



Vliv vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při soustružení

Bakalářská práce

Studijníprogram: B2301 – Strojní inženýrství
Studijníobor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autorpráce: **Jan Zuzánek**
Vedoucípráce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

The influence of selected technological parameters on the useful performance when turning

Bachelor thesis

Studyprogramme: B2301 – Mechanical Engineering
Studybranch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Jan Zuzánek**
Supervisor: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



ANOTACE:

Bakalářská práce se zabývá zkoumáním vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při soustružení pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW - 6069 a dynamometru Kistler. Souběžně byl také zjišťován vliv těchto parametrů na drsnost povrchu.

Klíčová slova: obrábění, užitečný výkon, soustružení, drsnost povrchu

ANNOTATION:

The bachelor thesis is focused on examination of influence of selected technological parameters on useful power during turning with three-phase performance analyzer DW - 6069 and dynamometr Kistler. Concurrently was also investigated influence of these parameters on surface roughness.

Key words: machining, useful power, turning, surface roughness

Prohlášení

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

Be ru navědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

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

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1291**

Jméno a příjmení: **Jan Zuzánek**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
Konzultant: Ing. Miloslav Ledvina

Počet stran: 58
Počet příloh: 2
Počet tabulek: 8
Počet obrázků: 30
Počet diagramů: 10

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD.....	12
2 SOUSTRUŽENÍ	13
2.1 Nástroje.....	13
2.1.1 Nástrojové úhly	14
2.1.2 Řezné síly a výkon	15
2.2 Stroje.....	19
2.2.1 Hrotové soustruhy	19
3 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	20
3.1 Kritéria opotřebení	21
3.2 Klasifikace typů opotřebení břitů nástrojů	21
4 STRUKTURA POVRCHU	24
5 PROCESNÍ KAPALINY.....	25
5.1 Druhy procesních kapalin	25
5.2 Přívod procesní kapaliny	26
6 OBROBITELNOST MATERIÁLU.....	28
7 EXPERIMENTY.....	30
7.1 Metodika experimentů.....	30
7.1.1 Stroj	30
7.1.2 Nástroj	30
7.1.3 Zařízení pro přívod procesní kapaliny.....	30
7.1.4 Shrnutí podmínek experimentů.....	34
7.2 Příprava měření	35
7.3 Určení užitečného výkonu	40
7.4 Určení drsnosti povrchu.....	42
8 PRAKTICKÁ ČÁST EXPERIMENTŮ.....	44

9	HODNOCENÍ EXPERIMENTŮ.....	46
9.1	Hodnocení experimentu 1.....	46
9.2	Hodnocení experimentu 2.....	46
9.3	Hodnocení experimentu 3.....	47
9.4	Hodnocení experimentu 4.....	48
9.5	Hodnocení experimentu 5.....	48
10	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM PŘÍLOH	58

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_D	plocha jmenovitého průřezu třísky	[mm ²]
a_p	šířka záběru ostří	[mm]
$a_{p\ max}$	maximální šířka záběru ostří	[mm]
$a_{p\ min}$	minimální šířka záběru ostří	[mm]
b	šířka soustružnického nože	[mm]
$C_{Fc,f,p}$	materiálové konstanty	[-]
c_{tp50}	materiálový poměr profilu	[μm]
d	průměr vepsané kružnice VBD	[mm]
D	průměr zkušební vzorku	[mm]
F	celková řezná síla	[N]
f	posuv na otáčku	[mm/ot.]
f_l	šířka soustružnického nože s VBD	[mm]
F_c	řezná síla	[N]
F_f	posuvová síla	[N]
f_{max}	maximální posuv na otáčku	[mm/ot.]
f_{min}	minimální posuv na otáčku	[mm/ot.]
F_p	přísuvová síla	[N]
h	nedeformovaná hloubka odřezávané vrstvy	[mm]
h_l	výška soustružnického nože	[mm]
i_o	index obrobitelnosti	[-]
k_c	měrná řezná síla	[MPa]
l_1	délka soustružnického nože	[mm]
$l_{2\ max}$	maximální délka l_2	[mm]
n	otáčky obrobku	[ot./min]
P_0	příkon stroje na prázdko	[W]
P_1	příkon stroje	[W]
$P_{už}$	užitečný výkon	[W]
$P_{už\ a}$	užitečný výkon naměřený třífázovým analyzátozem výkonu	[W]
$P_{už\ d}$	užitečný výkon naměřený dynamometrem	[W]
q	kvocient geometrické řady	[-]
Q_V	průtočné množství	[l/min]

Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
Rp	největší výška výstupku	[μm]
Rq	průměrná kvadratická úchylka profilu	[μm]
Rv	největší hloubka prohlubně	[μm]
Rz	největší výška profilu	[μm]
s	tloušťka VBD	[mm]
t	teplota procesní kapaliny	[$^{\circ}$]
VB	opotřebení na hřbetě	[mm]
VB_B	opotřebení přímé části ostří (průměrné)	[mm]
VB_{Bmax}	opotřebení maximální	[mm]
VB_C	opotřebení v oblasti špičky nástroje	[mm]
VB_N	opotřebení ve formě vrubu	[mm]
v_c	řezná rychlost	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
v_{c15}	řezná rychlost při trvanlivosti $T=15$ min pro sledovaný materiál	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
$v_{c15 \text{ etanolu}}$	řezná rychlost při trvanlivosti $T=15$ min pro etanolvý materiál	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
v_f	rychlost přísuvu	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
v_p	rychlost posuvu	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
x	osa x	[-]
$x_{Fc,f,p}$	exponenty vlivu a_p	[-]
y	osa y	[-]
$y_{Fc,f,p}$	exponenty vlivu f	[-]
z	osa z	[-]
α_f	boční úhel hřbetu	[$^{\circ}$]
α_n	normální úhel hřbetu	[$^{\circ}$]
α_o	ortogonální úhel hřbetu	[$^{\circ}$]
α_p	zadní úhel hřbetu	[$^{\circ}$]
β_f	boční úhel břitu	[$^{\circ}$]
β_n	normální úhel břitu	[$^{\circ}$]
β_o	ortogonální úhel břitu	[$^{\circ}$]
β_p	zadní úhel břitu	[$^{\circ}$]
γ_f	boční úhel čela	[$^{\circ}$]
γ_n	normální úhel čela	[$^{\circ}$]

γ_o	ortogonální úhel čela	[°]
γ_p	zadní úhel čela	[°]
ε_r	úhel špičky	[°]
η	mechanická účinnost	[-]
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
κ_r'	úhel nastavení vedlejšího ostří	[°]
λ_s	úhel sklonu hlavního ostří	[°]
ψ_r	doplňkový úhel nastavení hlavního ostří	[°]
VBD	vyměnitelná břitová destička	

1 ÚVOD

Bakalářská práce byla zadána katedrou obrábění a montáže, která je součástí fakulty strojní Technické univerzity v Liberci a experimentální část probíhala v laboratoři této katedry.

Účelem této práce je zmapování a zhodnocení vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při soustružení a rovněž zhodnocení kvality povrchu zkušebních vzorků. V praxi je vyžadováno kvalitního povrchu a v případě, že by za účelem snížení užitečného výkonu byl obrobený povrch nekvalitní, bylo by nutné tento povrch zlepšit a použít tak například některou z dokončovacích operací, tudíž by snížení výkonu postrádalo smysl. Užitečný výkon se skládá z řezné rychlosti a řezné síly, která závisí na mnoha technologických parametrech. Snížením užitečného výkonu se především sníží teplota vzniklá při obrábění, která ovlivňuje nástroj i obrobek. Také se docílí menších nákladů při obrábění, a pokud se zároveň sníží řezná síla, může se i prodloužit trvanlivost nástroje.

Cíle bakalářské práce v bodech:

- zkoumání vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při soustružení,
- změření užitečného výkonu pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW – 6069,
- změření řezné síly pomocí dynamometru Kistler a z naměřených hodnot vypočítat užitečný výkon,
- porovnání výsledků z analyzátoru a dynamometru,
- stanovení drsnosti povrchu zkušebních vzorků,
- posouzení při jakých řezných podmínkách bude užitečný výkon nejmenší a při jakých bude snížený a zároveň bude dosaženo relativně kvalitního povrchu.

2 SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je nejčastěji využívaný proces třískového obrábění rotačních ploch. Hlavní pohyb zde vykonává obrobek a vedlejší pohyby vykonává nástroj, který koná jak posuv, tak přísuv. Hlavním pohybem je pohyb rotační a u vedlejších pohybů to jsou podélný posuv, který je rovnoběžný s osou otáčení obrobku, příčný posuv, který je kolmý k ose obrobku. Přísuv je také příčný pohyb kolmý k ose obrobku, kterým se před obráběním nastaví hloubka řezu [1, s. 2], [2, s. 38].

Vedlejšími pohyby lze vytvořit válcové plochy (podélný posuv), čelní plochy (příčný posuv) a obecné rotační plochy (podélný a příčný pohyb současně) [2, s. 38]. Obrábí se jak vnější tak vnitřní plochy. Dále lze na soustruzích také řezat závity, vrtat, vyhrubovat, vystružovat, zapichovat, válečkovat, atd. [3, s. 105].

Pro optimální nastavení řezných podmínek je nejdůležitější řezná rychlost a posuv na otáčku. Obojí je nastaveno obsluhou soustruhu. Hloubku záběru lze přizpůsobit podle velikosti obrobku na počátku a na konci soustružení [4, s. 11]. Řezná rychlost závisí především na materiálu obrobku a nástroje. Při obrábění (na hrotovém soustruhu) oceli nástrojem z rychlořezné oceli se řezná rychlost pohybuje v rozmezí od 10 od 50 m/min, avšak při obrábění hliníku řeznou keramikou může tato rychlost být 600 až 1000 m/min [5, s. 159].

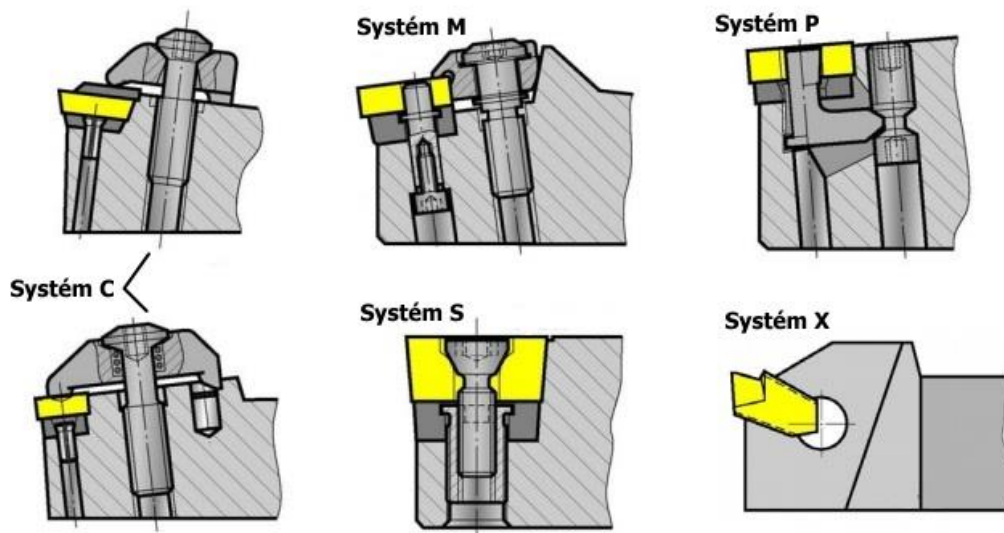
2.1 Nástroje

Zpravidla se obrábí jednobřítými nástroji. I přesto se jedná o rozsáhlý technologický proces, kde musí být vzato v úvahu mnoho faktorů, které ovlivňují řezný nástroj a to například způsob obrábění, podmínky při obrábění, tvar a materiál obrobku, materiál řezného nástroje, druh a geometrie břitu, způsob upnutí, druh břitové destičky apod. [1, s. 2]. Přesnost tvaru soustružnického nože velmi ovlivňuje jeho obráběcí schopnost. Ve většině případů jsou pro efektivní obrábění důležité například úhly hřbetu (obr 2), poloměr špičky, ostrost břitu, atd. [4, s. 12].

Materiály nástrojů jsou například nástrojové oceli, slinuté karbidy, řezná keramika, polykrystalický diamant, polykrystalický kubický nitrid bóru atd. [2, s. 39]. Nože a vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů se označují jednotným systémem ISO, podle kterého se řídí všichni výrobci nástrojů a jejich materiálů [3, s. 114].

Konstrukce soustružnických nožů je buď celistvá, pájená nebo vyměnitelnými břitovými destičkami. Vyměnitelné břitové destičky patří mezi nejpoužívanější, neboť při jejich

otupení je snadné destičku vyměnit nebo pouze pootočit, pokud má více břitů. K tělu nástroje jsou připevněny mechanicky (obr. 1), [2, s. 40].

