,0034
Průměr	12,00435	97,28%	2,72%	0,01550	0,00744

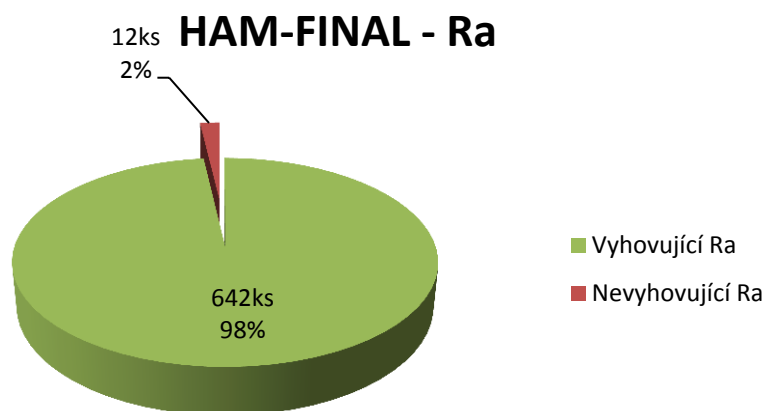
Hodnota rozptylu pro válcovitost je v případě výstružníků HAM-FINAL o řád nižší než u výstružníků ANAJ, což ukazuje, že se naměřené hodnoty výrazně méně vzdalují od průměru, který leží v toleranci. Vysoké rozpětí je dáno extrémní hodnotou, která se dá ovšem považovat za hrubou chybu při měření.

Průměr v případě rozměrové tolerance je o něco vyšší než v u původní technologie, ale opět je i v tomto případě nižší hodnota rozptylu, a tedy se jednotlivé naměřené hodnoty liší od té průměrné méně a velké procento součástí se pohybuje v toleranci.

7.3.3 Drsnost

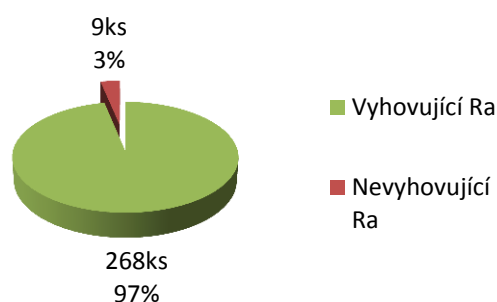
Během daného období bylo na drsnoměru Hommel Wave ETAMIC 8000 provedeno 654 měření drsnosti. Naměřené hodnoty byly výrazně lepší než v případě původní technologie. Výsledky jsou opět vyjádřeny pomocí grafů.

7.3.3.1 Parametr Ra

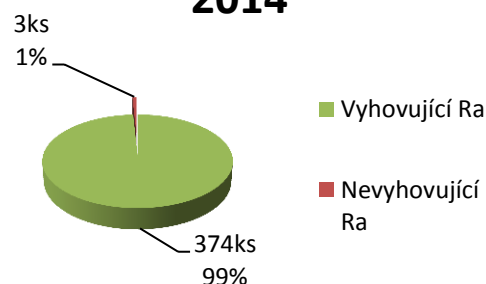


Graf 18 Podíl počtu nevyhovujících součástí z hlediska parametru Ra

HAM-FINAL - Ra - 2013



HAM-FINAL - Ra - 2014



Graf 19 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí z hlediska Ra

7.3.3.1.1 Matematicko-statistická data – drsnost Ra

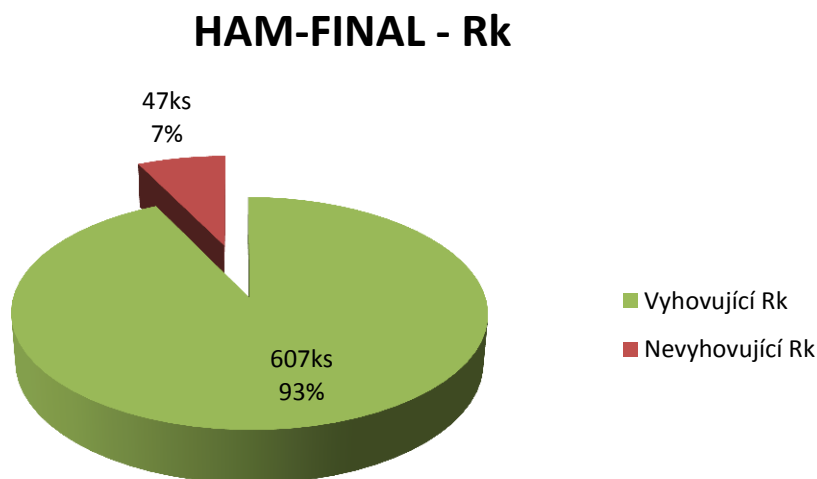
Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8.

Tab. 8 Matematicko-statistické hodnoty pro drsnost Ra při vystružování nástrojem HAM-FINAL

	HAM-FINAL				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Ra-1	0,7125	94,25%	5,75%	3,07	0,0419
Ra-2	0,7664	92,08%	7,92%	3,29	0,0445
Ra-3	0,7203	91,77%	8,23%	4,65	0,0558
Ra-4	0,6998	93,79%	6,21%	4,2	0,0397
Ra-5	0,7368	94,41%	5,59%	2,39	0,0383
Ra-6	0,7362	95,50%	4,50%	3,3	0,0344

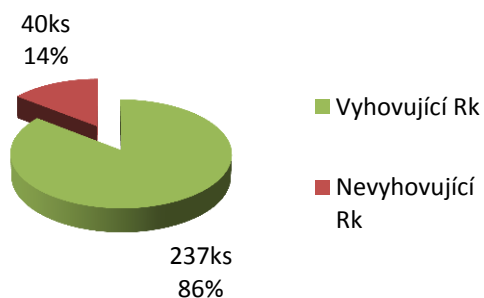
Ačkoliv nabývají hodnoty rozptýlů téměř dvojnásobných hodnot oproti původní technologii, nemá tento parametr výrazný vliv na podíl množství hodnot mimo/v toleranci. To je dáno tím, že průměrné hodnoty Ra se oproti původní technologii snížili téměř o 0,5 μm .

7.3.3.2 Parametr Rk

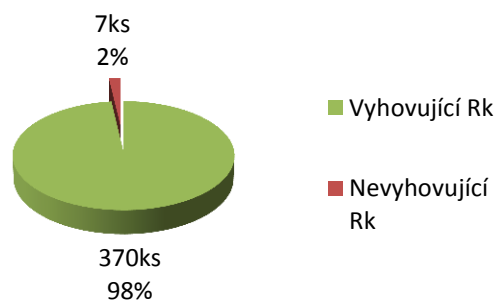


Graf 20 Podíl počtu nevyhovujících součástí z hlediska parametru Rk

HAM-FINAL - Rk - 2013



HAM-FINAL- Rk - 2014



Graf 21 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí z hlediska Rk

7.3.3.2.1 Matematicko-statistická data – drsnost Rk

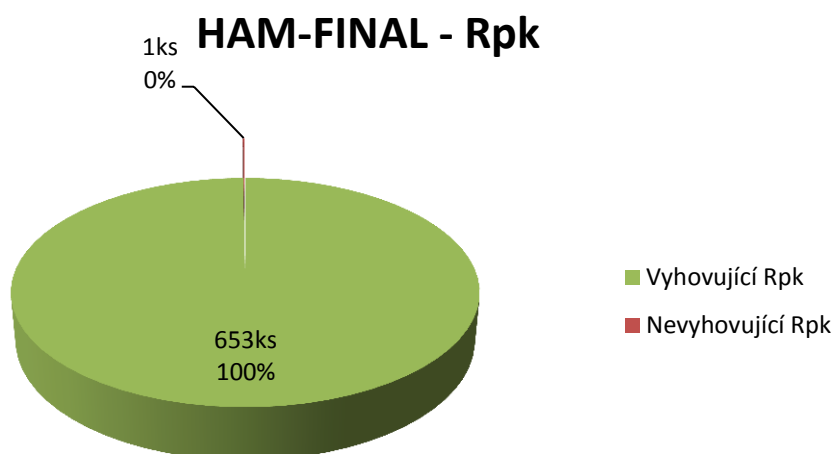
Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8.

Tab. 9 Matematicko-statistické vyhodnocení drsnosti Rk při vystružování nástrojem HAM-FINAL

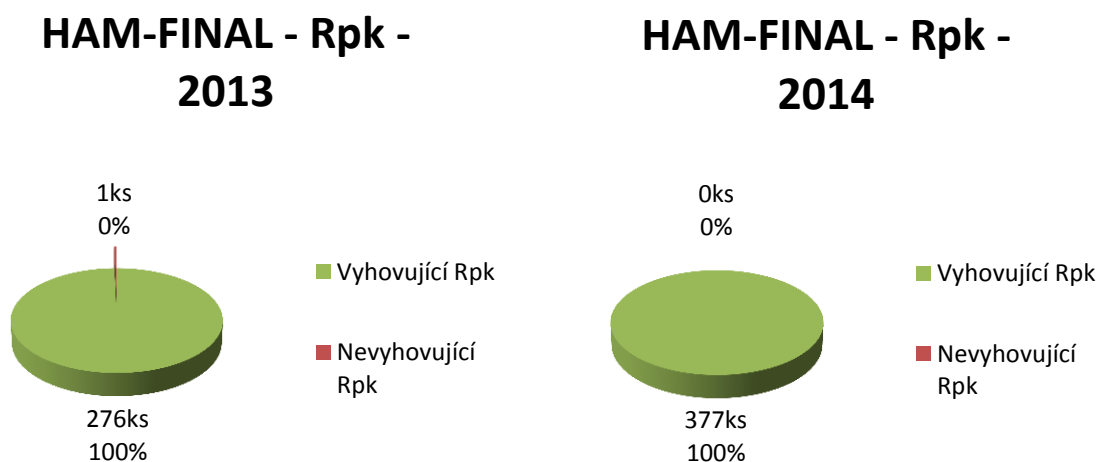
	HAM-FINAL				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Rk-1	0,8744	89,44%	10,56%	5,95	0,0088
Rk-2	0,8725	89,75%	10,25%	6,9	0,0099
Rk-3	0,8143	89,44%	10,56%	6,11	0,0089
Rk-4	0,88	88,67%	11,33%	4,98	0,0087
Rk-5	0,8199	92,24%	7,76%	6,38	0,0078
Rk-6	0,8702	90,22%	9,78%	5,41	0,0079

Zde je vidět zásadní přínos nové technologie. Průměrné hodnoty jsou o 1 μm nižší než u výstružníků ze slinutého karbidu, zároveň jsou jednotlivé hodnoty od těch průměrných jen minimálně rozptýleny, což vede až k devadesátiprocentním podílům vyhovujících hodnot.

7.3.3.3 Parametr Rpk



Graf 22 Podíl počtu nevyhovujících součástí z hlediska parametru Rpk



Graf 23 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí z hlediska Rpk

7.3.3.3.1 Matematicko-statistická data – drsnost Rpk

Naměřené hodnoty použité pro výpočty jsou graficky zaznamenány v příloze 8.

Tab. 10 Matematicko-statistické vyhodnocení drsnosti Rpk při vystružování nástrojem HAM-FINAL

	HAM-FINAL				
	\bar{x}	<T>	>T<	Rozpětí	Rozptyl
Rpk-1	0,3192	96,74%	3,26%	1,51	0,0123
Rpk-2	0,3283	96,89%	3,11%	2,41	0,015
Rpk-3	0,3378	95,34%	4,66%	3,91	0,0201
Rpk-4	0,3118	97,20%	2,80%	3,23	0,0145
Rpk-5	0,2876	97,05%	2,95%	2,33	0,0125
Rpk-6	0,3062	96,27%	3,73%	1,88	0,0127

V případě parametru Rpk jsou všechny hodnoty ve velmi malém rozptylu. Drsnosti naměřené v jednotlivých řezech jsou jen v minimálním množství mimo toleranci a v součtu dávají jen jednu jedinou součást jako nevyhovující – viz Graf 22.

7.3.4 Shrnutí

Bohužel vzhledem k organizačním problémům v době sbírání dat byly do naměřených hodnot zaneseny hrubé chyby. Přestože jsou tedy v grafech vidět součásti nevyhovující předepsaným parametrům (např. v grafu „Graf 21“ se nachází 40 ks nevyhovujících součástí z hlediska Rk), může se jednat o zanesení testování jiného nástroje do databáze, nebo také o měření zcela odlišných součástí, či o nesprávné nastavení měřicího nebo vyhodnocovacího SW. Pro funkčnost ve skutečnosti nebyl vyřazen jediný kus z důvodu nevyhovující drsnosti obráběné plochy.



Obr. 44 Fotografický snímek povrchu obrobku vystruženého z cermetu.

O zřetelném zlepšení kvality obrobku z hlediska mikrogeometrie vypovídá také fotografický snímek z endoskopu (Obr. 44).

8. Přínosy nové technologie

Jedinou, zato však zásadní, změnou technologie obrábění definované díry je změna výstružníku. Původní nástroj ANAJ ze slinutého karbidu a s tenkou vrstvou TiAlN nahradil výstružník HAM-FINAL z cermetu. V této kapitole jsou popsány tři zásadní změny v konstrukci cermetového výstružníku oproti výstružníku ze slinutého karbidu a také to, jaké přínosy s sebou tyto změny přinesly. První změnou je odlišný řezný materiál - cermet. Přínos cermetu pro vystružování je vysvětlen na výsledcích experimentu. Další změnou je odlišný počet zubů a třetí změnou je odlišný způsob vedení chladicí kapaliny.