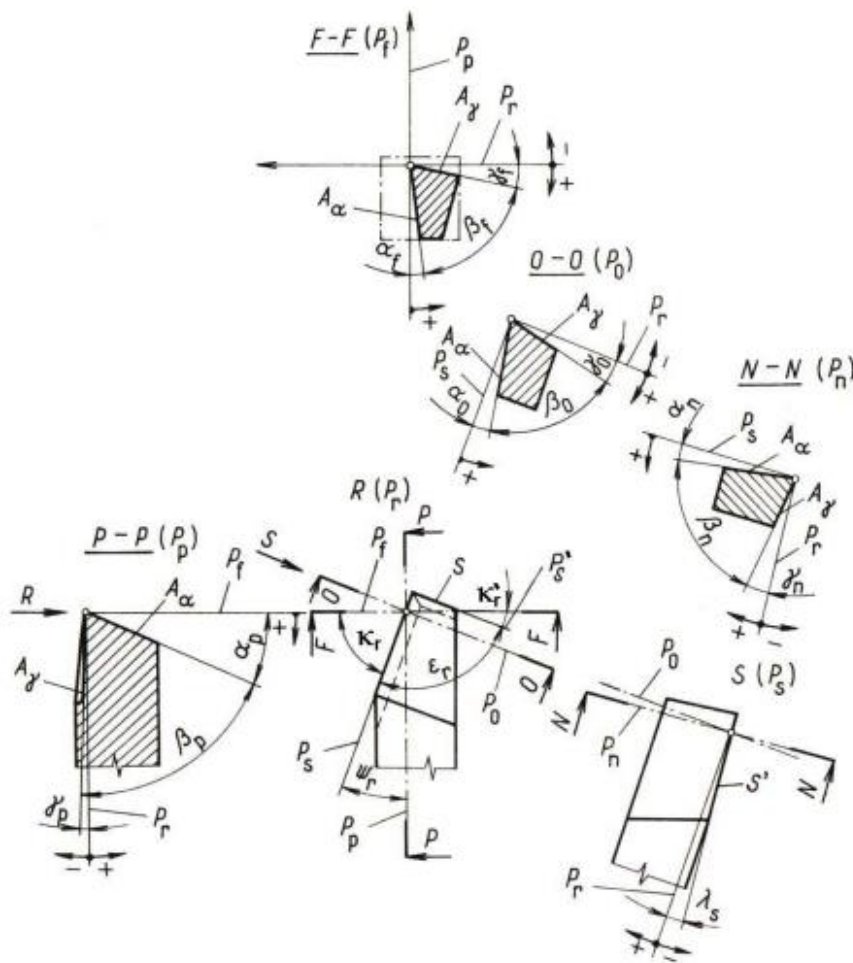


Obr. 1 Způsoby upnutí vyměnitelných břitových destiček [3, s. 109]

2.1.1 Nástrojové úhly

Nástrojové úhly výrazně ovlivňují celkový proces obrábění. Obecně se jedná o velikost řezných sil, podmínky tvorby třísky, teplotu řezání, vlastnosti obrobene vrstvy obrobku, atd. Volba těchto úhlů je především ovlivněna vlastnostmi obráběného materiálu (mechanické a fyzikální). Vliv má ale také materiál nástroje, řezné podmínky, požadovaná struktura povrchu obrobku, aj. [3, s. 15].

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r ovlivňuje délku ostří v záběru, tvar třísky, tuhost a opotřebení špičky (což má vliv na drsnost povrchu obrobku) a jeho velikost se pohybuje v rozmezí od 45° do 90° . Nastavení odchodu třísky určuje úhel sklonu hlavního ostří λ_s (pokud se hodnota úhlu pohybuje v kladných hodnotách, je směr odchodu třísky od obrobku a naopak). Hodnoty toho úhlu jsou v rozmezí od -6° do $+6^\circ$, včetně nuly. Utváření třísek ovlivňuje úhel čela γ (γ_o), který se volí od -8° do $+8^\circ$. Tento úhel má vliv i na poměry velikostí složek síly řezání a opotřebení nástroje. Mezi další nástrojové úhly také patří úhel hřbetu α (α_o), který je obvykle navrhován v rozmezí od 8° do 12° a ovlivňuje tření nástroje o obrobek, vznik tepla (především třením), trvanlivost nástroje, atd. [6, s. 35].



κ_r - úhel nastavení hlavního ostří [°]

ψ_r - doplňkový úhel nastavení hlavního ostří [°]

κ_r' - úhel nastavení vedlejšího ostří [°]

λ_s - úhel sklonu hlavního ostří [°]

ϵ_r - úhel špičky [°]

γ_o - ortogonální úhel čela [°]

γ_f - boční úhel čela [°]

γ_p - zadní úhel čela [°]

γ_n - normální úhel čela [°]

α_o - ortogonální úhel hřbetu [°]

α_f - boční úhel hřbetu [°]

α_p - zadní úhel hřbetu [°]

α_n - normální úhel hřbetu [°]

β_o - ortogonální úhel břitu [°]

β_f - boční úhel břitu [°]

β_p - zadní úhel břitu [°]

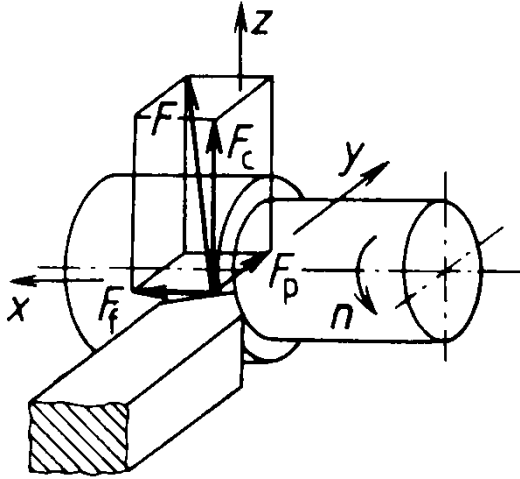
β_n - normální úhel břitu [°]

Obr. 2 Nástrojové úhly [3, s. 14]

2.1.2 Řezné síly a výkon

Řezné síly se skládají především ze sil, které vznikají při odřezávání třísky a sil které přetvářejí třísku. V místě břitu působí zejména tlakové síly, ale také i smykové. Na ostří břitu působí největší tlak, který se podél čela zeslabuje [7, s. 25].

Soustružnické nože jsou namáhány celkovou řeznou silou F , která se rozkládá na složky F_c , F_f a F_p (obr. 3). Ta má velký vliv na proces soustružení a je často potřeba ji znát pro kontrolu zatížení jak stroje, tak i nástroje [2, s. 41].



Obr. 3 Síly působící od soustružnického nože [2, s. 41]

Řezná síla se určí pomocí měrné řezné síly k_c a plochy jmenovitého řezného průřezu třísky A_D a to dle vztahu [7, s. 28]:

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad [\text{N}].$$

Pro podélné soustružení se celková řezná síla může vyjádřit pomocí níže uvedených vztahů [3, s. 107]:

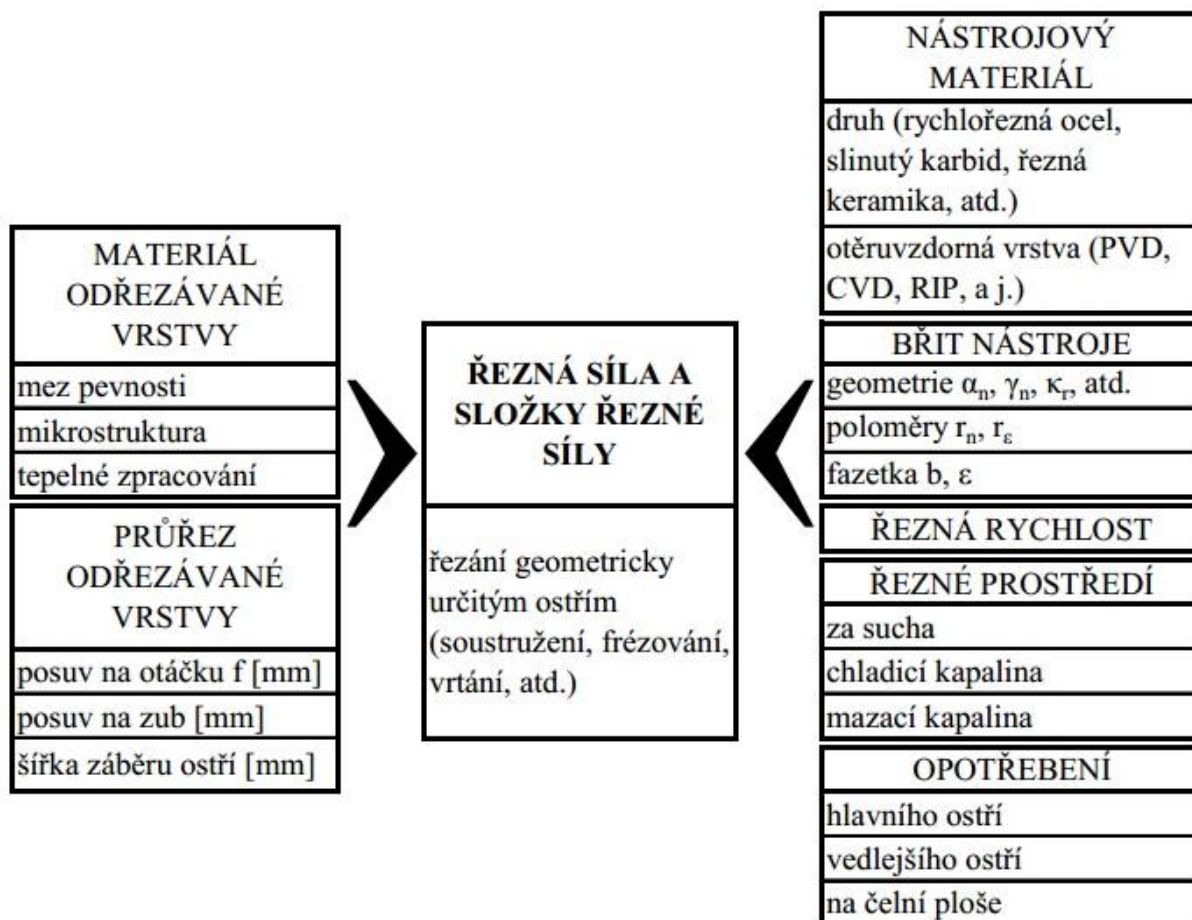
$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad [\text{N}],$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \quad [\text{N}],$$

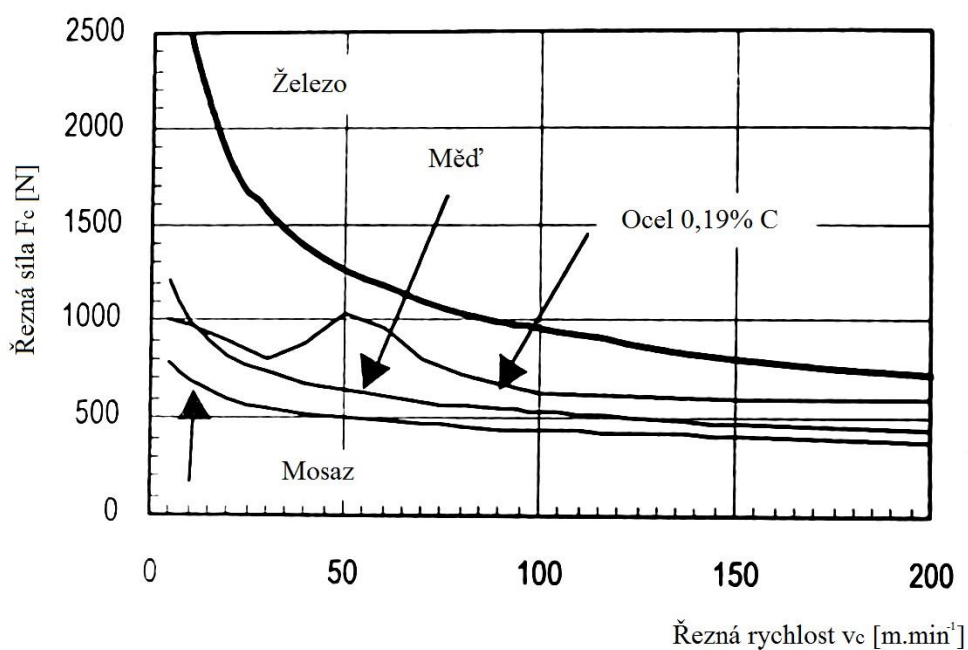
$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{x_{F_p}} \cdot f^{y_{F_p}} \quad [\text{N}],$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad [\text{N}].$$

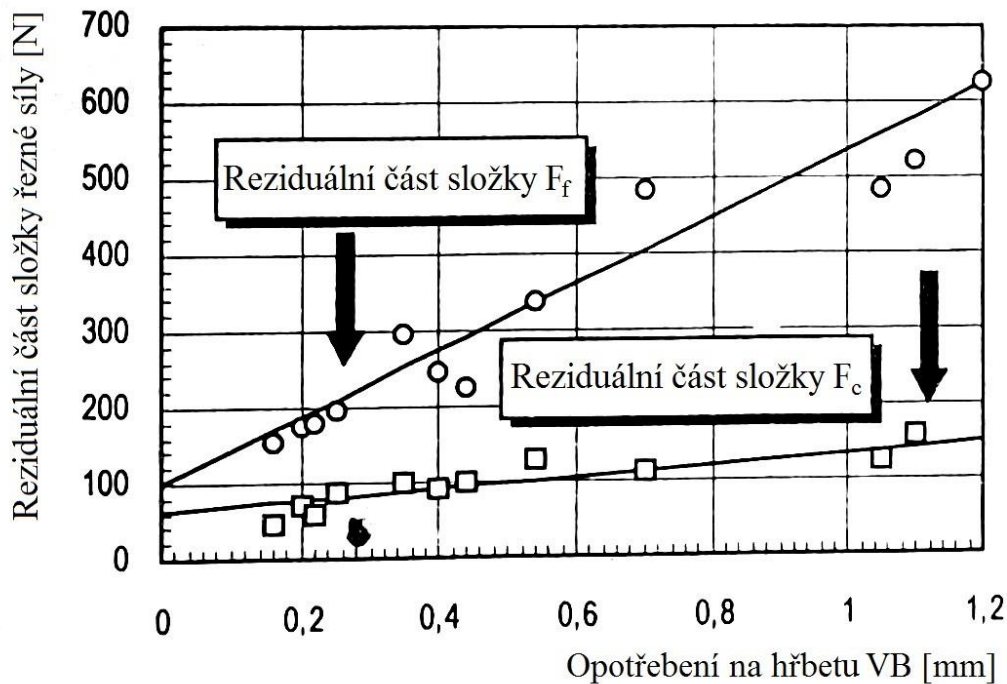
Velikost celkové řezné síly závisí i na dalších parametrech obrábění jako materiál nástroje, břit nástroje, řezná rychlost, řezné prostředí a opotřebení nástroje (obr. 4, 5, 6 a 7). Údaje o řezné síle jsou proto velmi rozsáhlé. Pro určení souhrnného vlivu je možné použití korelování různých zdrojů údajů, které byly získány při různých podmínkách [8, s. 113].



Obr. 4 Faktory určující velikost řezné síly dle [8, s. 113]



Obr. 5 Vliv různých materiálů obrobku na řeznou sílu dle [8, s. 118]



Obr. 6 Vliv opotřebení nástroje na řeznou sílu dle [8, s 119]

Užitečný výkon $P_{už}$ určuje energetickou náročnost procesu. Je to výkon, který je potřeba pro vniknutí nástroje do obrobku a oddělení třísky. Společně s příkonem stroje ho vypočítáme z níže uvedených vztahů [2, s. 52]:

$$P_{už} = F_c \cdot v_c + F_p \cdot v_p + F_f \cdot v_f \quad [W],$$

$$P = \frac{P_{už}}{\eta} \quad [W].$$

Vztah pro $P_{už}$ je možné zjednodušit za předpokladu, že posuvová a přísuvová rychlost jsou vůči řezné rychlosti malé nebo nulové a tím se výkon od posuvové a přísuvové síly může zanedbat. Zjednodušený vztah se proto může použít například u soustružení a vypadá takto:

$$P_{už} = F_c \cdot v_c \quad [W].$$

Užitečný výkon se může po dosazení vyjádřit také jako [7, s. 28]:

$$P_{už} = k_c \cdot A_D \cdot v_c \quad [N],$$

$$P_{už} = k_c \cdot f \cdot a_p \cdot v_c \quad [N].$$

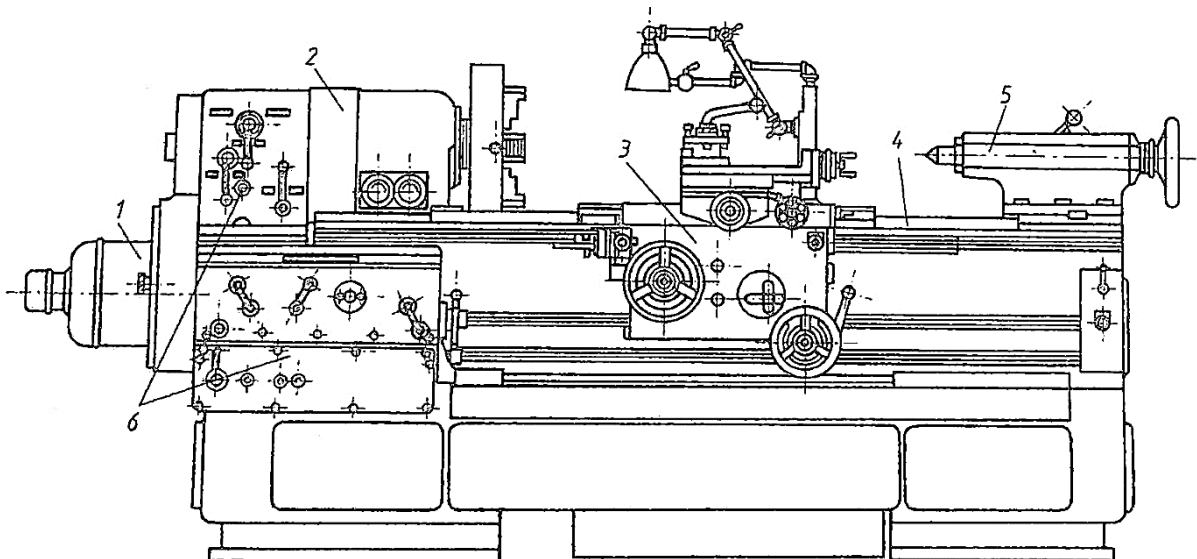
2.2 Stroje

V technické praxi mají soustružnické stroje (soustruhy) největší podíl obráběcí techniky. Rozlišují se na velký podíl typů a jsou také různě automatizovány. [3, s. 114] Soustruhy se dělí podle konstrukce na hrotové, čelní, svislé a revolverové a podle stupně automatizace na poloautomatické a automatické. Vřeteno, které se nachází ve vřeteníku, je poháněno elektromotorem. Na vřeteno je upevněno sklíčilo, do kterého se následně upíná obrobek. Koník se používá pro podepírání delších obrobků a pro vrtání děr v ose obrobku. Na suport je připevněna nožová hlava, ve které se nachází nástroje. Suportem se vykonává podélný a příčný pohyb nástroje vůči obrobku [2, s. 45 – 46].

2.2.1 Hrotové soustruhy

Použití hrotových soustruhů je v malosériové a kusové výrobě. Jsou nenáročné na seřizování a mohou se s nimi soustružit rozličné typy obrobků. Dělí se na univerzální (obr. 4) a jednoduché (produkční). Hlavní rozdíl mezi těmito druhy je, že oproti univerzálním hrotovým soustruhům nemají jednoduché vodící šroub, avšak mají vyšší výkon elektromotoru. Díky vodícímu šroubu lze například řezat závity [3, s. 114 – 115].

Na hrotových soustruzích je také možno obrábět obecné rotační plochy a to pomocí kopírovacího zařízení, které se dodává jako zvláštní příslušenství [2, s. 46].



1 – elektromotor, 2 – vřeteník, 3 – suporty, 4 – lože, 5 – koník, 6 - převodovky

Obr. 7 Univerzální hrotový soustruh [2, s. 45]

3 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

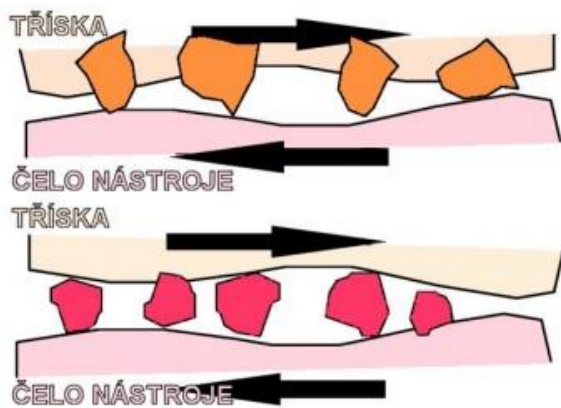
Na opotřebení řezných nástrojů má při obrábění vliv několik různých faktorů. Jedná se především o vznik velkého množství tepla. Při obrábění za vysoké teploty a tlaku se tvoří čistý kovový povrch, může na obráběném materiálu docházet k chemickým reakcím a difuzním procesům. Obráběné materiály také často obsahují částice, které dosahují stejné tvrdosti jako materiál břitu nástroje a tím dochází k abrazi [6, s. 45]. Břity jsou vystaveny určitému opotřebení až do konce doby trvanlivosti. Trvanlivost břitu časový úsek a to od okamžiku upnutí nové vyměnitelné břitové destičky až do hranice opotřebení jejího břitu, kdy je ještě možné touto destičkou obrábět. Trvanlivost je počítána v minutách [9, s. 2]. Podmínky práce řezného nástroje a běžných strojních součástí jsou velmi odlišné (tab. 1), což je nutno při procesu opotřebení zohlednit a přistupovat tak z odlišných pozic.

Sledovaný parametr	Parametr u stroje	Par. u nástroje
Měrná řezná síla (řádově) [MPa]	10^2	$10^3 \div 10^4$
Teplota na funkčním povrchu [°C]	$60 \div 100$	$300 \div 1200$
Teplotní gradient na čele nástroje [°C cm ⁻¹]		10^5
Rychlost ohřevu [°C s ⁻¹]		$10^6 \div 10^9$
Deformační rychlost [s ⁻¹]		$10^3 \div 10^6$
Doba kontaktu mezi nástrojem a třískou [s]		10^{-3}
Otěr [mm] při dráze $10^3 \div 10^4$ m	$10^{-3} \div 10^{-4}$	$10^{-2} \div 10^{-1}$

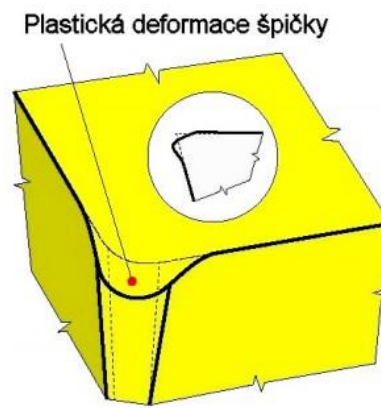
Tab. 1 Pracovní podmínky řezného nástroje [3, s. 41]

Tento proces závisí na různých faktorech. Mezi tyto faktory patří fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu nástroje i obrobku, druh obráběcí operace, pracovní podmínky, řezné a pracovní podmínky, atd. [3, s. 41].

Mezi základní mechanismy opotřebení především patří výše zmíněná abraze (obr. 5), adheze (dochází ke vzniku mikrosvarových spojů, které jsou okamžitě přerušeny, obr. 5), difúze (chemická reakce mezi chemickými vlastnostmi řezného a obráběného materiálu, při které dochází ke vzniku nežádoucích sloučenin v nástroji), oxidace (vlivem kyslíku dochází na povrchu nástroje ke vzniku chemických sloučenin), plastická deformace (dochází k ní v důsledku vysokého zatížení jak mechanického tak i tepelného, kumulovaného v čase a je zde i riziko vytvoření nejnepríznivějšího důsledku ve formě tzv. lavinového opotřebení, obr. 6) a křehký lom (vzniká důsledkem vysokého mechanického zatížení, obr. 7), [6, s. 45].



Obr. 8 Schéma abrazivní opotřebení [3, s. 42]



Obr. 9 Schéma plastického porušení [3, s. 43]



Obr. 10 Schéma adheze [3, s. 42]



Obr. 11 Schéma křehkého lomu [3, s. 43]

3.1 Kritéria opotřebení

Opotřebení je kvantifikováno kritérii podle normy ISO ČSN 3685. Norma udává, že opotřebení na hřbetu je označováno VB , to se následně rozlišuje na opotřebení v oblasti špičky nástroje (VB_C), ve formě vrubu (VB_N), přímé části ostří (průměrné, VB_B) a maximální (VB_{Bmax}), [3, s. 46]. Kritéria jsou různá v důsledku kolísajících mechanických zatížení, které závisí na hloubce řezu a posuvu. Jsou to například abrazivní opotřebení hřbetu a žlábků na čele hřbetu, oxidace (vede k opotřebení na hřbetě břitů), vytváření nárůstku, plastická deformace, atd. K opotřebení nejvíce dochází v oblasti čela, hlavního a vedlejšího hřbetu a poloměru špičky [7, s. 9 - 10].

3.2 Klasifikace typů opotřebení břitů nástrojů

Opotřebení hřbetu nástroje

Toto opotřebení spadá pod abrazivní formy. Nejčastěji může být pozorován na ploše hřbetu u vedlejšího i hlavního ostří a poloměru špičky, kde je nástroj zvláště namáhán obrobkem.

Jedná se o velmi obvyklý typ opotřebení [6, s. 47]. Má za následek zhoršení kvality obrobeného povrchu, nárůst tření, nepřesnost obrobku, atd. [9, s. 12].

Opotřebení ve tvaru žlábků

Tvorba žlábků je způsobena difúzním opotřebením a abrazí. Difúze vzniká kvůli kontaktu mezi odcházející třískou a materiálem břitu, kde vzniká velké množství tepla. Brousicí efekt abraze vzniká kvůli tvrdým částicím z třísky [9, s. 13].

Vydrolení ostří

Nejčastěji je způsobeno přerušovaným řezem při obrábění. Kvůli špičkám zatížení se drobné částice materiálu vydrolují z povrchu břitu. Nevhodný materiál nástroje a nevhodná geometrie ostří mohou také být příčinou tohoto typu opotřebení [6, s. 48].

Plastická deformace břitu

Vzniká působením vysokých teplot a řezných tlaků na břit, vyvolané především posuvem a řeznou rychlostí. Často dochází k tzv. vyboulení břitu, které následně ještě více zvyšuje teplotu, ovlivňuje geometrii břitu a odchod třísky. Velmi rychle může dojít do kritického stavu. Deformace lze snížit zaoblením a geometrií břitu [9, s. 14].

Opotřebení ve tvaru vrubu

U vrubu na hlavním hřbetu břitu se typicky jedná o adhezní opotřebení, avšak může souviset i s jevem oxidačního opotřebení. Vzniká po kontaktu břitu s třískou. Na vedlejším hřbetu břitu způsobují vrub tvrdé částice z obrobeného materiálu. Při větším vrubu může dojít i k lomu destičky [9, s. 15].

Často se vyskytuje u obrábění odlitků a výkovků, které mají tvrdší povrchovou vrstvu, nebo u materiálů jako jsou nerezové oceli, vysokoteplotních slitin a také slitin titanu, neboť mají deformační zpevnění [10].

Hřebenové trhlinky na ostří

Jsou tvořeny prudkými změnami teplot na ostří nástroje. Protože se trhlinky tvoří kolmo na ostří, může docházet k vylamování jeho částí a tím i k lomu břitu [6, s. 50]. Často se také vyskytuje při nepravidelném přívodu chlazení. Snížit riziko výskytu trhlinek se může dosáhnout snížením posuvu a řezné rychlosti [10].

Únavový lom

Vzhledem se podobá vrbu a bývá s ním zaměňován [10]. Je častým následkem velmi velkých změn řezných sil. Ostří je při tomto jevu zatěžováno různými zatíženími, které jednotlivě nejsou dostatečně intenzivní, aby došlo k lomu (viz. 2.2.8), [6, s. 50].

Lom břítu

Při nastání tohoto opotřebení, končí funkčnost řezného elementu. Je často ve velké míře nebezpečný a je proto nutno mu každém případě zabránit. Lomem vždy končí trvanlivost břítu. Způsobují ho různé faktory a to nejčastěji špatná volba materiálu břítu, který na požadavky obrábění není dostatečně houževnatý [6, s. 50].

Tvorba nárůstku na hřbetu – build up edge (BUE)

Adheze materiálu má v tomto typu opotřebení největší úlohu. Tvoří se nejčastěji na místech, kde dochází k vysokým tlakům, dostatečné teplotě a kde je vyšší chemická afinita. Nárůstek se posléze odlamuje, který přitom s sebou dobírá i částice materiálu břítu. Následkem je poté vyštipování ostří a také se zrychlí opotřebení hřbetu nástroje [10]. V dnešní době se už obrábí moderními způsoby, které ve většině případů probíhají nad oblastí tvorby tohoto opotřebení. Dokonce i velká část moderních řezných materiálů, když se správně použijí, nemá k tvorbě nárůstku sklony [6, s. 49].