8.1.1 Řezný materiál

Nejvýraznějším problémem při výrobě díry bylo dosahování předepsaných parametrů drsnosti. V tomto směru byla hlavním přínosem změna řezného materiálu nástroje. Jaký vliv na kvalitu povrchu díry má použití cermetového výstružníku v porovnání s výstružníkem ze slinutého karbidu, bylo zjišťováno na Katedře technologie obrábění Západočeské univerzity v Plzni, kde byl proveden experiment, jehož cílem bylo porovnat vliv řezného materiálu na kvalitu a rozměr obráběné díry.

8.1.1.1 Parametry experimentu

Podobně jako v případě vystružování díry v tělese servoventilu byla pro případ experimentu využita díra se jmenovitým rozměrem 12 mm, ovšem s tolerancí H7.

Podmínky experimentu i druhy nástrojů korespondují se situací, o které pojednává tato práce. Pouze se posuzují odlišné parametry drsnosti – v experimentu Ra a Rz. Jednou z variant byl výstružník ze slinutého karbidu s nadeponovanou tenkou vrstvou TiAlN, druhým nástrojem pak výstružník z cermetu. Obráběným materiálem byla litina.

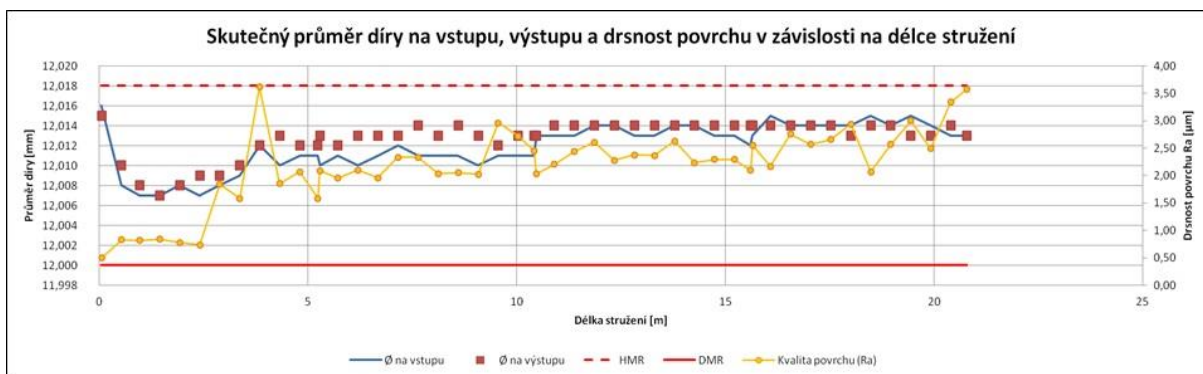
Tab. 11 Parametry experimentu

Řezný materiál	vc [m/min]	fz [mm/min]	n [1/min]	vf [m/min]
SK	60	0,12	1 592	1 146
Cermet	150	0,1	3 980	2 387

8.1.1.2 Výsledky experimentu

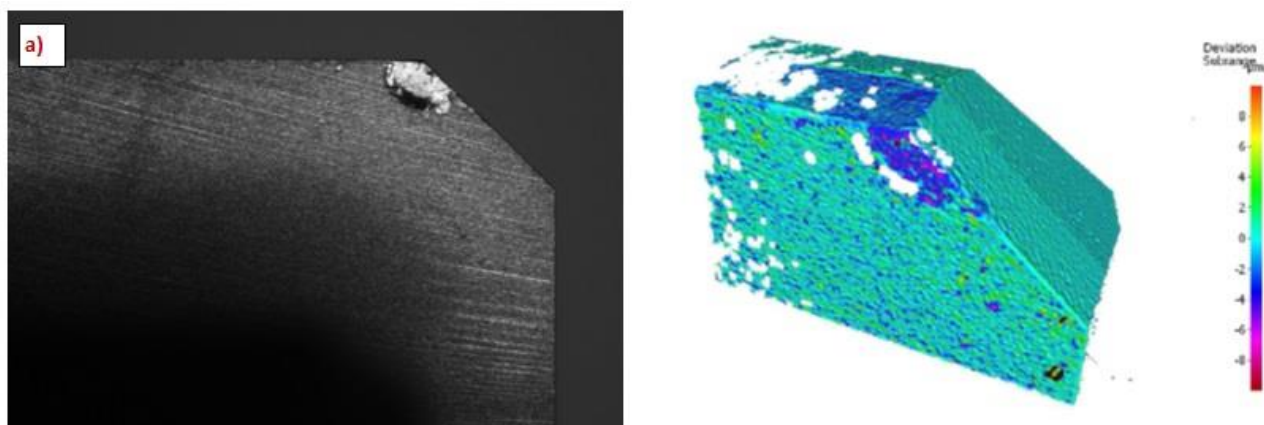
8.1.1.2.1 SK výstružníky

Z přiloženého grafu „Graf 24“ zobrazujícího závislosti průměru a drsnosti povrchu na stružené délce je patrné, že hned v počátku došlo k prudkému poklesu hodnoty průměru doprovázeného nárůstem parametru drsnosti Ra. Parametr drsnosti povrchu tak přesáhl hodnotu pro IT7 hned po cca 3 m. V dalším průběhu experimentu dosáhla drsnost až hodnot Ra = 3,5 μ m.



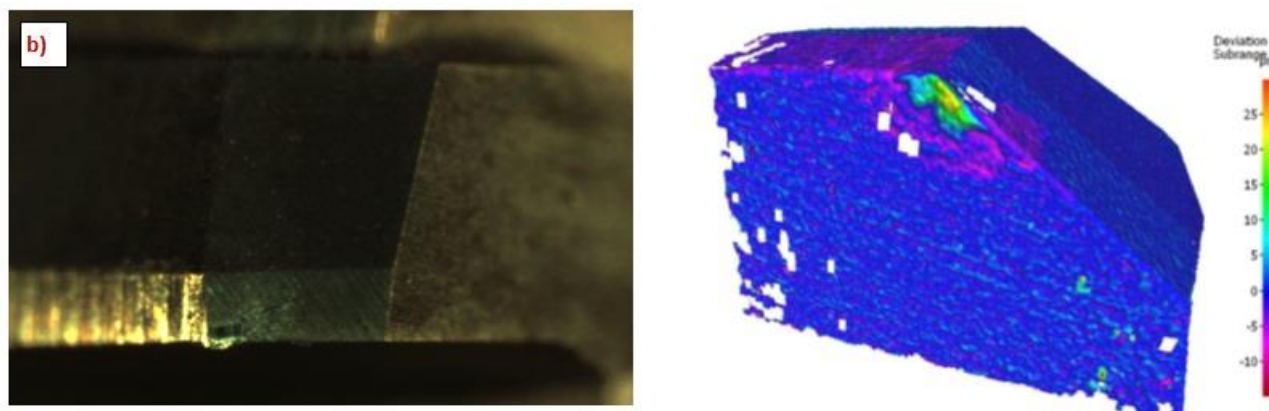
Graf 24 Průběh parametrů drsnosti (Ra) a průměru na vstupu a výstupu při vystružování výstružníkem ze SK

Na základě nevyhovujících parametrů drsnosti při experimentu vystružování nástrojem ze slinutého karbidu byla provedena diferenční analýza tohoto nástroje. Při ní byl naměřen úbytek materiálu na čele nože v hodnotách okolo 2 až 4 mikrometrů (viz Obr. 45). Tyto hodnoty odpovídají tloušťce nadeponované vrstvy TiAlN, z čehož se dá odvodit, že došlo ke stržení této tenké vrstvy.



Obr. 45 Vlevo fotografie čela nástroje; vpravo model diferenční analýzy zobrazující záporné hodnoty stržené tenké vrstvy

Při dalším proměření nástroje a diferenční analýzy bylo zjištěno, že stržení tenké vrstvy TiAlN mělo za následek vznik nárůstku (viz kladné hodnoty na modelu diferenční analýzy Obr. 46), který byl příčinou vzniku nekvalitního povrchu.



Obr. 46 Vlevo fotografie hlavního břitu nástroje; vpravo diferenční analýza zobrazující kladné hodnoty nárůstku

8.1.1.2 Cermetové výstružníky

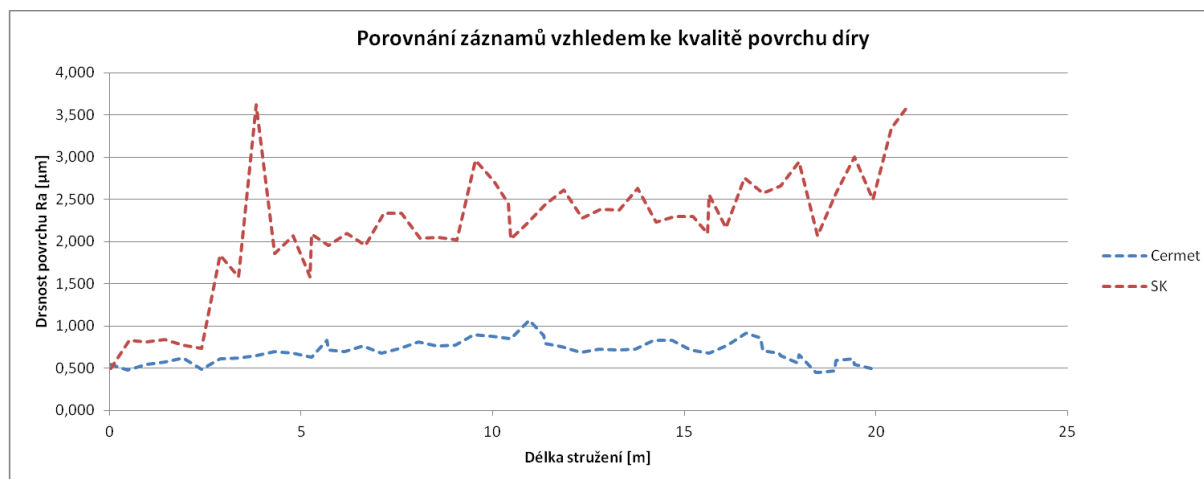
Naměřené hodnoty průměrů u výstružníků z cermetu (viz Graf 25) se v počátku experimentu velmi blížily k horní hranici tolerance a v jeho průběhu velmi pozvolna klesaly, přičemž po dvaceti metrech stružení dosáhly hodnoty cca 12,006 mm. Hodnoty drsnosti povrchu Ra po celý průběh experimentu nepřekročily hodnotu $Ra = 1,2\mu\text{m}$.



Graf 25 Průběh parametrů drsnosti (Ra) a průměru na vstupu a výstupu při vystružování výstružníkem z cermetu

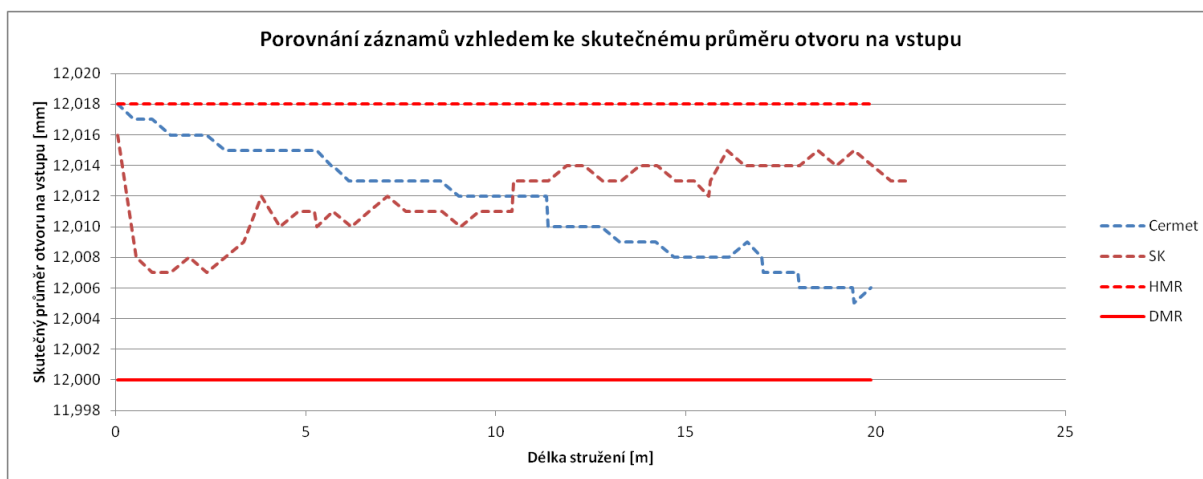
8.1.1.3 Aplikace experimentu na řešenou problematiku

Jak je vidět na grafu „Graf 26“ použití cermetu pro vystružování má výrazný vliv na parametry drsnosti. Hodnoty pro nástroj ze slinutého karbidu dosahují předepsaných parametrů pouze ve velmi krátkém úseku v počátku obrábění. Poté dojde ke stržení tenké vrstvy a vzniku nárůstku, jehož vlivem je pak dosahováno hodnot Ra až 3x vyšších.