4 STRUKTURA POVRCHU

Pro zajištění správné funkce strojních součástí je nejen důležité zajistit rozměrovou či tvarovou přesnost, ale i vhodná jakost povrchu. Plochy součástí se rozdělují podle funkčnosti na stykové (funkční) a volné, z čehož se dále volí jakost [11, s. 132]. Obrobený povrch má nerovnosti způsobené řezným nástrojem. Oproti tomu na neobrobeném povrchu jsou tyto nerovnosti způsobené například od formy odlitků, kovadel, zápustek, atd.

Nerovnosti se posuzují podle nedokonalostí povrchu a strukturou povrchu. Nedokonalosti jsou různého typu a mohou být způsobeny jak špatnou manipulací, tak i při výrobě či skladování. Patří mezi ně například mikrotrhliny, rýhy, póry, koroze, atd. Struktura povrchu se dělí na různé složky podle toho, jak velké jsou rozteče nerovností. Složka, která má nejmenší rozteč nerovností, je drsnost povrchu. Následující složka je vlnitost povrchu a složka, která má rozteč největší, je určena základním profilem [12, s. 55].

Struktura není vždy ve všech směrech stejná, a proto se drsnost rozlišuje na příčnou a podélnou, kde příčná znamená, že je profil drsnosti kolmý na pohyb řezu a podélná je naopak ve směru pohybu řezu [11, s. 132]. Podle normy ISO 4287 je parametr drsnosti označován písmenem R a je dále rozdělen na největší výšku výstupku (R_p), největší hloubku prohlubně profilu (R_v), největší výšku profilu (R_z), průměrnou aritmetickou úchylku posuzovaného profilu (R_a) a průměrnou kvadratickou úchylku profilu (R_q). K určení drsnosti povrchu se nejčastěji používá hodnota R_a (tab. 2), [6, s. 13 - 14].

R_a (μm)	Směrnice pro použití
0,012	Nejhladší funkční plochy, které mají mít co nejmenší opotřebení při vysokých tlacích nebo vysokou zobrazivost. Měřicí plochy nejpřesnějších měřidel, např. základních měrek, metalografické výbrusy.
0,025	Kluzné plochy s velkou kluznou rychlostí a s velkým tlakem, které mají co nejmenší opotřebení; funkční plochy valivých ložisek. Měřicí plochy přesných měřidel, např. některých kalibrů.
0,05	Velmi přesné funkční plochy, které mají mít malé opotřebení; úložné plochy měřicích přístrojů, činné plochy kalibrů a některých měřidel. Volné plochy se stupnicemi k optickému odečítání.
0,1	Kluzné plochy hřidelů pro přesná uložení s malou vůlí, čelní opěrné plochy axiálních ložisek, lapované písty a díry hydraulických zařízení. Činné plochy měřidel. Leštěné plochy s nízkou zobrazivostí; základní povrch pro ozdobné elektrolytické pokovování těžkými neželeznými kovy.
0,2	Kluzné plochy smykadel a přesných ložiskových pouzder, přesná vedení s občasným pohybem a středící plochy měřicích přístrojů, přípravků. Těsnící kuželové plochy. Volné povrchy leštěné pro zvýšení únavové pevnosti. Přesné technologické základny pro další operace a kontrolu.

Tab. 2 směrnice pro použití R_a [12, s. 56]

5 PROCESNÍ KAPALINY

Procesní kapaliny se používají hlavně pro odvod tepla z místa řezání, buď chlazením, nebo mazáním, které snižuje tření jak vnější, tak i vnitřní. Tyto prostředky se nejčastěji používají v kapalné formě. Existují také i ve formě konzistentní (tuky) a pevné (prášková maziva), ale snižují pouze tření, a proto se používají pouze ojediněle, například při řezání závitů nebo při speciálních obráběcích operacích. V dnešní době se v praxi využívá také tzv. MQL (chlazení mlhou), kde je do vzduchu rozptýlena procesní kapalina v drobných kapičkách [13, s. 61].

5.1 Druhy procesních kapalin

Vodní roztoky

Jedná se o nejjednodušší a nejlevější procesní kapaliny, avšak neposkytují žádné další výhody. Základem těchto roztoků je voda, kterou je potřeba pro tyto účely upravit (přidání přísad proti korozi, změkčit atd.). Vždy se musí jednat o alkalický roztok. Mají sice velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale v podstatě žádný mazací [3, s. 37].

Emulzní kapaliny

Skládají se ze dvou různých kapalin, které nejsou vzájemně rozpustitelné. Jedna z nich tvoří mikroskopické kapičky, které jsou rozptýlené v druhé. Nejčastěji je to olej ve vodě. Nutné je však použití tzv. emulgátorů, které stabilizují emulzi zmenšením mezipovrchového napětí [13, s. 65].

Emulzní kapaliny mají jak chladicí, tak i mazací účinky. Chladicí účinky jsou však podmíněny koncentrací emulze, při jejím růstu klesá. Jsou to nejpoužívanější procesní kapaliny, asi 80% celkového objemu [3, s. 37].

Minerální oleje

Mají dobré mazací účinky, ale horší chladicí. Jedná se o výrobky z ropy. Pro jejich velmi dobré provozní vlastnosti se používají u řezných olejů jako jejich základ. Mají také dobrou odolnost proti stárnutí a ochranný účinek [13, s. 65].

Mastné oleje a tuky

Svémi vlastnostmi jsou prakticky stejné jako oleje minerální, ale jsou živočišného a rostlinného původu. Oproti minerálním mají však menší povrchové napětí a tím smáčivost. To

přispívá k lepšímu chladicímu účinku. Jejich velkou nevýhodou je ale značný sklon ke stárnutí [13, s. 65].

Řezné oleje

Jedná se o zušlechtěné minerální oleje. Použité přísady zlepšují jejich vlastnosti (vyšší tlakovou únosnost a mazací vlastnosti). Těmito přísadami jsou mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva. Mastné látky zvětšují přilnavost oleje a zlepšují mazací schopnosti. Mezi organické přísady patří prvky jako síra, chlor či fosfor, kde například chlor pomáhá zmenšit tření [13, s. 65-66].

Syntetické a polosyntetické kapaliny

Jsou provozně velmi stálé a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Neobsahují minerální oleje, ale skládají se z glykolů (rozpuštědel). Glykoly se ve vodě rozpouští nebo emulgují a díky tomu, že jsou průsvitné, umožňují sledovat průběh obrábění. Oproti procesním kapalinám, které jsou na bázi oleje, jsou syntetické ekonomičtější a zajišťují rychlý odvod tepla a také dobrý čistící účinek. Přidáním oleje do syntetických procesních kapalin vznikají kapaliny polosyntetické, které se používají pro jejich lepší mazací účinek [3, s. 38].

5.2 Přívod procesní kapaliny

Standartní přívod

U tohoto způsobu stačí pro přívod procesní kapaliny standartní přívodní potrubí, které je dodáváno výrobcem obráběcího stroje. Procesní kapalina je z nádrže přiváděna pomocí čerpadla a rozvodovým potrubím. Množství přiváděné kapaliny je regulováno škrcením průtoku kohoutem na výstupu z rozvodu [3, s. 38].

Tlakový přívod

Procesní kapalina je přiváděna zesponu přímo do místa řezu pod vysokým tlakem. Tlak se pohybuje v hodnotách od 0,3 do 3 MPa a dosahuje se pomocí výstupní trysky o průměru 0,3 až 1 mm. Tento způsob se využívá, pokud má vzniklé teplo při obrábění nepříznivý vliv na trvanlivost rezného nástroje. Nevýhodou však je, že vysokým tlakem se kapalina rozstříkuje a tím tvoří mlhu, která může znečistit pracovní prostředí [6, s. 87].

MLQ

Při tomto způsobu přívodu procesní kapaliny je vytvořena mlha, a to rozptýlením této kapaliny tlakem vzduchu. Tato směs vzduchu a malých kapek procesní kapaliny proudí rychlostí až $300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Tryska je nasměrována na nástroj a vlivem rozpínání směsi se dosahuje velmi dobrého odvodu tepla [3, s. 39].

Další způsoby

Mezi další způsoby přívodu chlazení patří podchlazování procesní kapaliny, kde se procesní kapaliny ochladí na teplotu nižší než je teplota okolí (běžné procesní kapaliny na 5 až 7 °C a oleje na 15 až 20 °C) a vnitřní chlazení, u něhož je kapalina přiváděna centrálními otvory v nástroji až do místa řezu [6, s. 88].

6 OBROBITELNOST MATERIÁLU

Při obrábění obrobku obrobitelnost materiálu výrazně ovlivňuje volbu rezných podmínek a jedná se o jednu z nejdůležitějších vlastností materiálu. Závisí na velkém množství různých faktorů, mezi které patří například rezné prostředí, metoda obrábění, chemické složení a mikrostruktura obráběného materiálu, druh nástrojového materiálu atd. Vzhledem k tomu je obrobitelnost relativní, a proto se často určuje porovnáním sledovaného materiálu s jiným, který byl obroběn při stejných podmínkách. Kritériem pro srovnání pak nejčastěji bývá velikost rezné rychlosti se zvolenou trvanlivostí (vyhodnocuje se úběr obráběného materiálu). Pro vyhodnocení obrobitelnosti jsou pak konstrukční materiály rozděleny do písmeny označených skupin (a, b, c, d, e, f, g, h, v) [3, s. 54 - 55].

Pro každou skupinu je vybrán tzv. etalon obrobitelnosti, což je konkrétní materiál, ke kterému je následně stanovena relativní obrobitelnost (ta platí i pro všechny ostatní materiály ze skupiny). Z toho se poté určí index obrobitelnosti i_o , který materiály rozděluje do různých tříd dané skupiny a je dán vztahem [3, s. 55]:

$$i_o = \frac{v_{c15}}{v_{c15 \text{ etalonu}}} \quad [-].$$

Tyto třídy jsou označeny číslem před písmeno určující danou skupinu (10a, 12b, atd.), (tab. 3). Pro odstupňování střední hodnoty indexu je použito geometrické řady s kvocientem $q=1,26$. Čím vyšší je číslo třídy, tím lepší je relativní obrobitelnost [3, s. 55].

I když je obrobitelnost vlastností obrobku, musí být posouzena v souvislosti s řezivostí nástroje, který byl použit při její zkoušce [3, s. 55].

Součinitel obrobiteľnosti K_v		Třída obrobiteľnosti pro skupinu materiálů			
od - do	střed. hodnota	a	b	c	d
0,045 - 0,054	0,050		1 b		
0,055 - 0,069	0,065		2 b		
0,07-0,089	0,08		3 b		
0,09 - 0,11	0,10		4 b		
0,12 - 0,14	0,13		5 b		
0,15 - 0,17	0,16		6 b		
0,18 - 0,221	0,20		7 b		
0,23 - 0,28	0,25		8 b		
0,29 - 0,35	0,32		9 b		
0,36 - 0,44	0,40	6 a	10 b	7 c	6 d
0,45 - 0,56	0,50	7 a	11 b	8 c	7 d
0,57 - 0,71	0,63	8 a	12 b	9 c	8 d
0,72 - 0,89	0,80	9 a	13 b	10 c	9 d
0,90 - 1,12	1,0	10 a	14 b	11 c	10 d
1,13 - 1,41	1,26	11 a	15 b	12 c	11 d
1,42 - 1,78	1,59	12 a	16 b	13 c	12 d
1,79 - 2,24	2,0	13 a	17 b	14 c	13 d
2,25 - 2,82	2,5		18 b		
2,83 - 3,55	3,2		19 b		
3,56 - 4,47	4,0		20 b		

Tab. 3 Součinitele obrobiteľnosti a korespondující třídy obrobiteľnosti [13 s. 98]

7 EXPERIMENTY

Experimenty budou prováděny v prostorách Technické univerzity v Liberci, a to v laboratoři katedry obrábění a montáže. Veškeré použité stroje, nástroje a zařízení jsou součástí vybavení této laboratoře.

7.1 Metodika experimentů

Za účelem zjištění možností pro snížení užitečného výkonu při soustružení bude vybráno několik parametrů, které významně tento výkon ovlivňují. Do jaké míry tyto parametry užitečný výkon ovlivňují, bude určeno měřením výkonu a řezné síly. Zároveň bude měřena drsnost povrchu zkušebního vzorku.

Výběr parametrů ovlivňujících významně užitečný výkon

Parametry, které významně ovlivňují užitečný výkon, budou zvoleny na základě konzultace s vedoucím a konzultantem bakalářské práce a budou uvedeny v tab. 7. Jejich hodnoty budou voleny v dostatečně širokém rozsahu, aby bylo dosaženo viditelných rozdílů. Při měření vlivu jednoho ze zvolených parametrů na užitečný výkon budou ostatní z těchto parametrů konstantní a jejich hodnoty budou stejné i u dalších měření. Parametry jako jsou posuv na otáčku a šířka záběru ostří budou také konstantní.

7.1.1 Stroj

Měření bude prováděno na hrotovém soustruhu TOS SU 50/1500 (tab. 4).

7.1.2 Nástroj

Bude použit stranový soustružnický nůž CTAPR 2525 M 16 (tab. 5, obr. 12) s vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD) TPUN 160304:S26 bez povlaku (tab. 6, obr. 13).

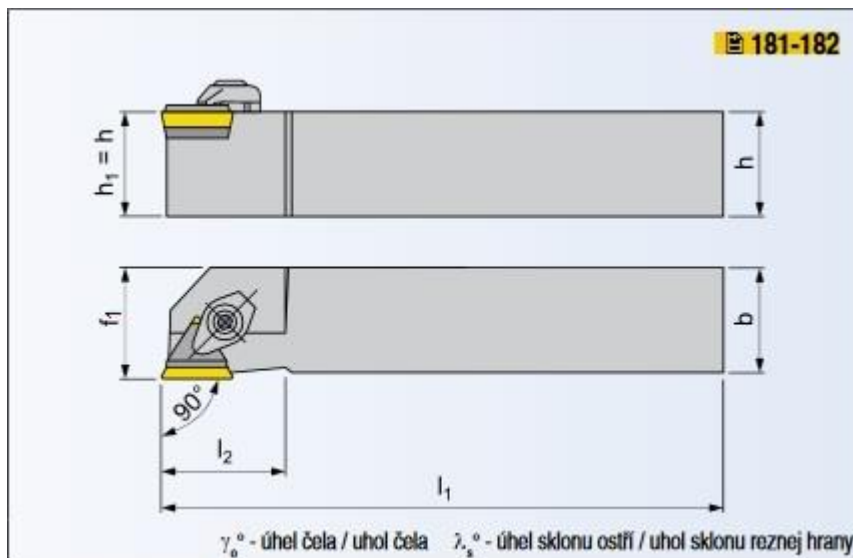
7.1.3 Zařízení pro přívod procesní kapaliny

Do místa řezu bude přiváděna procesní kapalina pomocí dvou zařízení. První zařízení bude mikromazací zařízení MQL (obr. 14) a bude použito pro přívod maziva na bázi přírodních triglyceridů (ACCU-LUBE LB-2000). Zařízení bude pomocí hadice s tryskou dopravovat do místa řezu stačený vzduch, ve kterém bude rozprášeno mazivo, čímž vznikne tzv. řezná mlha.