Graf 26 Vzájemné porovnání průběhu parametru drsnosti Ra pro výstružníky z Cermetu a SK

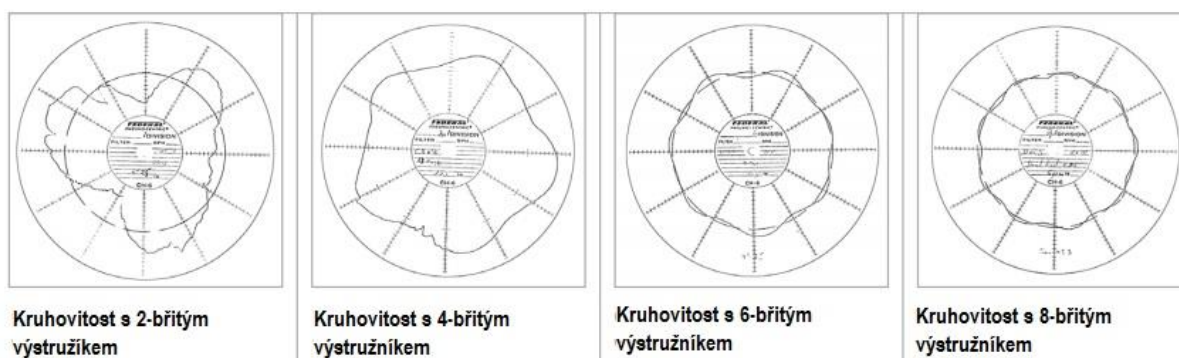
Zároveň je z grafu „Graf 27“ patrné, že změna materiálu nemá výraznější vliv na rozměr díry. Vysoké počáteční hodnoty průměru pro nástroj z cermetu odpovídají skutečnosti, že se nástroje musí nejprve zaříznout. To koresponduje se skutečností z řešení této diplomové práce, kdy ve výrobě je právě z důvodu překračování HMR nutné pro prvních 64 ks zmenšovat související rozměr na vyráběné součásti (viz kapitola 7.3.2).



Graf 27 Vzájemné porovnání průběhu parametru průměru pro výstružníky z Cermetu a SK

8.1.2 Počet zubů na výstružníku

Zvýšení počtu zubů nástroje z původních 8 zubů na výstružníku ze slinutého karbidu na současných 12 zubů na výstružníku HAM-FINAL z cermetu má příznivý vliv na kvalitu díry z hlediska kruhovitosti a tedy i válcovitosti. S rostoucím počtem zubů výstružníku se zvyšuje i n-hranost obráběné díry. S rostoucím počtem hran však zároveň dochází k jejich zmenšování, což se projeví na výsledné odchylce kruhovitosti. Vliv počtu zubů na počtu a výšce vln je vidět na obrázku „Obr. 47“.



Obr. 47 Vliv počtu zubů výstružníku na kruhovitost [16]

8.1.3 Vnitřní přívod chladicí kapaliny

Jak již bylo nastíněno v kapitole „3.3“, mají cermety nižší tepelnou vodivost než slinuté karbidy. Z tohoto důvodu je nutné klást větší důraz na teplotní stabilitu procesu řezání. V situaci popisované v této práci bylo v případě nové technologie s cermetovým výstružníkem HAM-FINAL použito vnitřní vedení chladicí kapaliny. Chladicí kapalina je vedena vnitřkem nástroje až pod nerezový kroužek, který se nachází přímo u řezné části nástroje. Tím je zaručeno chlazení přímo v místě oddělování třísky. To má zároveň pozitivní vliv na lepší odvod třísky z místa řezu.



Obr. 48 Způsob chlazení SK výstružníků a cermetového výstružníku HAM-FINAL

V případě původní technologie byla chladicí kapalina vedena vně nástroje drážkami a ústila v blízkosti upínací části. Nebylo tedy zaručeno, že bude chladicí kapalina přivedena přímo k místu řezu. V takovém případě pak může docházet k teplotním výkyvům, které by měly za následek vznik trhlin.

9. Technicko-ekonomické hodnocení

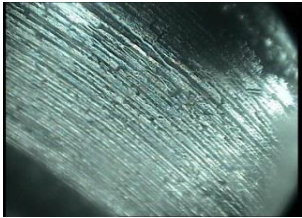

9.1 Technické hodnocení

Z technického hlediska by se přínosy nové technologie daly rozdělit do dvou oblastí, a to kvantitativní a kvalitativní. Hledisko kvalitativní je nejlépe vidět v množství nevyhovujících součástí v průběhu let používání výstružníků ANAJ a následně HAM-FINAL. Dalším přínosem nové technologie pak bylo umožnění vyšších posuvů a řezné rychlosti, což mělo za následek výrazný pozitivní dopad na produktivitu výroby.

9.1.1 Přínos kvalitativní

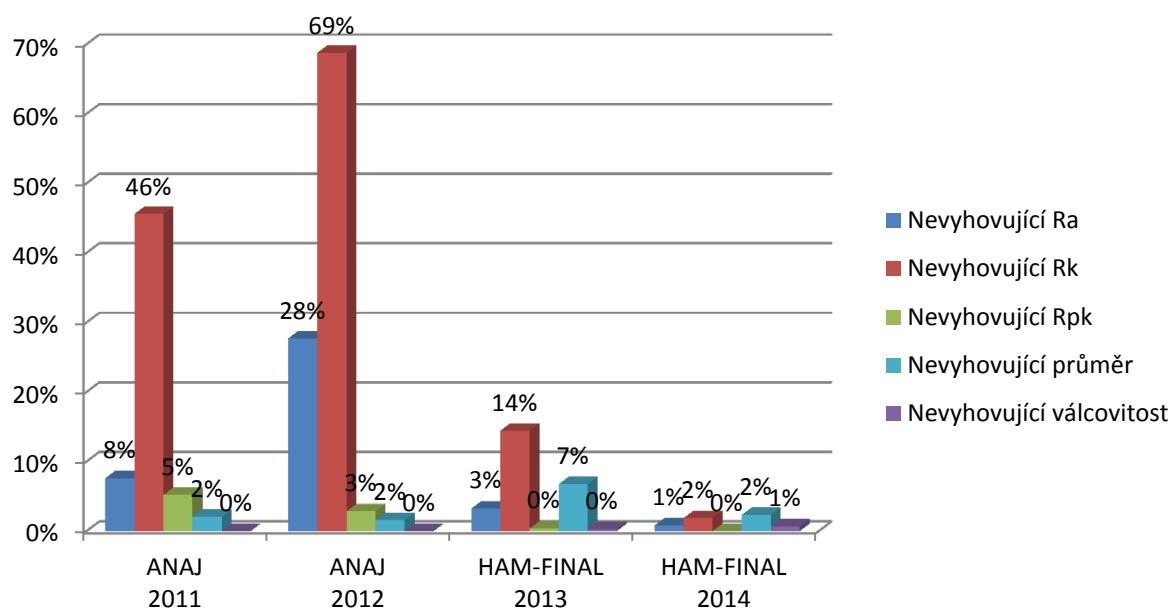
V následující tabulce lze vidět přehled srovnání obou variant technologií.

Tab. 12 Srovnání variant

	ANAJ	HAM-FINAL
Otáčky [1/min]	796	4 000
Posuv do řezu [mm/min]	200	4 000
Posuv z řezu [mm/min]	200	5 000
Čas operace [s]	37,8	1,74
Denní produkce [ks]	270	300
Cena nástroje [EUR]	230	124
Cena ostření [EUR]	22	124
Trvanlivost [ks]	420	450
Počet ostření	3	8
Kvalita povrchu		

Základním přínosem nové technologie s cermetovými výstružníky HAM-FINAL bylo zajištění spolehlivosti procesu. Výrazný pokles zmetkovitosti všech kontrolovaných parametrů je vidět z následujícího grafu „Graf 28“.

Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí dle kontrolovaných parametrů



Graf 28 Vývoj podílu počtu nevyhovujících součástí dle kontrolovaných parametrů

9.1.2 Přínos kvantitativní

Dalším přínosem nové technologie bylo umožnění vyšších řezných podmínek a s tím související časové úspory. To je dáno samotnými parametry řezného materiálu. Vyšší tvrdost cermetu umožňuje použití výrazně vyšších řezných podmínek. Z hlediska úspor času jsou pak nejdůležitějšími hodnotami posuvy do řezu a z řezu. Zatímco v původní technologii byly posuvy z/do řezu rovny hodnotě 200 mm/min, v případě nové technologie jsou tyto hodnoty 20-25x vyšší. Jak se tato skutečnost promítne v úspoře časové, je nastíněno v kapitole „9.1.2.1“. Následný dopad na finanční stránku je zmíněn v kapitole 9.3.

9.1.2.1 Časová úspora

V této podkapitole je popsán přínos nové technologie z hlediska vyrobených kusů na pracovišti, tedy časových úspor.

Výpočet hodnoty času pro výstružník ANAJ:

$$t_{A1} = \frac{l}{v_f} = \frac{63}{200} = 0,315 \text{ min} \quad (1)$$

Délka $l = 63$ je dána rozměrem hloubkou vystružované díry (60mm) a hodnotou přejezdu (3mm).

Hodnota zpětného posuvu t_{A2} je stejná (200 mm/min) a tedy i čas bude shodný.

Celkový čas má tedy hodnotu $t_A = 0,63$ minuty.

Pro vystružování cermetovým výstružníkem postupujeme stejně:

$$t_{H-F1} = \frac{1}{v_f} = \frac{63}{4\,000} = 0,016 \text{ min} \quad (2)$$

Čas zpětného posuvu:

$$t_{H-F2} = \frac{1}{v_f} = \frac{63}{5\,000} = 0,013 \text{ min} \quad (3)$$

Celkový čas pro výstružník HAM-FINAL tedy bude roven:

$$t_{H-F} = 0,016 + 0,013 = 0,029 \text{ min} \quad (4)$$

Úspora času na jeden obrobek je dána rozdílem časů obou variant, tedy:

$$t_{ks} = t_A - t_{H-F} = 0,63 - 0,029 = 0,601 \text{ min.} \quad (5)$$

Tab. 13 Časové úspory

Nástroj	Vystružovaná délka [mm]	Posuvová rychlost [mm/min]	Zpětný posuv [mm/min]	Čas operace [min]	Čas zpětného posuvu [min]	Celkový čas kus [min]
ANAJ	63	200	200	0,315	0,315	0,63
Ham-Final	63	4 000	5 000	0,016	0,013	0,029
				Úspora času na 1 ks [min]		0,601

Dále vycházíme z faktu, že při původní technologii bylo vyráběno 90ks/směnu.

Jestliže jedna směna trvá 8 hodin (tj. 480 minut), pak kompletní obrobek jednoho kusu výrobku spočteme jednoduše:

$$t_{obrA} = \frac{T_{směny}}{k_A} = \frac{480}{90} = 5,4 \text{ minuty.} \quad (6)$$

- k_A = množství vyrobených kusů za směnu při původní technologii

Jestliže se při použití cermetového výstružníku HAM-FINAL uspoří 0,601 minuty (5), pak čas obrábění jednoho kusu bude:

$$t_{obrH-F} = t_{obrA} - 0,601 = 4,79 \text{ minuty} \quad (7)$$

Vyráběné množství za směnu při nové technologii je pak:

$$k_{H-F} = \frac{t_{směny}}{t_{obrH-F}} = \frac{480}{4,79} = 100 \text{ ks.} \quad (8)$$

Za jednu směnu tedy můžeme vyrobit o 10ks více než při původní technologii, v třisměnném provozu tedy za den o 30ks více.

Tab. 14 Vyráběné množství

Nástroj	Směna [ks]	Den [ks]
ANAJ	90	270
Ham-Final	100	300
Celkem	10	30

9.2 Ekonomické hodnocení

9.2.1 Ekonomické hledisko - náklady na nástroje

Tato část bude zaměřena na hodnocení aplikace nových cermetových nástrojů z hlediska nákladů na nástroje. Pro vyhodnocení byl k dispozici předběžný propočet, protože vzhledem k rozsáhlému testování různých nástrojů a různých řezných podmínek nemají reálné počty odebraných nástrojů správnou vypovídající hodnotu a výpočet mohou zkreslovat. Náklady na nástroje jsou počítány pro období jednoho roku.

Tab. 15 Propočty nákladů na nástroje

	ANAJ	HAM-FINAL
Počet obrobků za dané období [ks]	120 000	
Životnost nového nástroje [ks]	400	420
Koeficient životnosti nástroje	0,7	0,95
Počet ostření/nástroj	3	8
Počet nových nástrojů za dané období [ks]	107,14	33,42
Zhotovené obrobky novými nástroji [ks]	42 857,14	14 035,09
Zhotovené obrobky ostřenými nástroji [ks]	77 143	105 964,91
Počet ostření za dané období	321,43	267,34
Náklady na nový nástroj [€]	230,00	124,00
Náklady na ostřený nástroj [€]	22,00	124,00
Celkové náklady na nástroje za dané období [€]	31 714,29	37 293,23
Celkové náklady na nástroje na obrobek [€]	0,26	0,31

Princip výpočtů v tabulce „Tab. 15“ odpovídá propočtům aplikovaným společností HAM-FINAL a použitá data byla definována ve spolupráci zodpovědných zástupců společností HAM-FINAL a Danfoss Power Solutions. Žlutě jsou vyznačena data předem definovaných hodnot, zbylé hodnoty jsou výsledkem propočtu.

Propočty vychází z trvanlivostí nástrojů definovaných výrobcem sníženým o koeficient životnosti, který odpovídá reálné schopnosti nástrojů dosahovat předepsanou trvanlivost.

Příklad propočtu pro výstružník ANAJ:

Násobením výrobcem definované životnosti nástroje s koeficientem životnosti získáme odpovídající životnost nástroje na obrobené kusy:

$$400 * 0,7 = 280 \text{ ks.} \quad (9)$$

Počet potřebných nástrojů na dané období získáme podílem počtu obrobků a životnosti nástroje,

$$\frac{120\,000}{280} = 428,57 \text{ nástroje,} \quad (10)$$

počet nových nástrojů získáme z podílu celkového počtu nástrojů a počtu využití trvanlivosti nástroje (počet ostření plus první použití nového nástroje),

$$\frac{428,57}{3+1} = 107,14 \text{ nových nástrojů.} \quad (11)$$

počet ostření za dané období je pak roven rozdílu celkového počtu nástrojů a počtu nových nástrojů,

$$428,57 - 107,14 = 321,43 \text{ ostření.} \quad (12)$$

stejným principem jsou pak počítány i náklady na nástroje HAM-FINAL.