Pro přívod syntetické kapaliny (EOPS 1030) a řezného oleje (MULTICUT Extra 10) bude použito tzv. gravitačního zařízení, které se skládá z nádoby o objemu 2,5 litru a nastavitelné hadice (obr. 15). Toto zařízení bude připevněno k suportu pomocí šroubovací tyče a objímky. Kapalina protéká z nádoby hadicí přímo do místa řezu pouze působením gravitace.

Hrotový soustruh TOS SU 50/1500		
Základní údaje		
Oběžný průměr nad ložem	500	[mm]
Oběžný průměr nad suportem	250	[mm]
Délka soustružení	1500	[mm]
Rozsah otáček vřetena	11,2 - 1400	[ot./min]
Rozsah podélných posuvů	0,027 - 3,8	[mm/ot.]
Rozsah příčných posuvů	0,013 - 1,9	[mm/ot.]
Počet motorů pro hlavní pohon stroje	2	[-]
Otáčky	1500	[ot./min]
Výkon motorů pro hlavní pohon stroje	11	[kW]

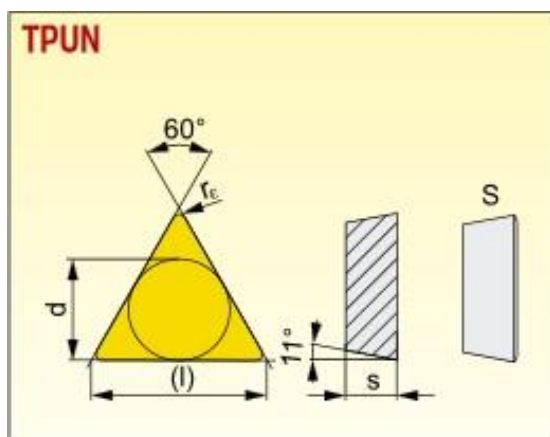
Tab. 4 Základní údaje soustruhu TOS SU 50/1500 [14, s. 1]



Obr. 12 Soustružnický nůž CTAPR [15, s. 10]

CTAPR 2525 M 16		
h_1	25	[mm]
b	25	[mm]
f_1	25,5	[mm]
l_1	150	[mm]
$l_{2 \max}$	32	[mm]
λ_o	0	[°]
γ_o	+5	[°]

Tab. 5 Technické parametry soustružnického nože CTAPR [15, s. 10]



Obr. 13 VBD TPUN [15, s. 183]

VBD TPUN 160304:S26		
d	9,525	[mm]
s	3,18	[mm]
r_e	0,4	[mm]
f_{\min}	0,1	[mm/ot.]
f_{\max}	0,24	[mm/ot.]
$a_{p \min}$	0,4	[mm]
$a_{p \max}$	4,8	[mm]

Tab. 6 Technické parametry VBD [15, s. 183]



Obr. 14 Mikromazací zařízení MQL



Obr. 15 Gravitační zařízení

7.1.4 Shrnutí podmínek experimentů

Podmínky všech experimentů jsou shrnuty v tab. 7.

Stroj	Soustruh SU 50 - 1500 mm		Nástroj			
Operace	Hrubování		VBD			
Podmínky experimentů						
Průměr zkušební vzorku	D	70			[mm]	
Šířka záběru ostří	a_p	1,5			[mm]	
Posuv na otáčku	f	0,1			[mm/ot.]	
Řezná rychlost	v_c	50	125	200	[m/min]	
Opotřebení nástroje	VB	0,0	0,4	0,8	[mm]	
Úhel čela	γ_o	-17	0	+5	+17	[°]
Materiál zkušební vzorku	EN - C45 (12 050.1)					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3)					
	EN - X5CrNi18 - 10 (17 240)					
	EN - GJL - 200 (42 2420)					
Procesní médium	Procesní kapaliny	ACCU-LUBE LB-2000				
		EOPS 1030				
		MULTICUT Extra 10				
	Obrábění za sucha	-				
	Průtočné množství	Q_v	0,27		[l/min]	
	Koncentrace	-	5		[%]	
	Teplota kapaliny	t	23		[°C]	
Přívod kapaliny	mikromazací zařízení MQL					
	gravitační zařízení					
Měřené parametry			Měřicí aparatura			
Příkon stroje	P_0, P_1	[W]	třířázový analyzátor výkonu DW - 6069			
Řezná síla	F_c	[N]	dynamometr Kistler			

Tab. 7 Podmínky experimentů

7.2 Příprava měření

Stroj

Na soustruhu se nastaví počet otáček a rychlost posuvu, přičemž otáčky se nastaví tak, aby odpovídaly zvolené řezné rychlosti.

Dynamometr

Ze soustruhu se sundá nožová hlava a místo ní se připevní dynamometr (obr. 16), který se musí zkalibrovat. Ke kalibraci se použije siloměr Lutron FG-5020 (obr. 17), který se postupně umístí ve směru posuvu (osa x) a přísvu (osa y). Bude umístěn tak, aby se v obou z těchto směrech jedna strana dotýkala dynamometru a druhá se opírala o pevný bod na stroji. V počítači připojenému k dynamometru se spustí kalibrace v programu LabVIEW 6.1, kde se nejdříve nadefinuje nulové zatížení a poté pomocí přísvu a posuvu zatížení v ose x a y. Kalibrace ve směru řezné síly (osa z) se provede pomocí závaží, které se položí přímo na dynamometr.



Obr. 16 Dynamometr Kistler



Obr. 17 Siloměr Lutron FG-5020

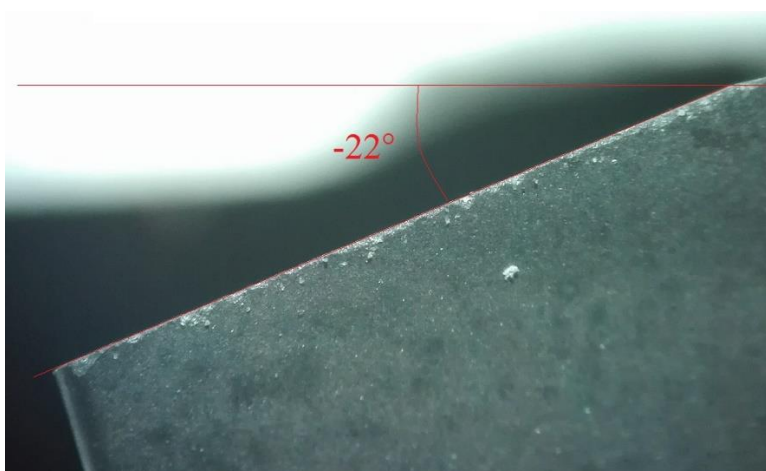
Nástroj

Do dynamometru se umístí soustružnický nůž s VBD a vypodloží se kalibračními destičkami tak, aby špička VBD byla v úrovni osy koníka. Nůž se poté přitáhne dvěma šrouby.

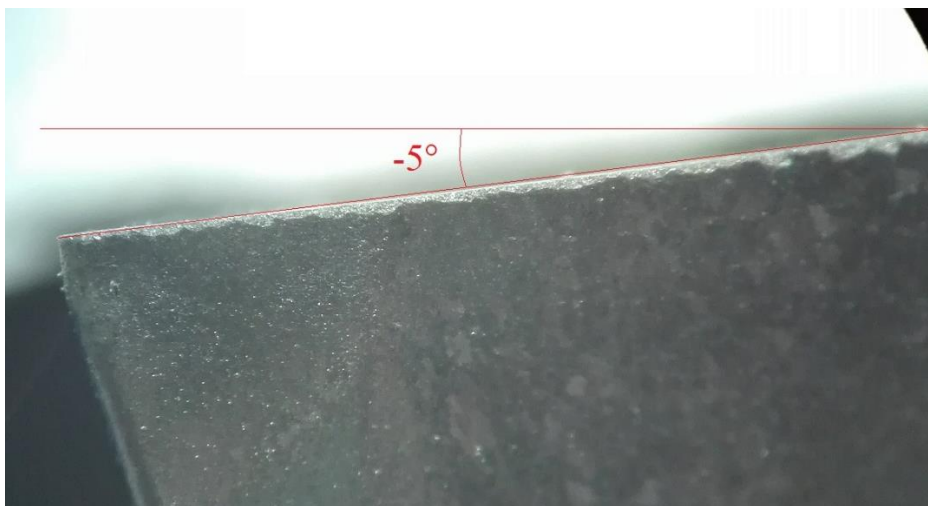
Vyměnitelné břitové destičky

Pro každý experiment bude použita nová vyměnitelná břitová destička.

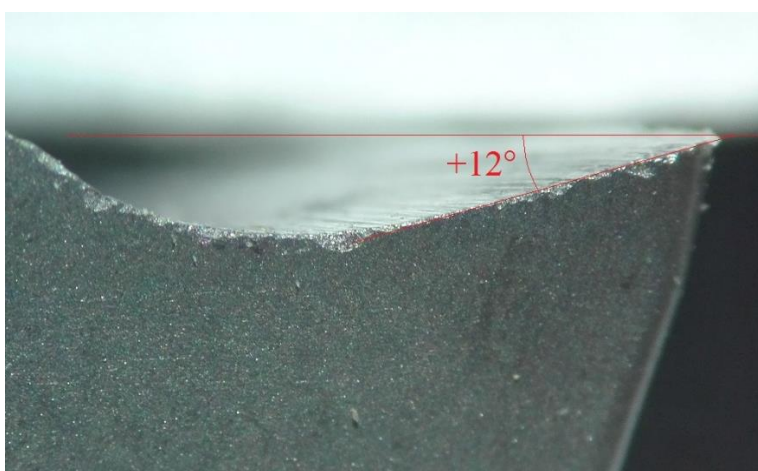
Pro měření vlivu změny úhlu čela γ_0 je potřeba upravit destičky tak, aby odpovídaly hodnotám -17° , 0° a $+17^\circ$ (hodnotu 5° není potřeba připravovat, neboť zvolený soustružnický nůž o tuto hodnotu destičku nakloní). Pro dosažení těchto hodnot se použije bruska EBN 2 - 0 s diamantovým brousicím kotoučem. V potaz ovšem bude brán náklon úhlu γ_0 nože o hodnotu 5° a tudíž se destičky zbrousí na hodnoty -22° , -5° a $+12^\circ$ (obr. 18, 19, 20).



Obr. 18 Úhel čela $\gamma_0 = -22^\circ$

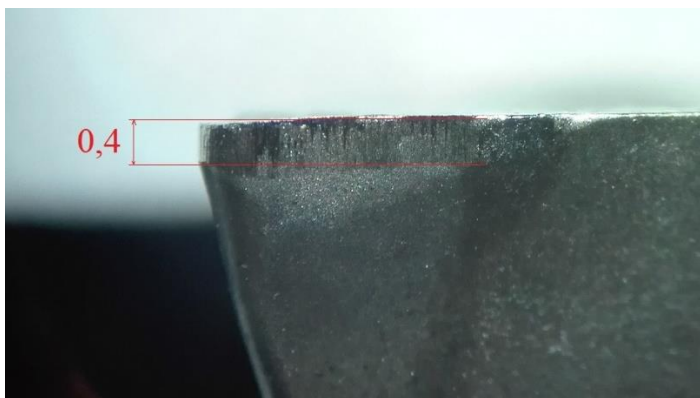


Obr. 19 Úhel čela $\gamma_o = -5^\circ$

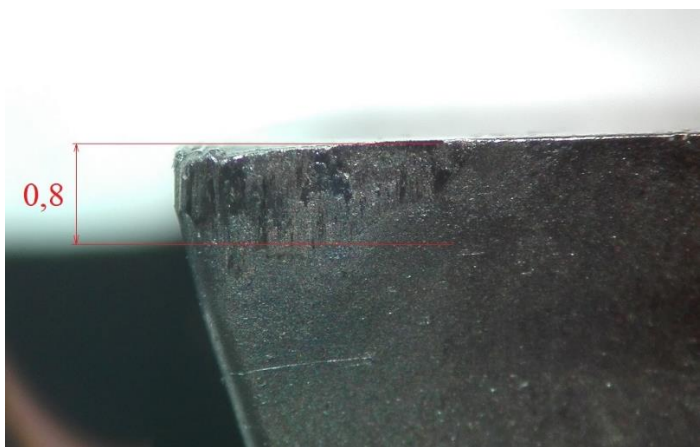


Obr. 20 Úhel čela $\gamma_o = +12^\circ$

Pro větší přesnost měření bude opotřebení VB dosaženo soustružením materiálu EN - 16MnCr5 (14 220.3), neboť na tomto materiálu budou prováděny i následné experimenty. Soustružení bude probíhat do té doby, dokud se pomocí dílenského mikroskopu Zeiss (obr. 20) nedosáhne opotřebení VB 0,4 a 0,8 mm (obr. 21, 22). Pro porovnání je na obr. 23 s VB 0,0 mm.



Obr. 21 Opotřebení VB 0,4 mm



Obr. 22 Opotřebení VB 0,8 mm



Obr. 23 Opotřebení VB 0,0 mm

Materiály zkušebních vzorků

Pro zjišťování vlivu změny materiálu budou zvolené vzorky všech materiálů obrobena na stejný průměr, aby nedošlo ke změně řezné rychlosti (obr. 24).