Tab. 16 Zvýšení nákladů na nástroje

Nástroj	Náklady [€]
ANAJ	31 714,29
HAM-FINAL	37 293,23
Výsledek	-5 578,95

Z výsledku propočtu uvedeného v tabulce „Tab. 16“ vyplývá, že za dané období jednoho roku došlo vlivem změny technologie ke zvýšení nákladů na nástroje o 5 578,95 €.

9.2.2 Ekonomické hledisko - náklady na stroj

Tato kapitola je zaměřena na porovnání původní a nové technologie z hlediska nákladů na provoz stroje.

Hodinová sazba na provoz stroje činí 92 € (tj. 1,53 €/min) a plánovaná produkce pak 120 000 kusů. Délka vystružované díry je dle výkresové dokumentace 63 mm (včetně 3mm přejezdu).

Při produkci 120 000 kusů za rok 2014 a časové úspore spočítané v rovnici (5) tedy bude roční časová úspora:

$$t_{\text{rok}} = t_{\text{ks}} * 120\,000 = 0,601 * 120\,000 = 72\,120 \text{ minut.} \quad (13)$$

Vynásobením s minutovou sazbou stroje pak získáme roční úsporu v peněžní formě:

$$\underline{\text{Roční úspory} = 1,53 * 72\,120 = 110\,344 \text{ €}} \quad (14)$$

Tab. 17 Úspory z hlediska časového využití stroje

Nástroj	Vystružovaná délka [mm]	Posuvová rychlost [mm/min]	Zpětný posuv [mm/min]	Čas operace [min]	Čas zpětného posuvu [min]	Celkový čas na kus [min]
ANAJ	63	200	200	0,315	0,315	0,63
Ham-Final	63	4 000	5 000	0,016	0,013	0,029
Hodinová sazba stroje = 92 [€] => 1,53				Úspora času na 1 ks [min]		0,601
Produkce = 120.000 ks				Celková úspora [min]		72 120
				Celková úspora [€]		110 344

9.2.3 Ekonomické hledisko – úspora mzdy

Dalším nezanedbatelným ekonomickým přínosem je úspora mzdy pracovníka. Ta je umožněna díky spolehlivosti procesu, kdy není potřeba obsluhy po celou dobu směny, což v původním stavu procesu nebylo možné. Tato skutečnost umožňuje využívat bez obsluhy například celou noční směnu nebo i směny víkendové, kdy pouze jednou za víkend dojde k výměně výstružníku.

Konkrétní přínosy z hlediska využití směn a obsluhy směn jsou vyjádřeny v následující tabulce „Tab. 18“.

Tab. 18 Přínosy nové technologie z hlediska využití směn a mezd

	ANAJ	HAM-FINAL
Noční směna /týden	5 (s obsluhou)	5 (bez obsluhy)
Víkendové směny /týden	1 (s obsluhou)	5 (bez obsluhy)
Směny /pracovní týden	10 (s obsluhou)	11 (s obsluhou)
Celkem směn za dané období	800	1050
Směn s obsluhou za dané období	800	550
Směn bez obsluhy za dané období	0	500
Pracovních týdnů za dané období	50	
Náklady na směnu pracovníka [€]	48,50	
Náklady na mzdu pracovníka za dané období [€]	38 800	26 675

Z hodnot uvádějících počty odpracovaných směn za dané období uvedených v tabulce „Tab. 18“ se dá orientačně úspora za mzdy vyjádřit s pomocí průměrné hodinové mzdy, která má ve Slovenské republice hodnotu 5,7 € [19].

$$n_{\text{MZDY-ANAJ}} = s_{\text{so}} * T_p * p_{\text{SM}} \quad (15)$$

$$n_{\text{MZDY-ANAJ}} = 16 * 50 * 48,5 \quad (16)$$

$$n_{\text{MZDY-ANAJ}} = 38 800 \text{ €} \quad (17)$$

Celková úspora za mzdy pracovníka je pak vidět v tabulce „Tab. 19“ a činí 12 125 € za období jednoho roku. Reálné úspory však budou vyšší vzhledem k tomu, že není k průměrné mzdě připočtena přírážka za víkendové a noční směny.

Tab. 19 Přínosy z hlediska nákladů na mzdy

Nástroj	Mzdy [€]
ANAJ	38 800
HAM-FINAL	26 675
Výsledek	12 125

9.3 Celkové zhodnocení

Aplikace nových cermetových výstružníků měla za následek jednak zvýšení nákladů na nástroje o 5 578,95 €, ale zároveň úsporu na provozu stroje v hodnotě 110 344 €. Dalším přínosem je úspora za mzdy noční směny, která činí orientačně 12 125 €.

Celkově tak přinesla aplikace nové technologie úsporu cca 116 890 €/rok.

Tab. 20 Finanční dopady na aplikaci nové technologie za rok

Úspora	Úspora [€/rok]
Stroj	110 344
Nástroje	-5 579
Mzdy	12 125
Výsledek	116 890

Tato hodnota však není konečná. Výše uvedené hodnocení nezahrnuje úspory v nákladech v oblasti montáže resp. demontáže nefunkčních EDC ventilů, jejichž nefunkčnost byla zjištěna až při závěrečné montáži. Bohužel, tato data jsou již zpětně těžko dohledatelná a jejich číselné vyjádření je prakticky nemožné.

Celkové úspory jsou tedy ještě výrazně vyšší.

10. Závěr

V praktické části byl nejprve zmapován předchozí stav výroby. V tomto případě se jednalo o vystružování nástrojem společnosti ANAJ ze slinutého karbidu s tenkou vrstvou TiAlN. V kapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty kontrolovaných parametrů díry, na jejichž základě bylo rozhodnuto o aplikaci nové technologie vystružování. Důvodem ke změně technologie byl především vysoký podíl nevyhovujících součástí z hlediska parametru drsnosti R_k . V případě tohoto parametru byl podíl nevyhovujících součástí během dvou let používání roven 58 %, přičemž v druhém roce používání tento podíl stále narůstal a dosahoval dokonce 69 %. Zároveň byly zaznamenány významnější problémy s tolerancemi drsnosti R_a a s tolerancí válcovitosti $d_{\text{dér}}$. V těchto případech dosahovaly podíly nevyhovujících součástí třinácti, resp. osmadvaceti procent.

Dále byl zmapován současný stav výroby. K němu je využit cermetový výstružník společnosti HAM-FINAL. Z naměřených hodnot je evidentní, že došlo k odstranění hlavních problémů s dosahovanými hodnotami parametrů drsnosti. Po aplikaci nových cermetových výstružníků nebyla žádná součást vyřazena z důvodu nevyhovující drsnosti. Z hlediska průměru docházelo v počátku k překračování tolerance, což bylo způsobováno strháváním ocelového kroužku pro vedení chladicí kapaliny do místa řezu, a tedy nedostatečnému chlazení a rychlému opotřebenosti nástroje. Tento problém však byl vyřešen změnou tloušťky ocelového kroužku. Další chyby z hlediska průměrových tolerancí vznikaly při prvních 64 ks obrobených $d_{\text{dér}}$. Tyto problémy byly vyřešeny úpravou NC programu.

V další kapitole byly popsány hlavní přínosy nového výstružníku. Cermetový výstružník HAM-FINALu se od původního výstružníku ze SK liší třemi základními prvky – řezným materiálem, počtem zubů a způsobem vedení chladicí kapaliny.

Hlavním přínosem bylo použití cermetu jako řezného materiálu. Na základě dané problematiky byl na KTO proveden experiment porovnávající vliv řezných materiálů SK a cermetu na vystružování litiny. Z něj je patrné, že v případě vystružování nástroji ze SK dochází k nestabilitě tenké vrstvy, což má za následek tvorbu nárůstku na čele nástroje. To s sebou zároveň přináší vysoké hodnoty parametrů drsnosti. Nasazení cermetu jako řezného materiálu tedy přináší příznivý dopad na parametry drsnosti a zároveň umožňuje vyšší řezné rychlosti a posuvy.

Dalším prvkem nového výstružníku oproti původnímu nástroji je vyšší počet zubů – dvanáct. To má příznivý vliv na válcovitost díry. Vyšší počet zubů zvyšuje n -hranost díry a zároveň zmenšuje výšku těchto „hran“.

Třetím prvkem nového výstružníku je přívod chladicí kapaliny do místa řezu vnitřkem nástroje přesně do místa řezu. Tím je zajištěno, že nedochází ke kolísání teplot, což je pro cermetový nástroj zásadní, vzhledem k nižší tepelné vodivosti a náchylnosti k praskání.

Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické hodnocení. Toto hodnocení je logicky rozděleno na technickou a ekonomickou část.

V technické části hodnocení jsou zobrazeny přínosy kvalitativní, kde je v grafu znázorněn rapidní pokles součástí neodpovídajících požadovaným tolerancím, a dále přínosy kvantitativní. Z tohoto hlediska bylo zjištěno, že nový cermetový výstružník přinesl úsporu 0,601 minuty na jeden obráběný kus, což umožnilo zvýšení počtu obrobených těles o deset kusů za směnu resp., třiceti kusů za den.

V ekonomické části hodnocení byly propočítány dopady aplikace cermetového výstružníku HAM-FINAL na náklady na provoz stroje, náklady na nástroje a náklady na mzdy. Nová

technologie umožňující vyšší řezné rychlosti a posuvy přinesla zkrácení výrobních časů a při plánované roční produkci 120 000ks tak bylo uspořeno 110 344 € za rok. Z hlediska nákladů na nástroje došlo k navýšení nákladů o 5 579 € a nakonec z hlediska úspor na mzdách obsluhy k úspoře 12 125 €.

Zdroje a použitá literatura

- [1] ZEMČÍK, O.; NOVOTNÝ, K.: Přípravky a nástroje. Sylaby pro kombinované bakalářské studium. <<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/PripravkyNastroje.pdf>> [cit. 2012-10]
- [2] NEE, A. Y. C., TAO Z.J., SenthilKumar, A.; An Advanced Treatise on Fixture Design and Planning, WorldScientific, ISBN 981-256-0599
- [3] [online] Webová prezentace Danfoss Power Solutions <<http://powersolutions.danfoss.sk/Onas/index.htm>> [cit. 2015-01]
- [4] [online] Danfoss - history and facts presentation <<http://www.danfoss.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=17179890381>> [cit. 2015-01]
- [5] FIALA, S., KOUŘIL, K., ŘEHOŘ, J., a kol. (2012). Výzkum a vývoj vysoce přesných produktivních řezných nástrojů nové generace s využitím inovativních technologií a progresivních materiálů. Průběžná zpráva k projektu TA02010236 za rok 2012, HAM-FINAL s.r.o., Brno.
- [6] [online] Přednášky předmětu Katedry technologie obrábění - Speciální technologie, ZČU <https://courseware.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=88359> [cit. 2015-01]
- [7] Přednášky předmětu Katedry materiálové metalurgie – Materiály v obrábění, ZČU
- [8] HUMÁR, A.: Materiály pro řezné nástroje. Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI; VUT Brno; <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf> [cit. 2015-01]
- [9] [online] <http://www.wanxiang.com/products.equip/Hommelwerke_Co.htm> [cit. 2015-01]
- [10] [online] Danfoss YouTube channel <https://www.youtube.com/watch?v=_WLtj_fzPAg> [cit. 2015-01]
- [11] [online] <<http://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-vystruzovaci-nastroje.html>> [cit. 2015-01]
- [12] [online] PODANÝ, P.: Studium vlivu předdepozičních úprav na vlastnosti progresivních tenkých vrstev <http://www.ateam.zcu.cz/FRVS_zprava_dalsi_studium_podany.pdf> [cit. 2015-01]
- [13] [online] Danfoss presentation - H1 Axial Piston Pumps Single and Tandem <<http://files.danfoss.com/documents/11062168.pdf>> [cit. 2014-11]
- [14] GALDA, M. (2011). *Návrh hydraulického pojezdu univerzální pohonné jednotky žacího stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Brandejs, CSc.
- [15] Přednášky předmětu Katedry technologie obrábění – Materiály v obrábění
- [16] [online] <<http://www.hssforum.com/ReamingEN.pdf>> [cit. 2015-03]
- [17] [online] <http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/lectures/FZMT_7.pdf> [cit. 2015-03]
- [18] [online] Katalog společnosti STIMZET <http://www.stimzet.cz/data/vystr_stroj_valc_cz.html> [cit. 2015-03]
- [19] [online] Verejná databáza údajov <<http://statdat.statistics.sk>> [cit. 2015-03]

- [20] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. Praha: Scientia s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [21] [online] Katalog společnosti HAM-FINAL <http://www.ham-final.cz/?page=katalog_standardni_nastroje> [cit. 2015-03]
- [22] [online] Katalog společnosti DIHART <http://www.komet.com/fileadmin/user_upload/pdf/products/dihart/DIHART_KOMPASS%20Reaming_1-14.pdf> [cit. 2015-05]
- [23] [online] Katalog společnosti BECK <<http://www.august-beck.de/admin/download.php?id=52211>> [cit. 2015-05]
- [24] ČMIEL, M. Vývoj nástrojů s PKD, CVD vrstvou a CVD povlakem pro dokončování děr. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Kouřil, Ph.D.
- [25] [online] <http://www.measureshop.biz/files/catalogue/systems/2010/S05_6.pdf> [cit. 2015-05]
- [26] [online] [online] <http://www.measureshop.biz/files/catalogue/systems/2010/S05_6.pdf> [cit. 2015-05]
- [27] [online] Katalog společnosti GÜHRING <www.guhring.com/Documetns/Catalog/Reamers/HR500.pdf> [cit. 2015-05]

Seznam příloh

Příloha 1 – Doporučené řezné podmínky pro SK	II
Příloha 2 – Doporučené řezné podmínky pro Cermet, CBN a PKD	III
Příloha 3 – Materiálový list GG25	IV
Příloha 4 – Fotografie polotovaru	V
Příloha 5 – Technické parametry drsnoměru Hommel Wave ETAMIC	VI
Příloha 6 – Technické parametry SMS Carl Zeiss PRISMO 7	VII
Příloha 7 – Technické parametry obráběcího centra ELHA FM3+X	VIII
Příloha 8 – Grafy naměřených hodnot – drsnost Ra	IX-XI
Grafy naměřených hodnot – drsnost Rk	XII-XIV
Grafy naměřených hodnot – drsnost Rpk	XV-XVII
Grafy naměřených hodnot válcovitosti a průměru	XVIII

Přílohy k diplomové práci

Příloha 1 – Doporučené řezné podmínky pro výstružníky ze SK s tenkou vrstvou (63 36) a bez tenké vrstvy (6335)

Doporučené řezné podmínky / Cutting data / Schnittdaten **63 36**

Material		ø d ₁ [mm]								
		5 – 8	9 – 12	13 – 17	18 – 22	23 – 28	29 – 34	35 – 40	41 – 46	47 – 52
Steel < 500 N.mm ⁻²	v _c [m.min ⁻¹]	30 – 50								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Steel < 1000 N.mm ⁻²	v _c [m.min ⁻¹]	20 – 30								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Steel < 1400 N.mm ⁻²	v _c [m.min ⁻¹]	10 – 20								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Stainless	v _c [m.min ⁻¹]	10 – 20								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
GG	v _c [m.min ⁻¹]	40 – 80								
	f _z [mm]	0,05	0,05	0,06	0,06					
GGG	v _c [m.min ⁻¹]	40 – 60								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06					
Al Alloy	v _c [m.min ⁻¹]	30 – 60								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06					
Cu	v _c [m.min ⁻¹]	20 – 30								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06					
SuperAlloy (Titan)	v _c [m.min ⁻¹]	10 – 20								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Steel < 60 HRC	v _c [m.min ⁻¹]									
	f _z [mm]									

Doporučené řezné podmínky / Cutting data / Schnittdaten **6335**

Material		ø d ₁ [mm]								
		5 – 8	9 – 12	13 – 17	18 – 22	23 – 28	29 – 34	35 – 40	41 – 46	47 – 52
Steel < 500 N.mm ⁻²	v _c [m.min ⁻¹]	8 – 10								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Steel < 1000 N.mm ⁻²	v _c [m.min ⁻¹]	8 – 10								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Steel < 1400 N.mm ⁻²	v _c [m.min ⁻¹]	6 – 8								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
Stainless	v _c [m.min ⁻¹]	6 – 8								
	f _z [mm]	0,03	0,04	0,05	0,05					
GG	v _c [m.min ⁻¹]	20 – 40								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
GGG	v _c [m.min ⁻¹]	20 – 40								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06					
Al Alloy	v _c [m.min ⁻¹]	20 – 40								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
Cu	v _c [m.min ⁻¹]	10 – 15								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06					
SuperAlloy (Titan)	v _c [m.min ⁻¹]	4 – 8								
	f _z [mm]	0,04	0,05	0,06	0,06					
Steel < 60 HRC	v _c [m.min ⁻¹]									
	f _z [mm]									

Příloha 2 – Doporučené řezné podmínky pro výstružníky z Cermetu, C BN a PKD dle spol. BECK

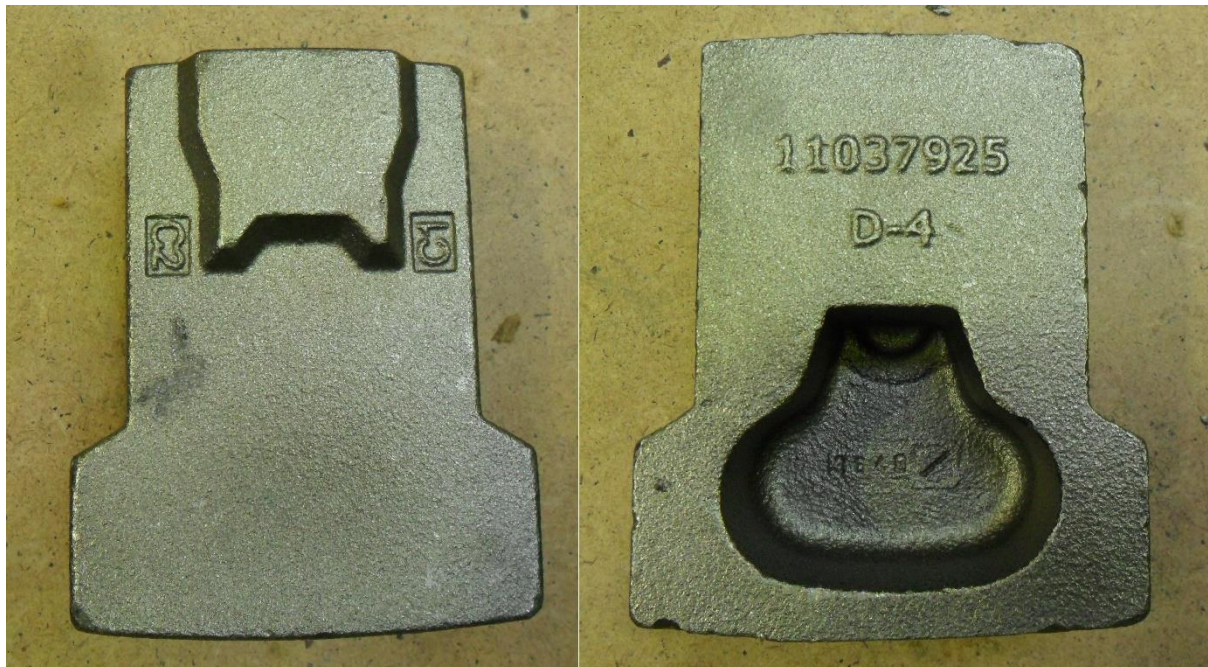
	Werkstoff	Einsatzdaten	ø [mm]						Schneidstoff	
			10.00-11.75	11.76-13.75	13.76-17.75	17.76-21.75	21.76-24.75	24.76-30.25		30.26-40.00
			z = 6	z = 8	z = 10	z = 12	z = 14	z = 16		z = 18
P ₁	Stahl < 700 N/mm ²	vc [m/min]	180 (fz = 0.08 – 0.13 mm)						Cermet	
		f [mm/U]	0.60	0.80	1.00	1.10	1.20	1.40		1.50
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
P ₂	Stahl 700-900 N/mm ²	vc [m/min]	150 (fz = 0.08 – 0.13 mm)						Cermet	
		f [mm/U]	0.60	0.80	1.00	1.10	1.20	1.40		1.50
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
P ₃	Stahl 900-1200 N/mm ²	vc [m/min]	120 (fz = 0.08 – 0.13 mm)						Cermet	
		f [mm/U]	0.60	0.80	1.00	1.10	1.20	1.40		1.50
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
M ₁	VA < 700 N/mm ² *	vc [m/min]	30 (fz = 0.05 – 0.10 mm)						HM + Beschichtung	
		f [mm/U]	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00		1.10
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.10	0.15	0.20	0.20	0.20		0.20
K ₁	Grauguss (GG)	vc [m/min]	200 (fz = 0.20 – 0.50 mm)						CBN	
		f [mm/U]	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20		3.60
		Aufmaß a [mm]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
K ₂	Kugelgraphitguss (bis GGG50)	vc [m/min]	100 (fz = 0.15 – 0.25 mm)						Cermet	
		f [mm/U]	1.00	1.30	1.50	1.80	2.10	2.40		2.70
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
K ₃	Kugelgraphitguss (> GGG50)	vc [m/min]	90 (fz = 0.10 – 0.40 mm)						HM + Beschichtung	
		f [mm/U]	1.00	1.30	1.50	1.80	2.10	2.40		2.70
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
N ₁	Cu-/Zn-/Mg-Legierungen	vc [m/min]	60 (fz = 0.02 – 0.07 mm)						HM	
		f [mm/U]	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80		0.80
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
N ₂	Aluminium-Legierungen (Si < 7 %)	vc [m/min]	250 (fz = 0.075 – 0.30 mm)						PKD	
		f [mm/U]	1.60	2.00	2.20	2.50	3.00	3.20		3.50
		Aufmaß a [mm]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
N ₃	Aluminium-Legierungen (Si > 7 %)	vc [m/min]	250 (fz = 0.075 – 0.30 mm)						PKD	
		f [mm/U]	1.60	2.00	2.20	2.50	3.00	3.20		3.50
		Aufmaß a [mm]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		0.20
H	gehärtete Materialien < 63 HRC*	vc [m/min]	80 (fz = 0.02 – 0.05 mm)						CBN	
		f [mm/U]	0.10	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32		0.36
		Aufmaß a [mm]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		0.10

* Mit spezieller Schneidengeometrie und Beschichtung.

Příloha 3 – Materiálový list materiálu obrobku

Informativní materiálový list									
GG-25	Litina s lupínkovým grafitem							42 2425	
Charakteristika									
Struktura je tvořena peritem a feritem (u tenčích stěn převládá perit) s lupínkovým grafitem.									
Chemické složení									
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr		
Min									
Max				0,50	0,15				
Porovnání se zahraničními materiály									
Země	Označení materiálu								
ISO									
GER	GG25	GG26		DIN 1691					
FRA	FI25	FGL250		NF A32-101-87			NF A32-101		
RUS	SČ25	SČ24		GOST 1412-85					
USA	C1.35B	C1.40B		ASTM A48					
JAP	FC250	FC25		JIS G5501-89					
ITA	G20, Gh 190	UNI 5007-89, UNI 5330							
AUT	GG250, GG25	ONORM M-3191-83							
SWE	0125-00	MNC 705E-89							
POL	ZI250	PN H83101							
Mechanické vlastnosti									
Stav									
Mez kluzu R_e nebo $R_p 0,2$ [MPa] min									
Mez pevnosti R_m [MPa]	250								
Tažnost A_5 [%] min									
Kontrakce Z [%] min									
Vrubová houževnat. KCU [$J \cdot cm^{-2}$] min									
Tvrдость HB	240								
Modul pružnosti E [GPa]	125,9								
Tepelné zpracování									
teploty přeměn $A_{11} - 738 + 5(\%Si)^2 \text{ } ^\circ C$ $A_{12} - 738 + 18 (\%Si)^{1,75} \text{ } ^\circ C$									
Svařitelnost									
Použití									
Na odlitky o tloušťce stěn 15-70 m, např. na válce motorů, součásti turbín, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti, na stojany středně těžkých obráběcích strojů apod.									

Příloha 4 – Fotografie polotovaru obráběného dílu



Příloha 5 - Technické parametry drsnoměru Hommel Wave ETAMIC T8000

Typ přístroje		T8000				
Posuvový přístroj	Maximální dráha / mm	Posuvová rychlost mm/s	Přesnost vedení	Měřicí systém	Rozlišení	Přesnost osy X
Waveline 60 Basic	60	0,01 - 3,00	≤0,8 μm/60 mm	Encoder	0,014 μm	-
Waveline 60	60	0,01 - 3,00	≤0,2 μm/60 mm	Lineární pravítko	0,01/0,1 μm	±1,0μm
Waveline 120	120	0,01 - 3,00	≤0,4 μm/120 mm	Lineární pravítko	0,01/0,1 μm	±1,0μm
Waveline 200	200	0,01 - 3,00	≤0,8 μm/200 mm	Lineární pravítko	0,01/0,1 μm	±1,0μm
Měřicí sloupce	Výškový posuv mm	Posuvová rychlost mm/s				
Wavelift 400 Manual	400	Manual				
Wavelift 400	400	0,1 - 12,0				
Wavelift 800	800	0,1 - 12,0				
Naklápací jednotka	Rozsah přestavení	Jemné stavění	Opakovatelnost			
S jemným stavěním	±45,0	±5,0	-			
S hrubým stavěním	±45,0	-	-			
S motorickým stavěním	±45,0	-	0,005°			
Granitové desky	Rozměry D x Š x V (mm)	Hmotnost (kg)				
630	630 x 500 x 100	93				
780	780 x 500 x 100	117				
1000	1000 x 500 x 140	150				
Parametry						
Drsnost ISO 4287	Ra, Rz, Rmax, Rt, Rq, Rsk, lmo, lo, Rdq, da, ln, La, Lq, Rz-ISO, R3z, Rpm, Rp3z, R3zm, Rp, D, RPa, RSm, Rpm/R3z, lr, Rku, tpif, tpia, tpip, tpic, Rt/Ra, Rz1, Rz2, Rz, Rz4, Rz5, Rmr, Rmr%, Api					
Rk ISO 13565-1 až 13565-3	Rpk*, Rpk, Rk, Rvk*, Rvk, Mr1, Mr 2, A1, A2, Vo (70 %) 0,01*, Rv / Rk, Rvq, Rmq					
Primární profil ISO 4287	Pt', Pp, Pz, Pa, Pq, Psk, PSm, Pdq, lp, Pku, tpa, tpa, tpab, tpac, Pmr0, Apa, APa%, Pmr, Pmr%					
Vlnitost ISO 4287	Wt', Wp, Wz, Wa, Wq, Wsk, WSm, Wdq, Wdc, lw, Wku, WD1t', WD1p, WD1z, WD1a, WD1q, WD1sk, WD1Sm, WD1dq, WD1lw, WD1Pc, WD2t', WD2p, WD2z, WD2a, WD2q, WD2sk, WD2Sm, WD2dq, WD2lw, WD2ku, WD2Pc					
Vlnitost podle VDA 2007	WDc, WDt, WDSm					
Motif DIN EN ISO 12085	R, Rx, AR, Nr, W, Wx, AW, Nw, Wte, Tpa, (CR, CL, CF)					
JIS B - 0601	Rz-JIS; Rmax-JIS					