Obr. 24 Zkušební vzorky

Procesní kapaliny

Ze zvolených procesních kapalin bude přípravu vyžadovat pouze syntetická kapalina EOPS 1030. Bude smíchána s vodou tak, aby vznikl 5% roztok. Pomocí refraktometru (obr. 25) se určí, zda se smícháním dosáhlo požadovaného roztoku a pokud by byla koncentrace příliš vysoká nebo naopak příliš nízká, přilila by se buď voda, nebo syntetická kapalina.



Obr. 25 Refraktometr Optech Brix 0 – 18% ATC

7.3 Určení užitečného výkonu

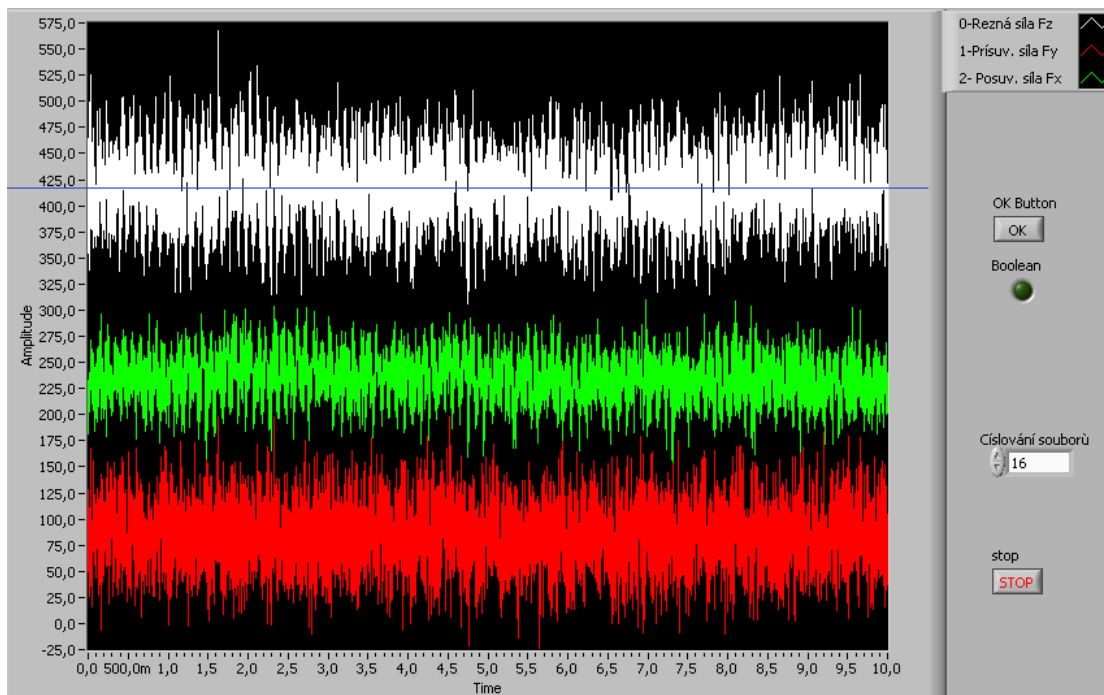
Užitečný výkon $P_{už}$ bude určen pomocí dynamometru Kistler a třífázovému analyzátoru výkonu DW – 6092. Obě zařízení budou připojena současně a každý experiment se bude opakovat pětkrát. Ke zpracování data bude použit statistický interval spolehlivosti a pro výsledky z analyzátoru i aritmetický průměr.

Dynamometr Kistler

Toto zařízení měří síly působící na nůž při obrábění. Pro určení užitečného výkonu bude měřena řezná síla F_c , ze které se pomocí vztahu $P_{už}=F_c \cdot v_c$ [W] určí užitečný výkon. Na nástroj sice působí i posuvová síla F_f a příusuvová síla F_p , ale vzhledem k tomu, že rychlost posuvu je oproti řezné rychlosti velmi malá a rychlost příusuvu je nulová, může se výkon vzniklý od těchto sil zanedbat. Dynamometr bude propojen s nábojovým zesilovačem 5019B (obr. 26) pomocí optického kabelu. Zesilovač bude následně propojen se stolním počítačem, ve kterém se v grafické podobě vyhodnotí výsledky pomocí programu LabVIEW 6.1. Protože je při soustružení nástroj neustále v záběru může z grafické podoby odečíst hodnota řezné síly tak, že se grafem proloží přímka a na svislé hodnotě grafu se odečte velikost této síly (obr. 27).



Obr. 26 Nábojový zesilovač 5019B



Obr. 27 Určení řezné síly z výsledků programu LabVIEW 6.1

Třífázový analyzátor výkonu

Analyzátor (obr. 28) bude připojen k elektrické síti a z něho bude napájen soustruh. Díky tomu bude možné z analyzátoru odečítat příkon stroje. Užitečný výkon se bude následně počítat ze vztahu $P_{už} = P_1 - P_0$ [W], kde P_0 příkon stroje na prázdko a P_1 příkon při obrábění. Každá z těchto hodnot se z analyzátoru odečte vždy třikrát. Příkon P_0 se při za stejných podmínek měření téměř nezmění, a proto bude měřen pouze při jejich změně.



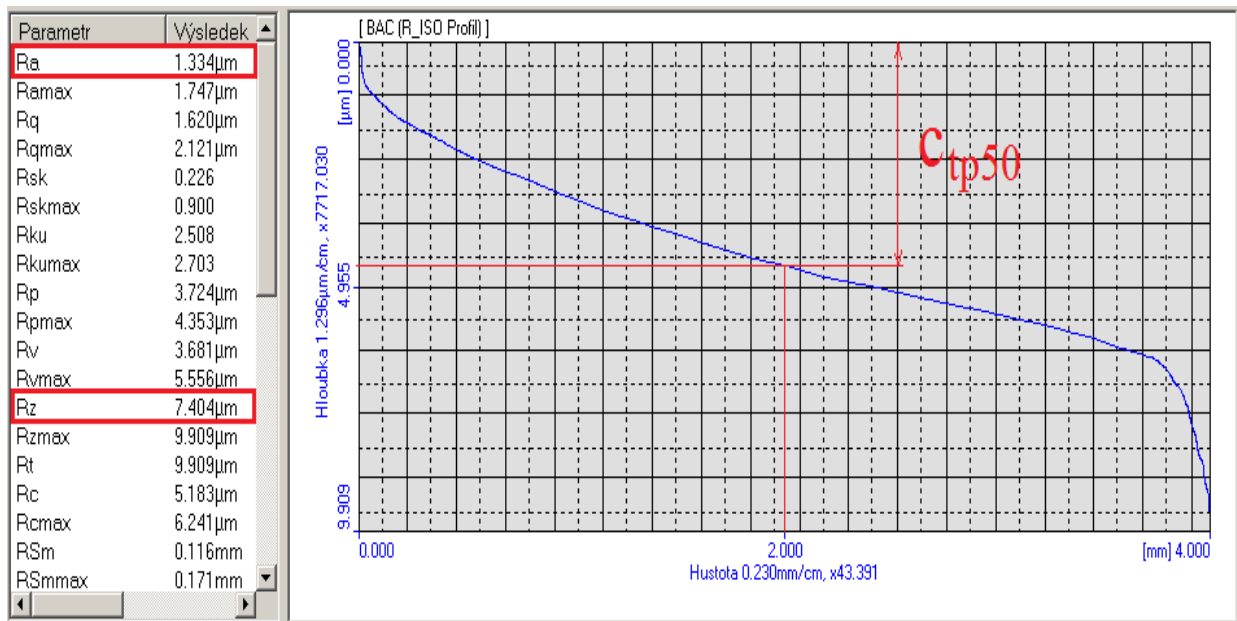
Obr. 28 Třífázový analyzátor výkonu DW – 6092

7.4 Určení drsnosti povrchu

V rámci určení drsnosti povrchu po provedení experimentů se pomocí profiloměru Mitutoyo SV-2000N2 (obr. 29) změří hodnoty průměrné aritmetické úchytky posuzovaného profilu R_a a největší výšky profilu R_z a z Abbottovy křivky se odečtou hodnoty materiálového poměru profilu c_{tp50} (obr. 30). Měření bude probíhat tak, že zkušební vzorek se položí do prizmat a profiloměr se sníží do takové polohy, aby došlo ke kontaktu diamantového hrotu přístroje s povrchem vzorku. Následně se v programu SURFPAK – SV – 1.100, který slouží pro ovládání a vyhodnocení výsledků profiloměru, spustí měření. Toto měření se bude opakovat desetkrát, a to tak, že zkušební vzorek se po každém změření pootočí o přibližně 36° , aby byl proměřen celý obvod. Materiálový poměr profilu se kvůli časové náročnosti a neefektivnosti určí pouze jednou ze všech deseti měření (na příloženém CD budou umístěny všechny výsledky měření pro možnost případného určení všech hodnot c_{tp50}).



Obr. 29 Profiloměr Mitutoyo SV – 2000N2



Obr. 30 Výsledek z programu SURFPAK – SV – 1.100

8 PRAKTICKÁ ČÁST EXPERIMENTŮ

Praktická část je rozdělena do pěti experimentů. Jednotlivé experimenty byly prováděny s jedním zvoleným proměnným technologickým parametrem a ostatními parametry konstantními:

experiment 1 - proměnný parametr: řezná rychlost $v_c = 50, 125$ a 200 m/min;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
EN – 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, $VB = 0,0$ mm

experiment 2 - proměnný parametr: opotřebení $VB = 0,0; 0,4$ a $0,8$ mm;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
EN – 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, $v_c = 125$ m/min

experiment 3 - proměnný parametr: materiál zkušební vzorku - EN – C45 (12 050.1),
EN – 16MnCr5 (14 220.3), EN – X18CrNi18 – 10 (17 240) a EN – GJL-200
(42 2420);

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
za sucha, $VB = 0,0$ mm, $v_c = 125$ m/min,

experiment 4 - proměnný parametr: úhel čela $\gamma_o = -17, 0$ a $+17^\circ$;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, EN – 16MnCr5
(14 220.3), za sucha, $VB = 0,0$ mm, $v_c = 125$ m/min

experiment 5 - proměnný parametr: procesní médium - za sucha, ACCU-LUBE LB-2000,
EOPS 1030 a MULTICUT Extra 10;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
EN – 16MnCr5 (14 220.3), $VB = 0,0$ mm, $v_c = 125$ m/min.

Měření bylo užitečný výkon $P_{už}$, průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a , nejvyšší výška profilu R_z a materiálový poměr profilu c_{tp50} . Hodnoty $P_{už}$ se určí pomocí třířázového analyzátoru výkonu DW – 6092 a dynamometru Kistler a hodnoty drsnosti povrchu R_a , R_z a c_{tp50} pomocí profiloměru Mitutoyo SV – 2000N2.

V tab. 8 jsou uvedena vyhodnocená měření jednotlivých měření zpracovaná pomocí aritmetického průměru a statistického intervalu spolehlivosti, který určuje, že výsledek příštího

měření se s 95 % pravděpodobností bude pohybovat v tomto intervalu (například při hodnotě $P_{už}$, určené pomocí analyzátoru, při řezné rychlosti 50 m/min se s 95 % pravděpodobností naměřená hodnota bude pohybovat mezi 347,6 a 381,8 W). Veškeré naměřené hodnoty jsou zaznamenány v příloze č. 1, a to při měření vlivu řezné rychlosti v_c v tab. 1 – 6, opotřebení VB v tab. 7 – 12, materiálu zkušebního vzorku v tab. 13 – 20, úhlu čela γ_o v tab. 21 – 26 a procesního média v tab. 27 – 34.

		$P_{už}$ [W]		Ra [μ m]	Rz [μ m]	c_{tp50} [μ m]
		Analyzátor	Dynamometr			
Experiment 1						
v_c [m/min]	50	364,7 ± 17,1	356,3 ± 11,1	2,20 ± 0,14	12,74 ± 0,88	7,57 ± 0,51
	125	956,5 ± 34,8	868,8 ± 24,4	1,41 ± 0,07	7,62 ± 0,38	4,77 ± 0,53
	200	1522,6 ± 37,5	1445,3 ± 71,4	1,05 ± 0,12	6,33 ± 1,16	4,73 ± 0,54
Experiment 2						
VB [mm]	0,0	956,5 ± 34,8	868,8 ± 24,4	1,41 ± 0,07	7,62 ± 0,38	4,77 ± 0,53
	0,4	1115,7 ± 43,1	1038,8 ± 29,4	1,39 ± 0,19	8,25 ± 0,48	5,61 ± 0,28
	0,8	1726,3 ± 39,0	1549,6 ± 46,1	5,07 ± 0,33	20,33 ± 0,97	11,85 ± 2,55
Experiment 3						
materiál zkušebního vzorku	EN - C45	1148 ± 21,7	1003,0 ± 35,7	1,23 ± 0,08	6,84 ± 0,80	4,52 ± 0,68
	EN - 16MnCr5	956,5 ± 34,8	868,8 ± 24,4	1,41 ± 0,07	7,62 ± 0,38	4,77 ± 0,53
	EN - X5CrNi18 - 10	1029,3 ± 11,1	907,5 ± 16,3	1,43 ± 0,09	8,21 ± 0,81	5,82 ± 1,17
	EN - GJL - 200	600,9 ± 12,2	568,8 ± 7,4	1,78 ± 0,10	11,70 ± 0,91	6,24 ± 1,32
Experiment 4						
γ_o [°]	-17	1292,3 ± 29,0	1165,4 ± 39,2	5,01 ± 0,17	23,09 ± 0,91	13,76 ± 2,67
	0	989,4 ± 29,9	922,9 ± 33,2	1,71 ± 0,33	9,27 ± 1,06	6,70 ± 1,36
	+17	856,8 ± 41,9	811,3 ± 34,3	2,04 ± 0,16	9,75 ± 0,25	6,62 ± 0,69
Experiment 5						
procesní médium	na sucho	956,5 ± 34,8	868,8 ± 24,4	1,41 ± 0,07	7,62 ± 0,38	4,77 ± 0,53
	ACCU-LUBE LB-2000	949,1 ± 38,4	842,1 ± 23,3	1,23 ± 0,06	7,34 ± 0,67	4,80 ± 1,03
	EOPS 1030	839,7 ± 73,9	760,9 ± 46,9	1,51 ± 0,30	8,59 ± 1,10	5,51 ± 0,65
	MULTICUT Extra 10	826,0 ± 34,2	768,3 ± 50,6	1,95 ± 0,18	9,01 ± 0,80	5,57 ± 0,64

Tab. 8 Souhrn výsledků všech experimentů

9 HODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

V následujících grafech jsou znázorněny výsledky měření vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při soustružení a také vliv těchto parametrů na drsnost povrchu obráběného materiálu. Užitečný výkon hodnocený třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 je označen jako $P_{už a}$ a dynamometrem Kistler $P_{už d}$.