Příloha 6 - Technické parametry souřadnicového měřicího stroje Carl Zeiss Prismo Navigator 7

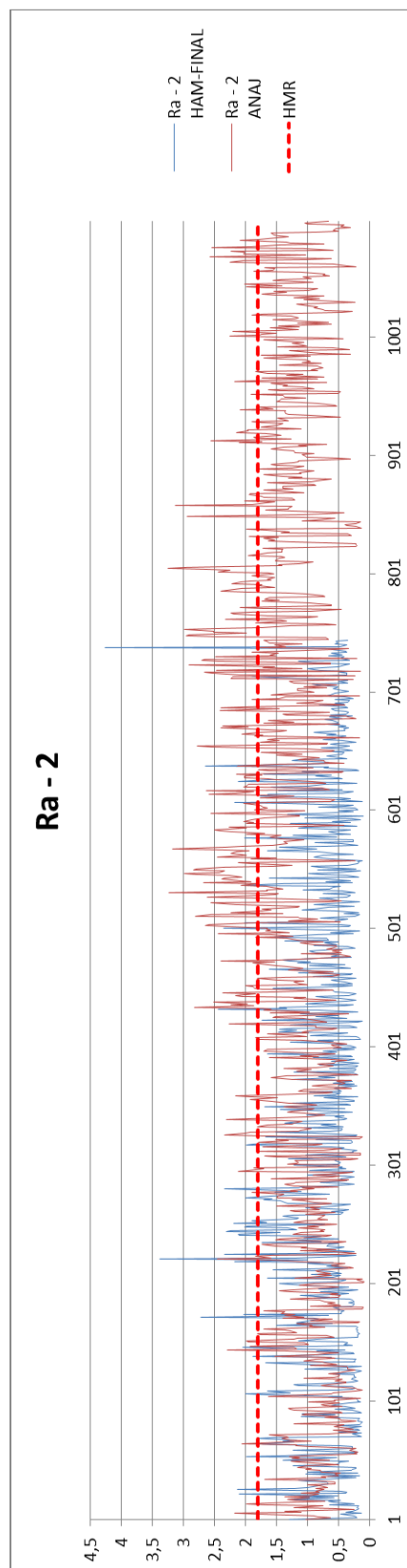
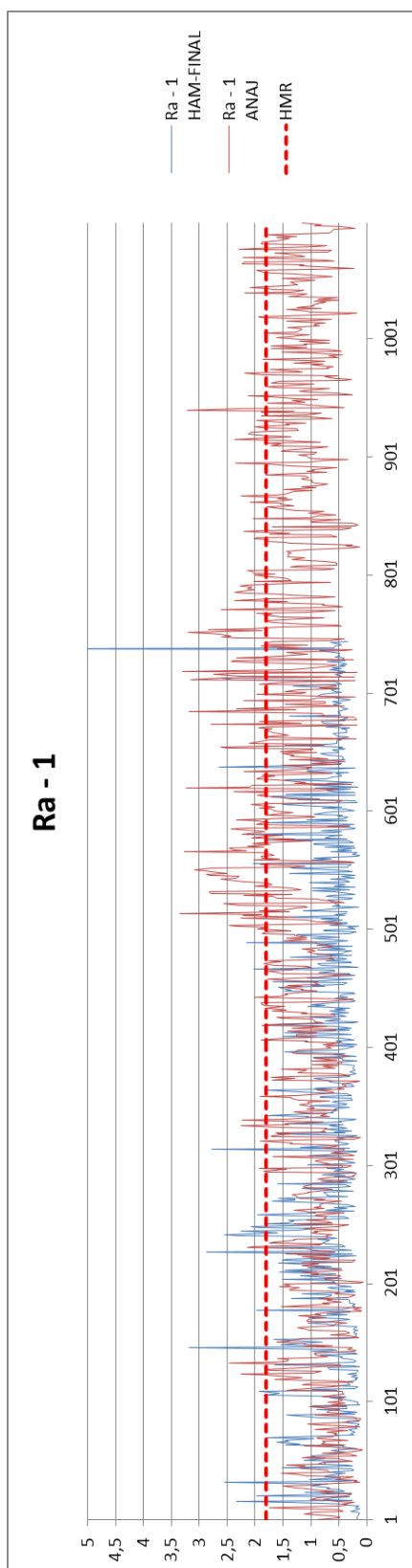
General Specification	PRISMO Navigator 5	PRISMO Navigator 7
X Axis range (mm)	700	700 to 900
Y Axis range (mm)	900	900 to 2400
Z Axis range (mm)	500	650
Maximum workpiece weight (Kg)	1200	1200 to 2000
PRISMO Probe Options		
VAST Gold HTG - Active scanning and multi-point sensor for maximum temperature ranges		
Linear error (µm) - 18-22°C	1.4+L/333	
Linear error (µm) - 15-30°C	1.9+L/300	
Linear error (µm) - 18-28°C	-	
Probing error (µm)	1.4	
Scanning error (µm)	2.4 (3.0 at 15-30°C)	
Form error (µm)	1.4	
VAST Gold S-ACC - Active scanning and multi-point sensor for maximum accuracy		
Linear error (µm) - 19-21°C	0.9+L/350 (Y ≤ 1500) *	
Linear error (µm) - 18-22°C	-	
Probing error (µm)	1.0 (Y ≤ 1500) *	
Scanning error (µm)	1,9	
Form error (µm)	1.0 (Y ≤ 1500) *	

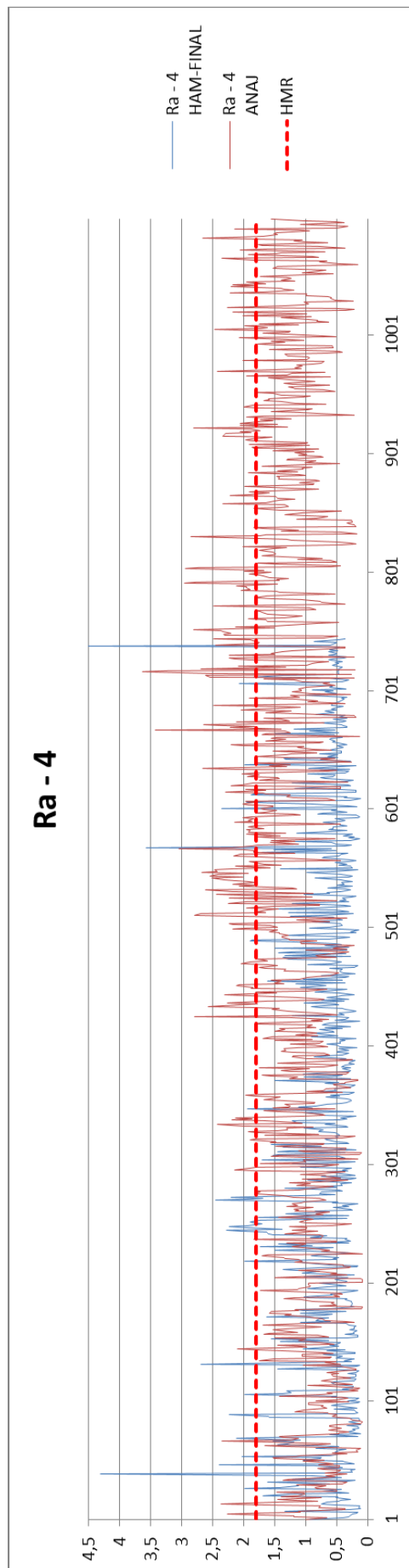
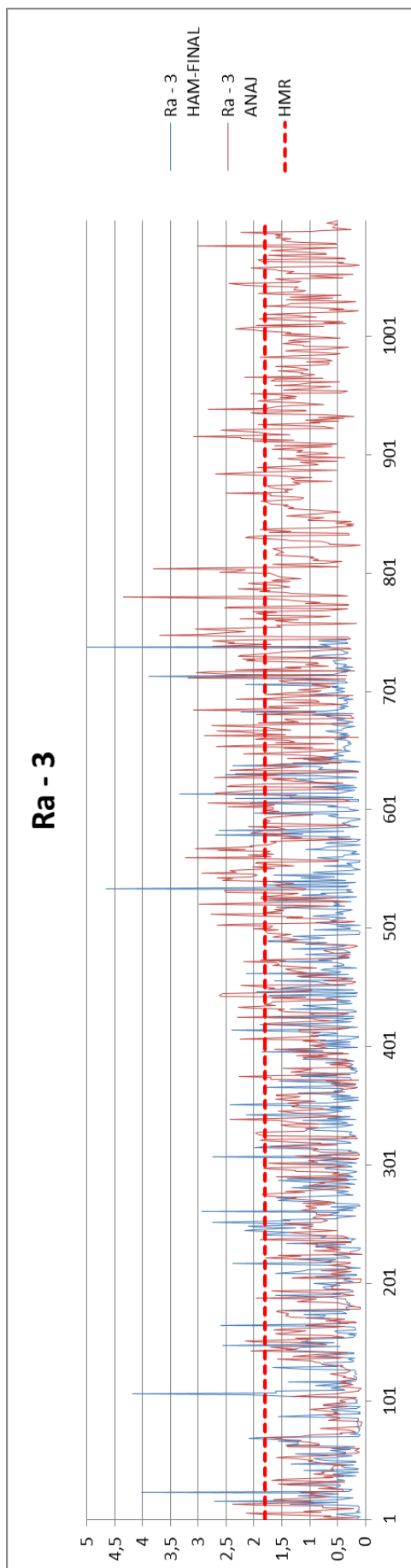
Příloha 7 – Technické parametry obráběcího centra ELHA FM3+X

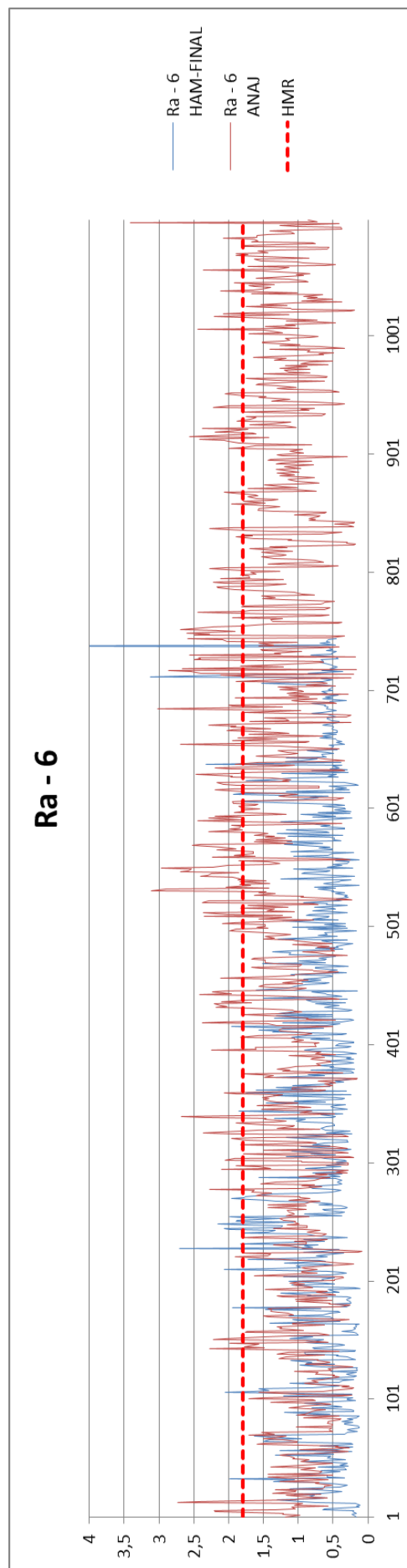
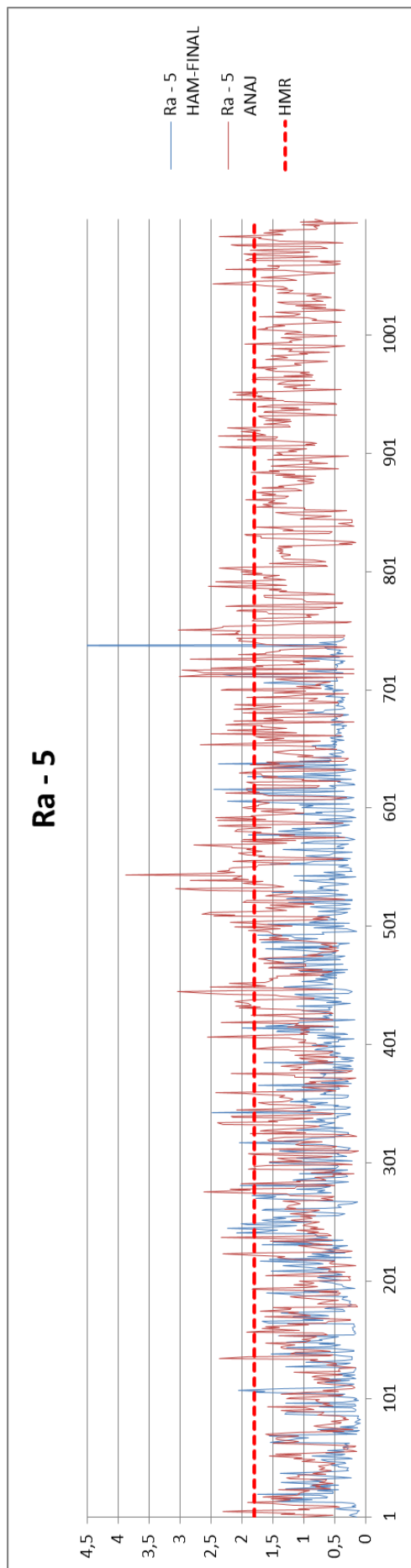
Production Module FM 3+X				
Travel	X-axis	(cross)	mm	400
	Y-axis	(vertical)	mm	1000
	Z-axis	(ram stroke)	mm	500
Velocity	all axes	max.	m/min	40
Acceleration	all axes		m/sec ²	6
Feed forces	all axes		N	7000
CNC rotary table 4th axis	table diameter		mm	300
	working range C-axis			360000 x 0,001°
	velocity	max.	rpm	60
	dividing accuracy		sec	+/-5
	admissible torque on clamped table	max.	Nm	1500
Work piece loading height	ram center above floor	min.	mm	1100
Work spindles: 1-12 work spindles are driven by 1 motor	drive power	max. pro spindle	kW	20 (S1-100%)
	speed	max.	rpm	20000
	torque	max.	Nm	200
	spindle type	spindle diameter	holder	
	40	50	HSK	40
	63	60	HSK	63
	63S	75	HSK	63
	100	90	HSK	100
		(Auswahl nach separatem Datenblatt)		
	Overall dimensions	width		mm
depth			mm	3500
height			mm	3950
transport height			mm	3200
Connected load power	req. at 3AC 400V/50Hz	max.	kVa	60
	compressed air		bar	6
Weight	single module with complete periphery and automation	approx.	kg	14500