9.1 Hodnocení experimentu 1

Výsledky vlivu řezné rychlosti při soustružení na užitečný výkon a drsnost obrobeného materiálu jsou znázorněny na obr. 31 a 32. Hodnoty $P_{už}$ z obou zařízení jsou velmi podobné a vyplývá z nich, že čím nižší je řezná rychlost, tím nižší je užitečný výkon, avšak při porovnání hodnot drsností povrchu je patrné, že se snížením řezné rychlosti se povrch obrobeného materiálu zhoršuje. Nejnižší hodnota $P_{už}$ byla naměřena pomocí dynamometru při $v_c=50$ m/min, a to $356,3 \pm 11,1$ W a nejvyšší hodnota pomocí analyzátoru při $v_c=200$ m/min, kde nabývala hodnoty $1522,6 \pm 37$ W. Rozsah mezi těmito hodnotami je značný, z čehož vyplývá, že řezná rychlost má velký vliv na užitečný výkon při soustružení. Největší rozdíl výsledných hodnot mezi analyzátozem a dynamometrem byl zaznamenán při řezné rychlosti 125 m/min, kde užitečný výkon naměřený dynamometrem byl o 9,17 % nižší než u analyzátoru. Příčinou tohoto rozdílu může být například tím, že při výpočtu $P_{už}$ z dynamometru se zanedbává výkon od posuvové a přísuvové síly nebo také mohlo dojít k nepřesnosti měření. Jelikož se ale rozdíl nepřesahuje 10 %, dá se tento rozdíl za přijatelný. Ze statistického intervalu spolehlivosti je vidět, že užitečný výkon nejvíce kolísal při $v_c = 200$ m/min, při měření pomocí dynamometru, kde byla hodnota statistického intervalu spolehlivosti $\pm 71,4$ W. Tento interval je 4,9 % z absolutní hodnoty $P_{už}$. Ačkoliv je při $v_c = 50$ m/min, při měření pomocí dynamometru, statistický interval spolehlivosti nejmenší, tak interval nabývá hodnoty 3,1 % z absolutní hodnoty $P_{už}$ a při stejné hodnotě v_c , ale měřené pomocí analyzátoru, nabývá 4,7 %, z čehož je patrné, že ačkoliv jsou hodnoty statistického intervalu spolehlivosti velmi rozdílné, procentuální hodnoty jsou si podobné.

9.2 Hodnocení experimentu 2

Při experimentu 2 byl zkoumán vliv opotřebení VB a výsledky užitečného výkonu a drsnosti povrchu jsou graficky znázorněny na obr. 33 a 34. Z grafu pro užitečný výkon jasně plyne, že mezi opotřebením 0,0 mm a 0,4 mm je nárůst výkonu pouze minimální, oproti tomu markantní rozdíl je mezi opotřebením 0,4 mm a 0,8 mm, kde vzrostla hodnota výkonu přibližně o 50 %.

Podobně tomu je i při porovnání hodnot drsnosti povrchu, kde jsou hodnoty Ra, Rz i c_{tp50} mezi 0,0 mm a 0,4 mm velmi podobné ne-li stejné a při VB = 0,8 mm hodnoty Rz a c_{tp50} vzrostly více než dvojnásobně a hodnota Ra vzrostla z $1,39 \pm 0,19 \mu\text{m}$ až na hodnotu $5,07 \pm 0,33 \mu\text{m}$. Vliv opotřebení VB na užitečný výkon a drsnost povrchu začne být znatelný až při vyšší hodnotě opotřebení, v tomto případě 0,8 mm. Tato hodnota je pouze přibližná, neboť k určení přesné hodnoty by musel být zkoumán větší počet opotřebení VB mezi 0,4 a 0,8 mm a platí pouze

za řezných podmínek tohoto experimentu. Při odlišných řezných podmínkách, jako třeba lépe nebo hůře obrobitelný materiál, by k rapidnímu nárůstu hodnot $P_{už}$, Ra, Rz a c_{tp50} došlo při jiné hodnotě VB. Výsledky měření $P_{už}$ jsou si při porovnání analyzátoru a dynamometru jsou podobné, avšak při VB = 0,8 mm byla hodnota užitečného výkonu vyhodnocená pomocí dynamometru o 10 % nižší než při vyhodnocení pomocí analyzátoru, což by se již dalo považovat za hraniční hodnotu, při které se dají tyto hodnoty považovat za podobné. Hodnoty statistického intervalu spolehlivosti jsou při porovnání jednotlivých výsledků přibližně stejné, avšak při opotřebení 0,8 mm byl obrobený povrch zkušební vzorku velmi nerovnoměrný, a tudíž interval nabyl mnohem většího rozsahu u hodnot Ra, Rz a c_{tp50} .

9.3 Hodnocení experimentu 3

Na obr. 35 a 36 jsou zobrazeny výsledky vlivu materiálu zkušební vzorku na užitečný výkon a drsnost obrobeného materiálu. U ocelí jsou hodnoty $P_{už}$, Ra, Rz a c_{tp50} podobné a výrazný rozdíl je až při porovnání s litinou, při které výrazně klesl užitečný výkon, avšak hodnoty drsnosti povrchu vzrostly. Zajímavé ovšem je, že mezi ocelemi je největší hodnota užitečného výkonu při obrábění konstrukční oceli EN – C45 (12 050.1), která má v porovnání s ostatními nejnižší hodnotu meze pevnosti a kluzu, a tudíž se může předpokládat, že pro oddělení třísky bude potřeba menší výkon. Toto je pravděpodobně zapříčiněno tím, že při obrábění docházelo k tvorbě plynulé šroubovitě třísky, která se namotávala kolem nástroje, a tím vytvářela tlak mezi nástrojem a obrobkem. Litina, u které byl naměřen nejmenší užitečný výkon, měla horší povrch než oceli. Největší rozdíl hodnot $P_{už}$ vyhodnocených pomocí analyzátoru a dynamometru je při obrábění konstrukční oceli EN – C45 (12 050.1), kde byla hodnota užitečného výkonu vyhodnocená pomocí dynamometru o 12,6 % menší, než u analyzátoru. Tato hodnota již nepatrně přesahuje hraniční hodnotu 10 %, při které je možno rozdíl zanedbat, a proto je vhodné uvažovat nad příčinou tohoto rozdílu. V úvahu například

přichází nepřesné odečtení hodnot stanovených dynamometrem nebo nepřesnost třífázového analyzátoru výkonu. Pro stanovení příčiny by bylo ovšem nutné provést opětovné měření.

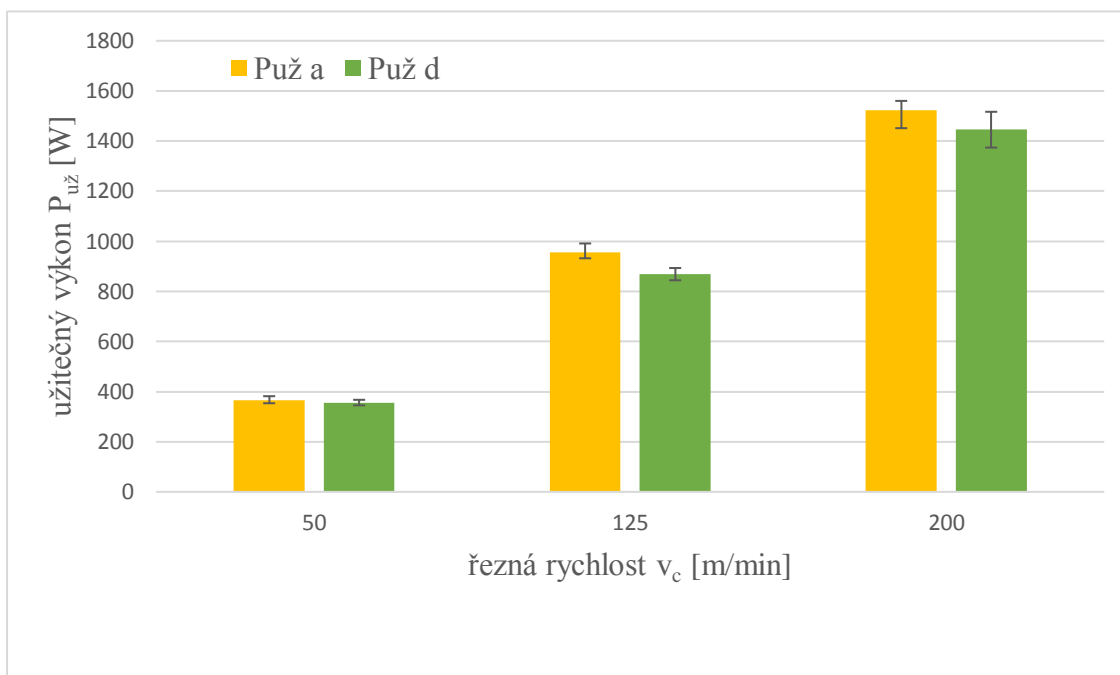
9.4 Hodnocení experimentu 4

Proměnným parametrem u experimentu 4 byl úhel čela a na obr. 37 a 38 jsou znázorněny výsledky vlivu na P_{uz} , Ra, Rz a c_{tp50} . Z grafu na obr. 37 je patrné, že záporný úhel čela zvyšuje užitečný výkon a kladný naopak snižuje. To je zapříčiněno tím, že ostří s kladným γ_o lépe vniká do obráběného materiálu a tím snižuje velikost řezné síly. Při záporném úhlu navíc mnohem horší povrch a Ra dosahuje hodnoty až $5,01 \pm 0,17 \mu\text{m}$, což je oproti $\gamma_o = 0^\circ$ téměř trojnásobná hodnota. Kladný úhel taktéž vůči nulovému zhoršuje povrch, ale jeho hodnoty nejsou tak rozdílné. Změnou úhlu čela se také mění velikost posuvové síly F_f a se záporným úhlem roste. Při $\gamma_o = -17^\circ$ dosahovala hodnota F_f přibližně hodnoty řezné síly F_c . Při výpočtu užitečného výkonu pomocí dynamometru se posuvová síla zanedbává, ale jelikož je tato síla přibližně stejně velká jako řezná, zdá se, že by se měla do výpočtu užitečného výkonu zahrnout. Pro zjištění jak moc posuvová síla v tomto případě užitečný výkon ovlivní, byl proveden výpočet, ve kterém tato síla zahrnuta. Výpočet je v příloze č. 2. Užitečný výkon se zvýšil na $1196,7 \pm 40,3 \text{ W}$, což je v porovnání s původním výsledkem $P_{uz} = 1165,4 \pm 39,2 \text{ W}$ větší pouze o 31,3 W. Z toho plyne, že i když je posuvová síla stejně velká jako řezná síla, platí předpoklad, že je možné posuvovou sílu při výpočtu užitečného výkonu zanedbat. Při výpočtu se síla F_f násobí rychlostí posuvu, která je ve srovnání s řeznou rychlostí nepatrná.

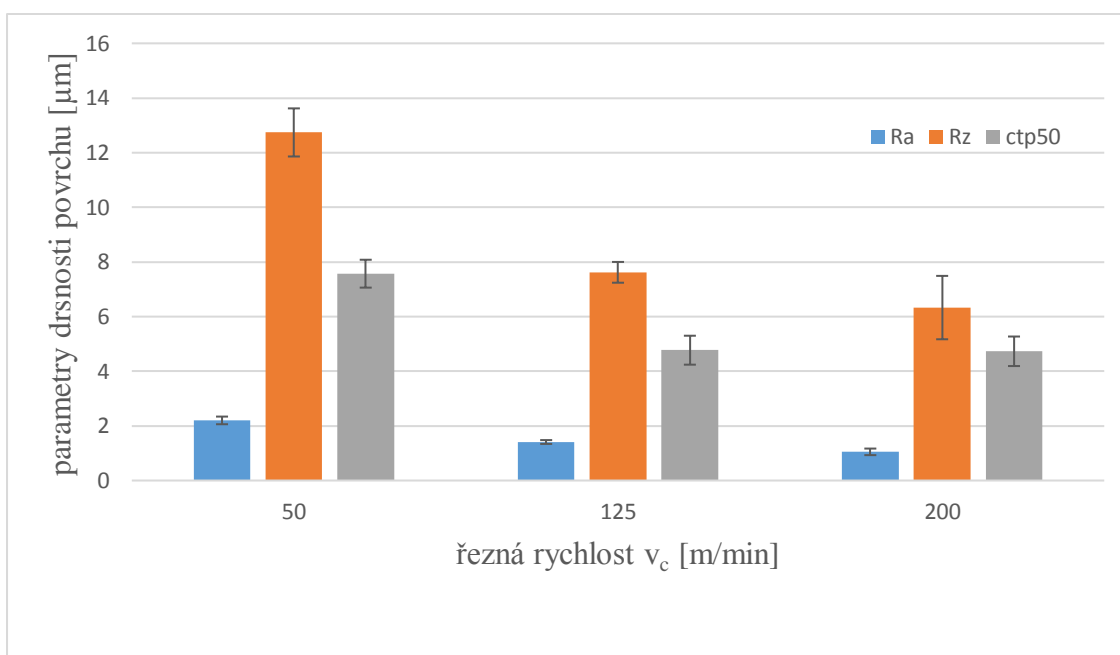
9.5 Hodnocení experimentu 5

Při experimentu 5 byl zjišťován vliv procesního média (obr. 39 a 40). U všech procesních kapalin byl vůči obrábění za sucha zaznamenán pokles hodnot užitečného výkonu. Největší pokles je při použití řezného oleje MULTICUT Extra 10. Při jeho použití ale došlo k největšímu zhoršení drsnosti povrchu, a také dochází k tvorbě kouře, což může být v praxi nežádoucí. Procesní kapalina ACCU-LUBE LB-2000 má z hlediska kvality povrchu nejlepší výsledky, avšak pokles P_{uz} není tak markantní. Při jeho použití také dochází k tvorbě aerosolu, který je při vdechování nebezpečný, a je proto vhodné se před ním chránit a zabránit jeho šíření do pracovního prostoru. Velkou výhodou však je, že při použití mikromazacího zařízení MQL stačí použít jen malé množství této procesní kapaliny. Syntetická kapalina EOPS 1030 dosáhla při měření užitečného výkonu velmi podobných hodnot, jako řezný olej, a zdá se, že má i lepší výsledky z hlediska drsnosti povrchu, avšak ze statistického intervalu spolehlivosti je patrné,