Příloha 8 – Grafy naměřených hodnot

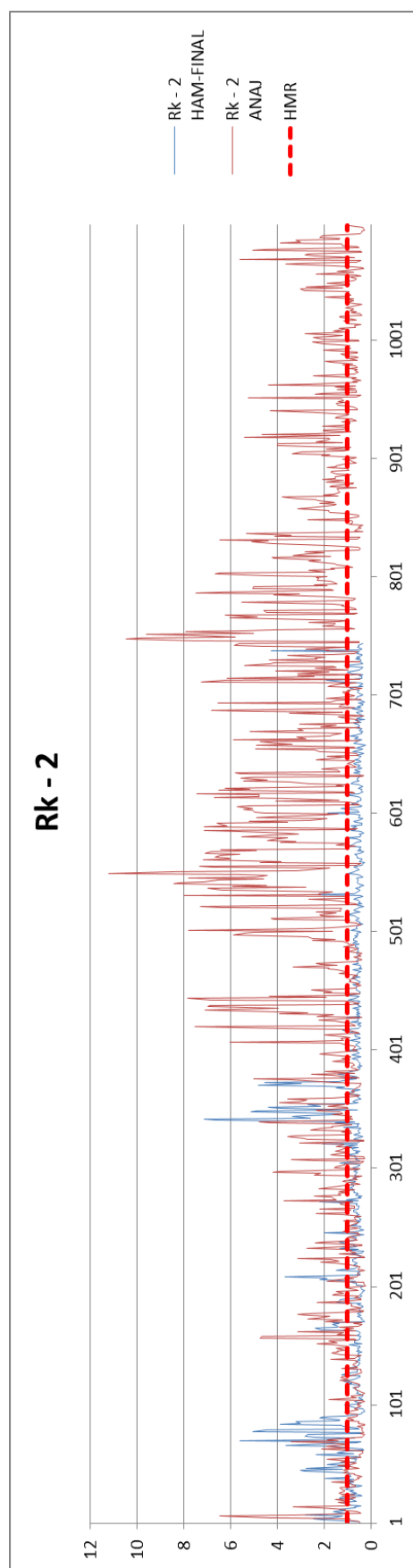
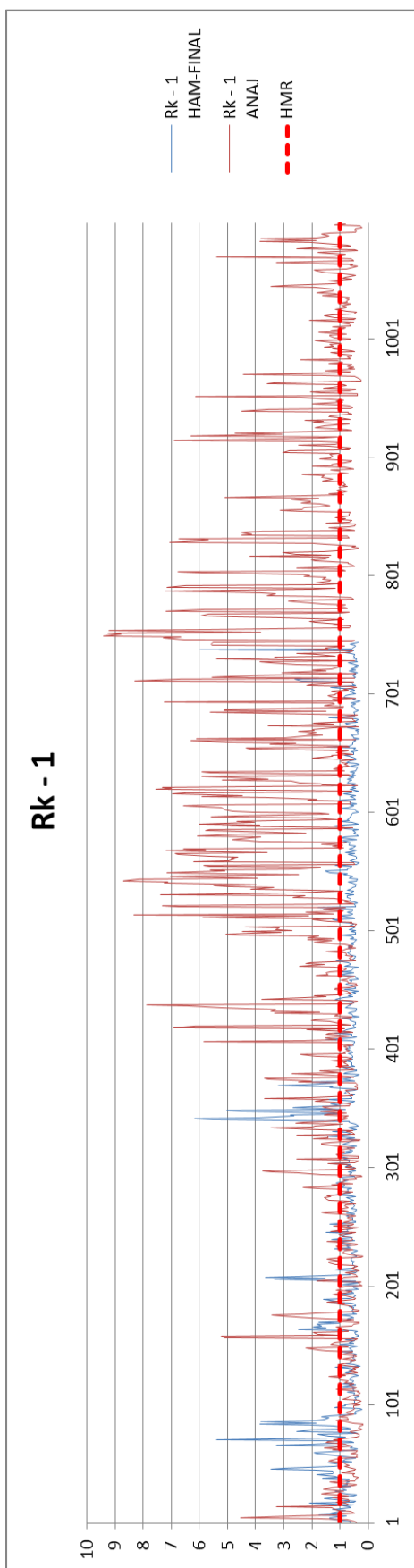
Drsnost – Ra

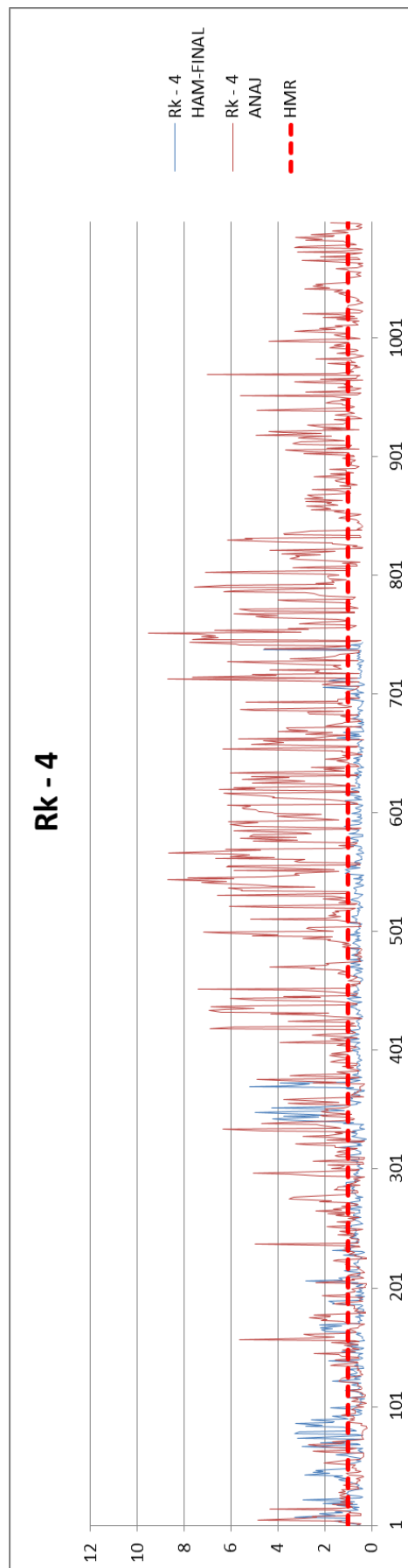
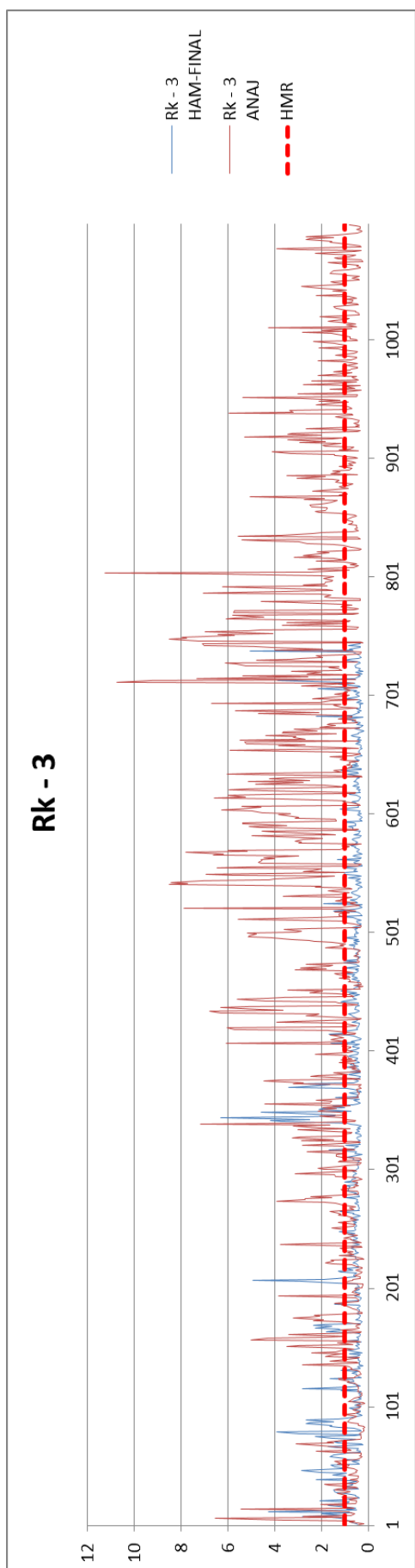


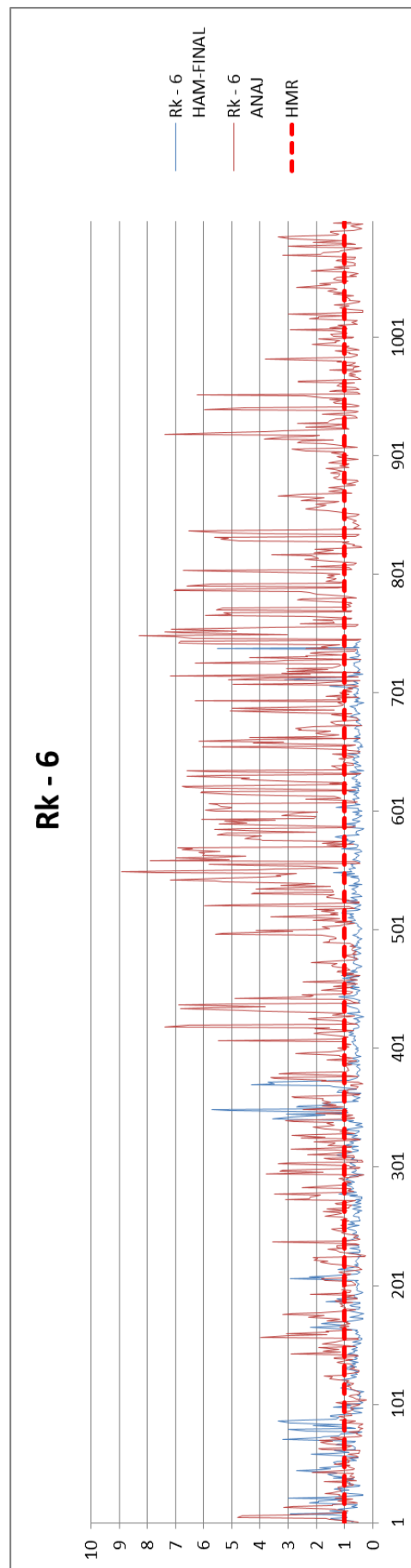
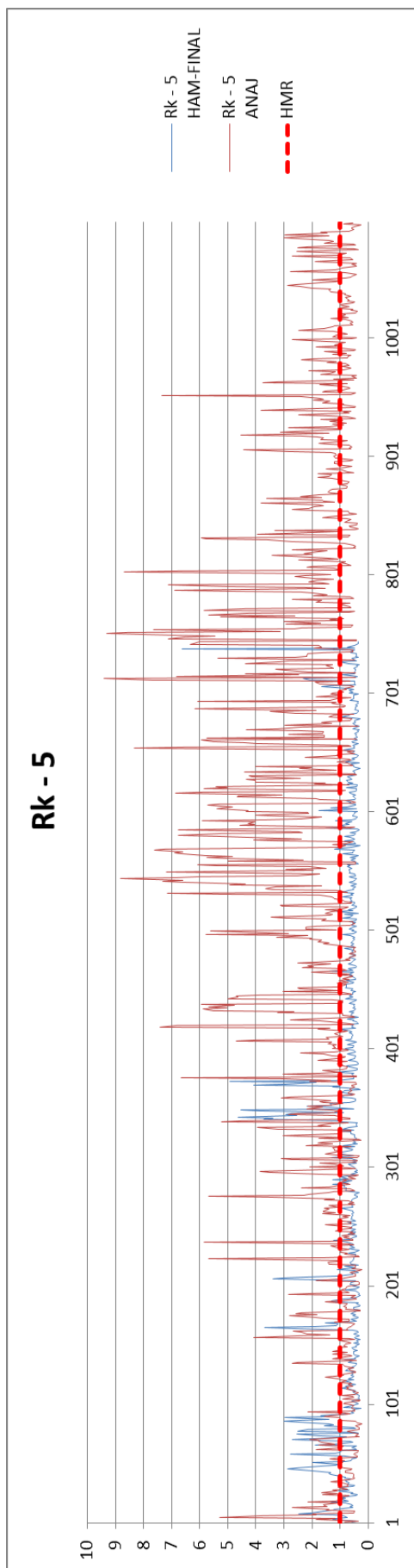




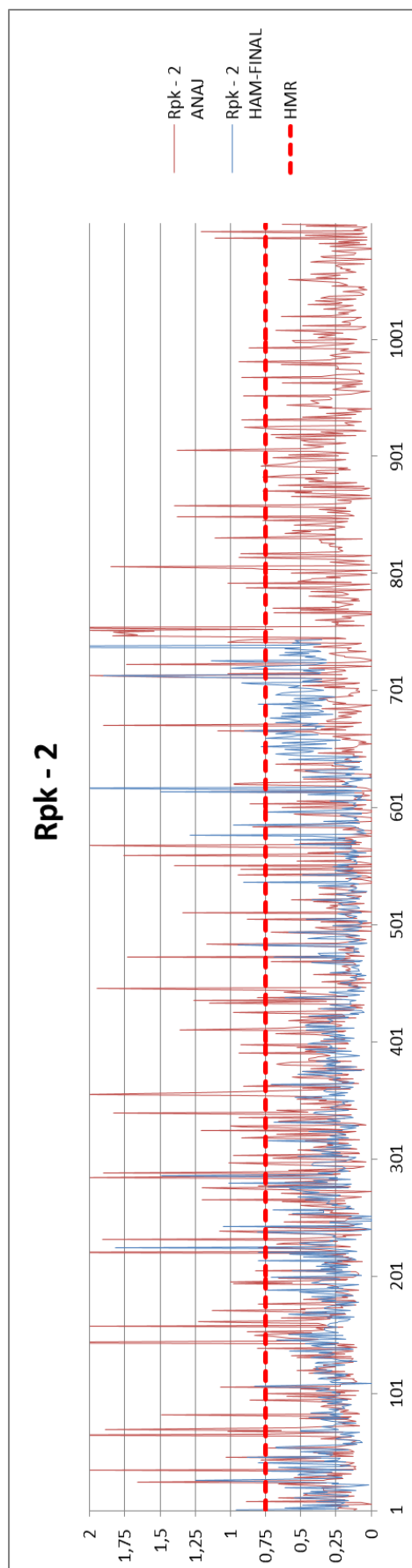
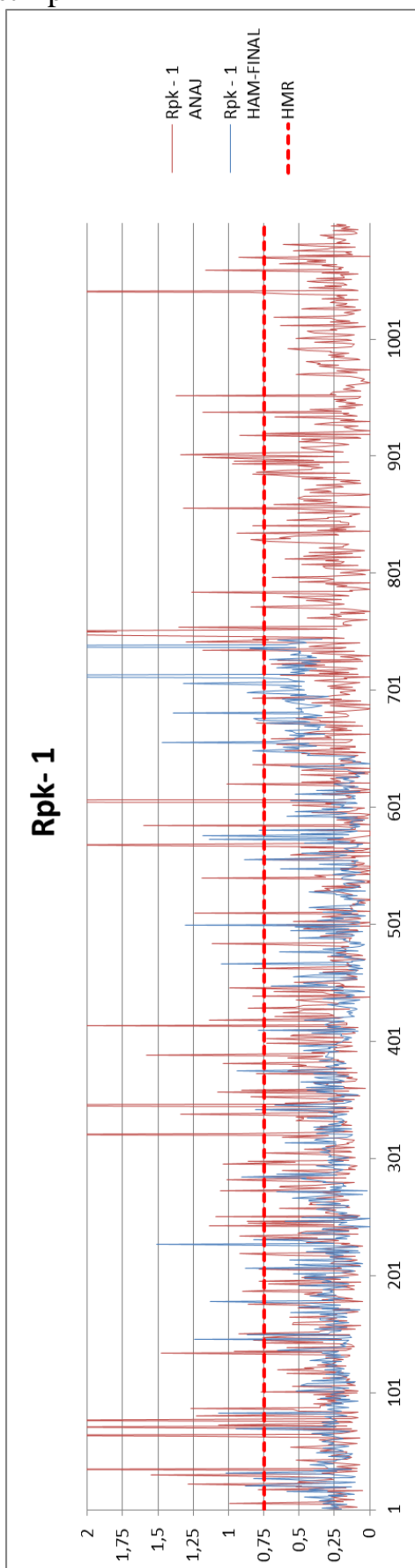
Drsnost – Rk

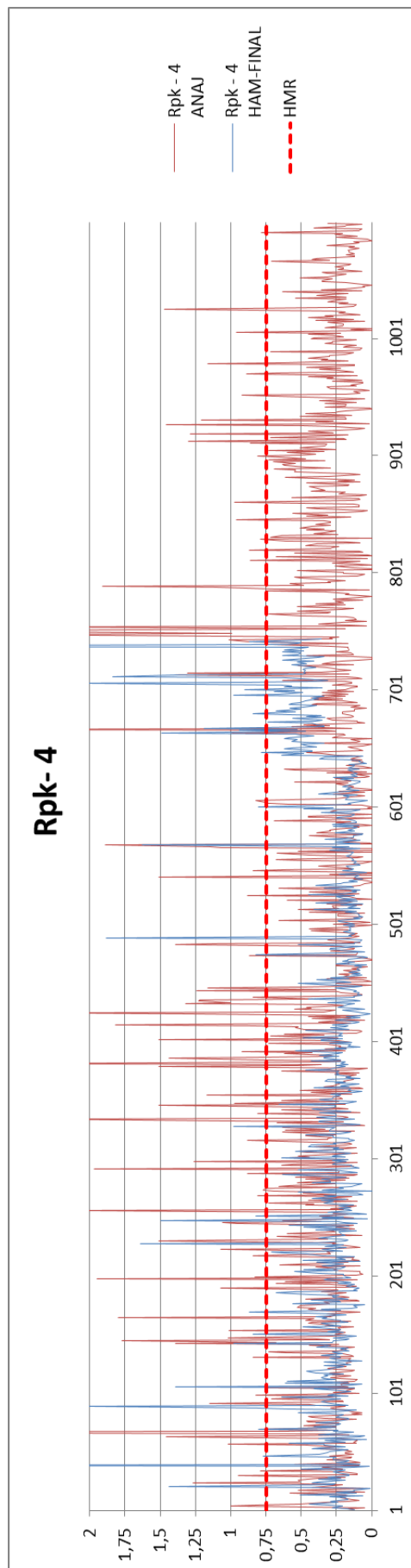
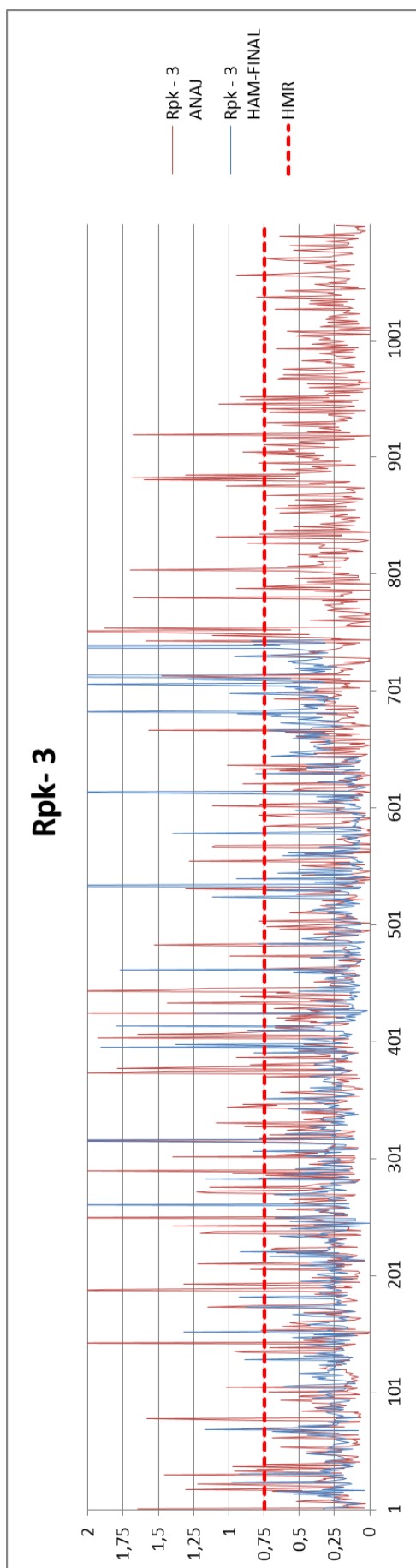


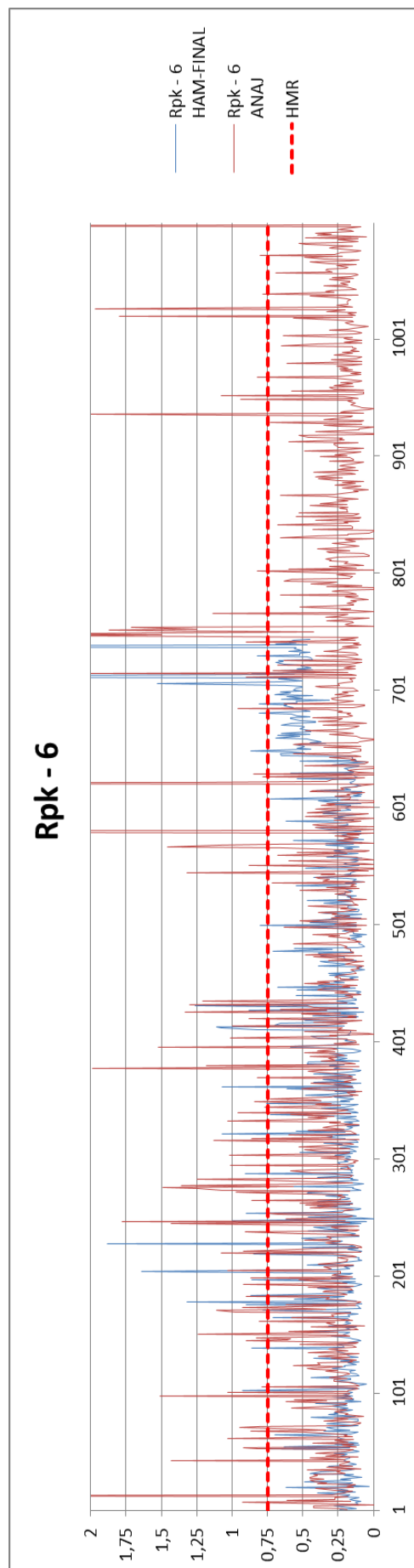
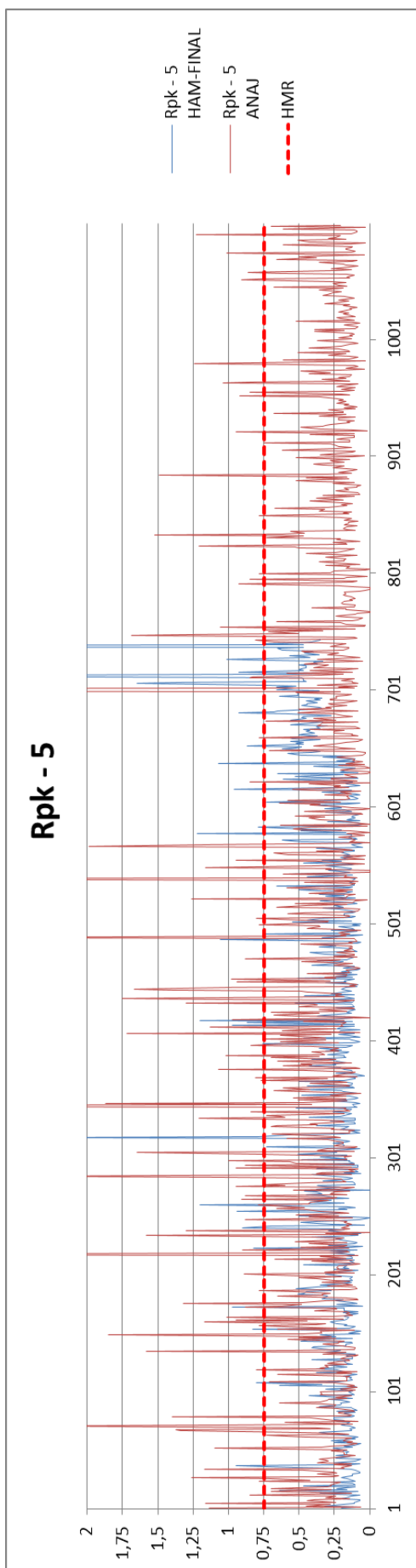




Drsnost Rpk







Válcovitost a průměr