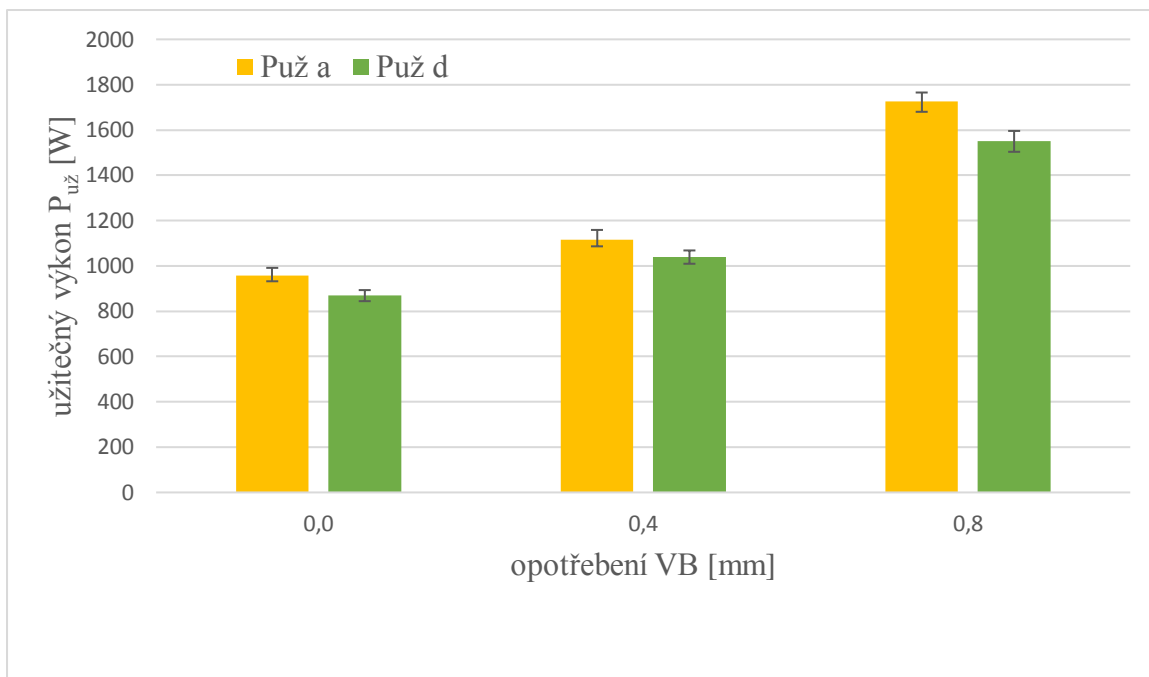
že hodnoty průměrné aritmetické úchytky posuzovaného profilu Ra nabývaly velkého rozsahu. Tudíž je zřejmé, že povrch je nerovnoměrný a není možné zaručit kvalitní povrch.



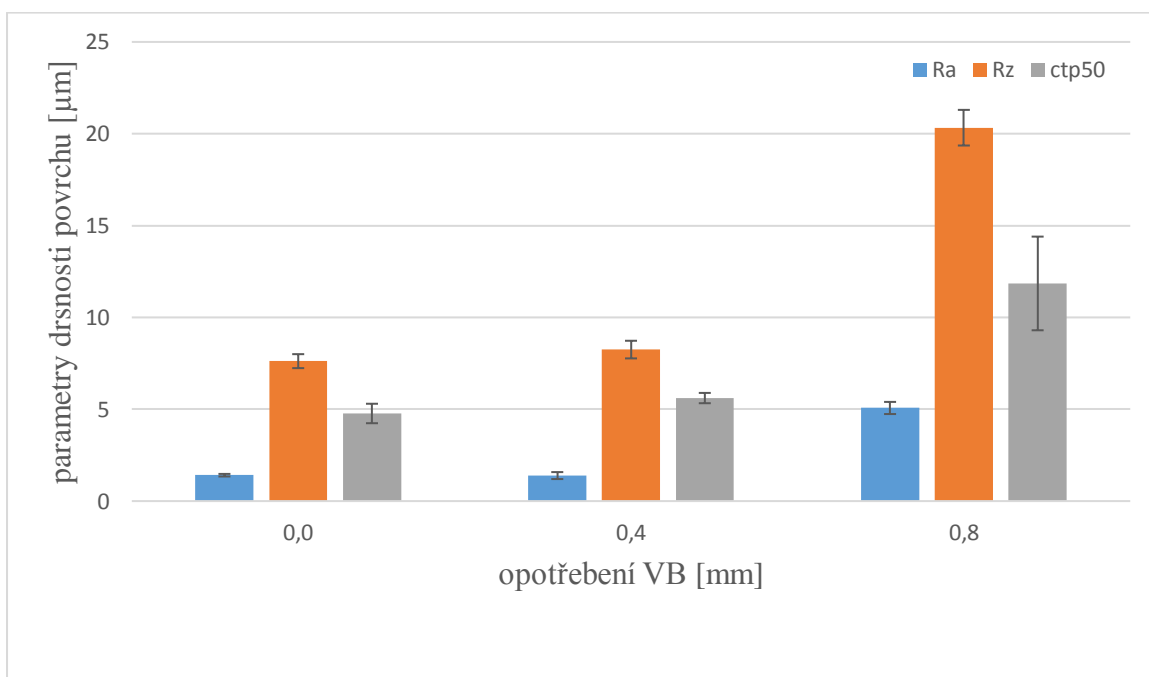
Obr. 31 Užitečný výkon při změně řezné rychlosti (příloha č. 1, tab. 1, 3 a 5)



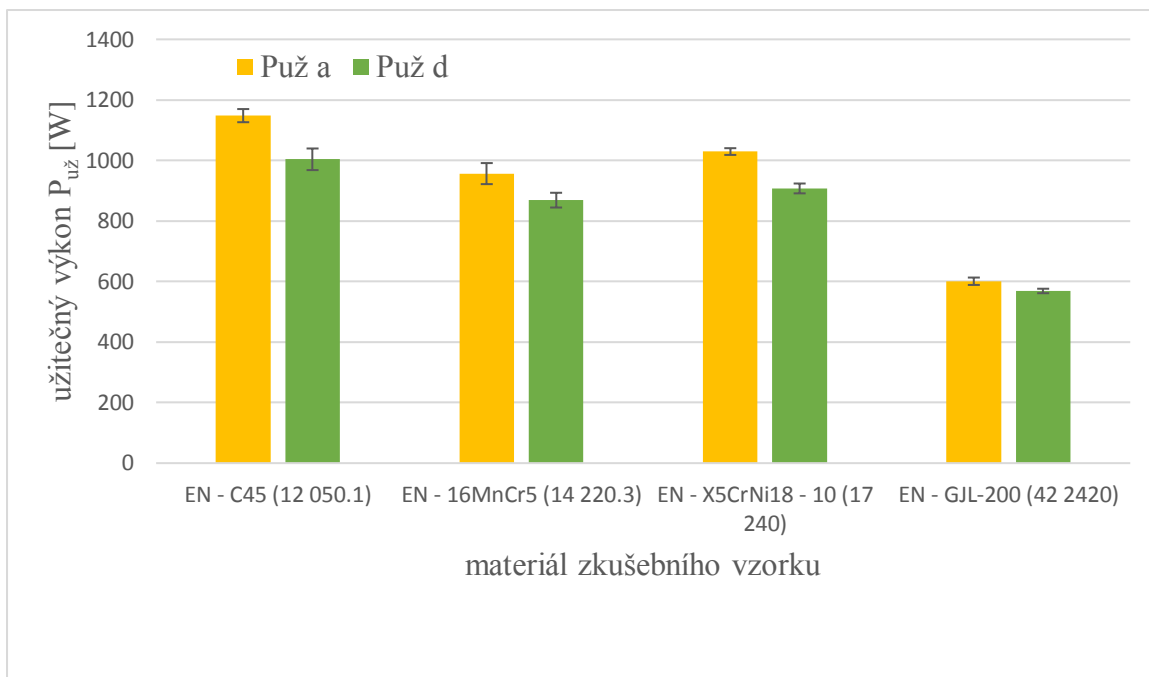
Obr. 32 Parametry drsnosti při změně řezné rychlosti (příloha č. 1, tab. 2, 4 a 6)



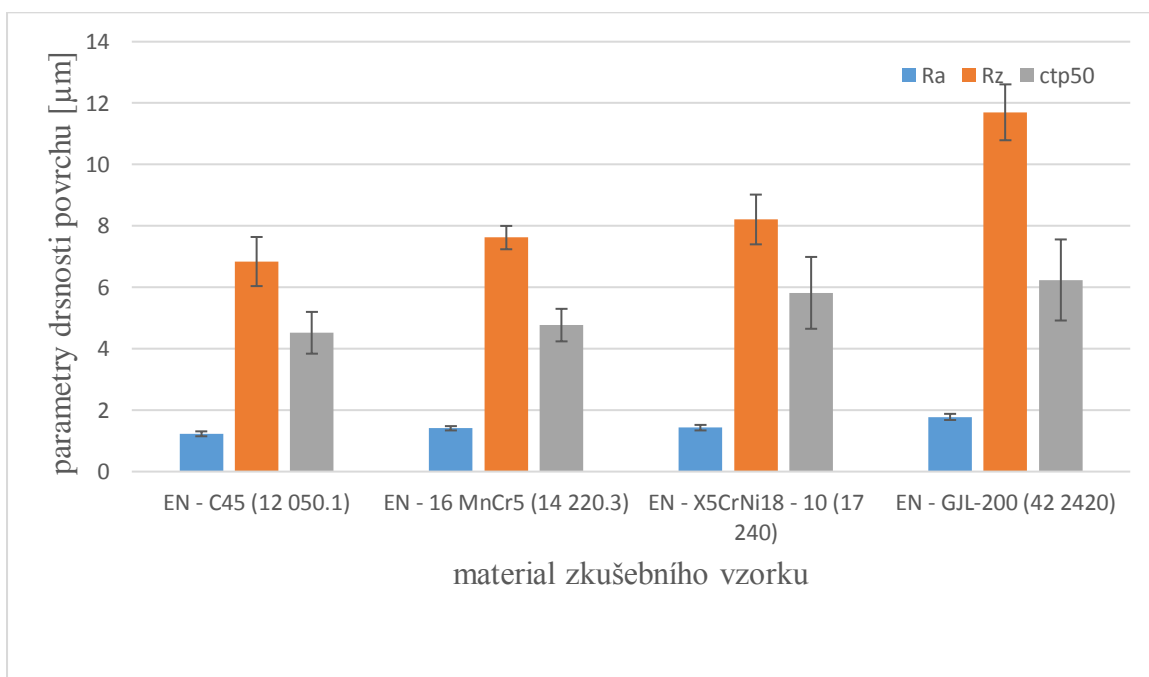
Obr. 33 Užitečný výkon při různé velikosti opotřebení (příloha č. 1, tab. 7, 9 a 11)



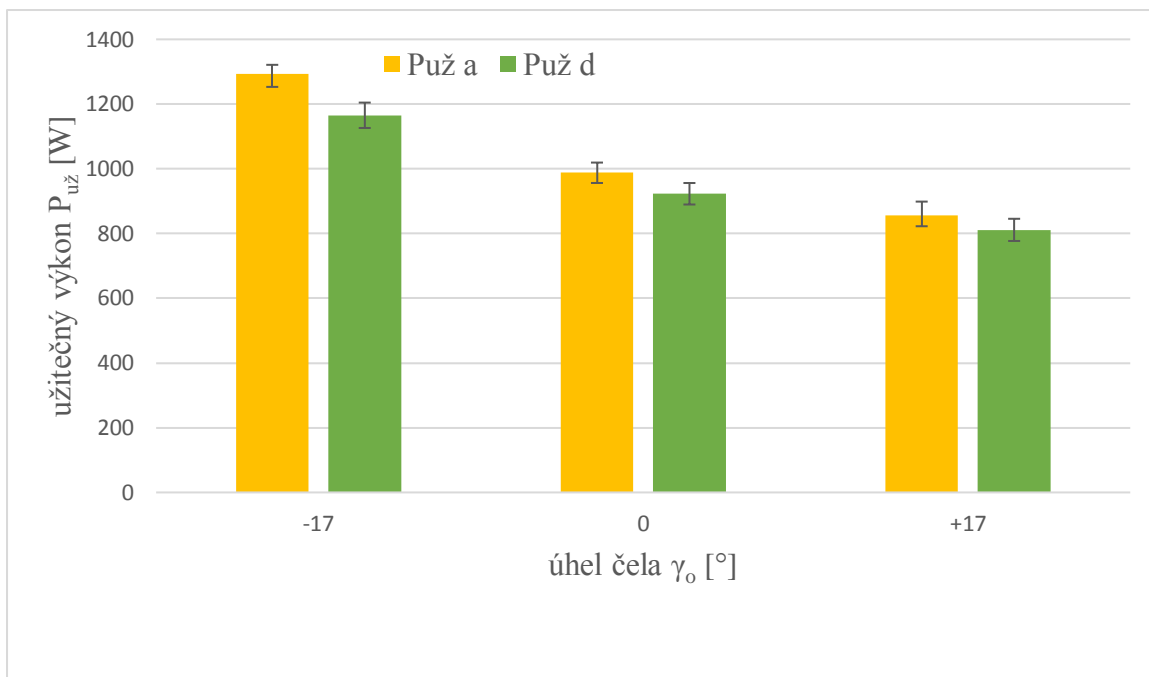
Obr. 34 Parametry drsnosti při různé velikosti opotřebení (příloha č. 1, tab. 8, 10 a 12)



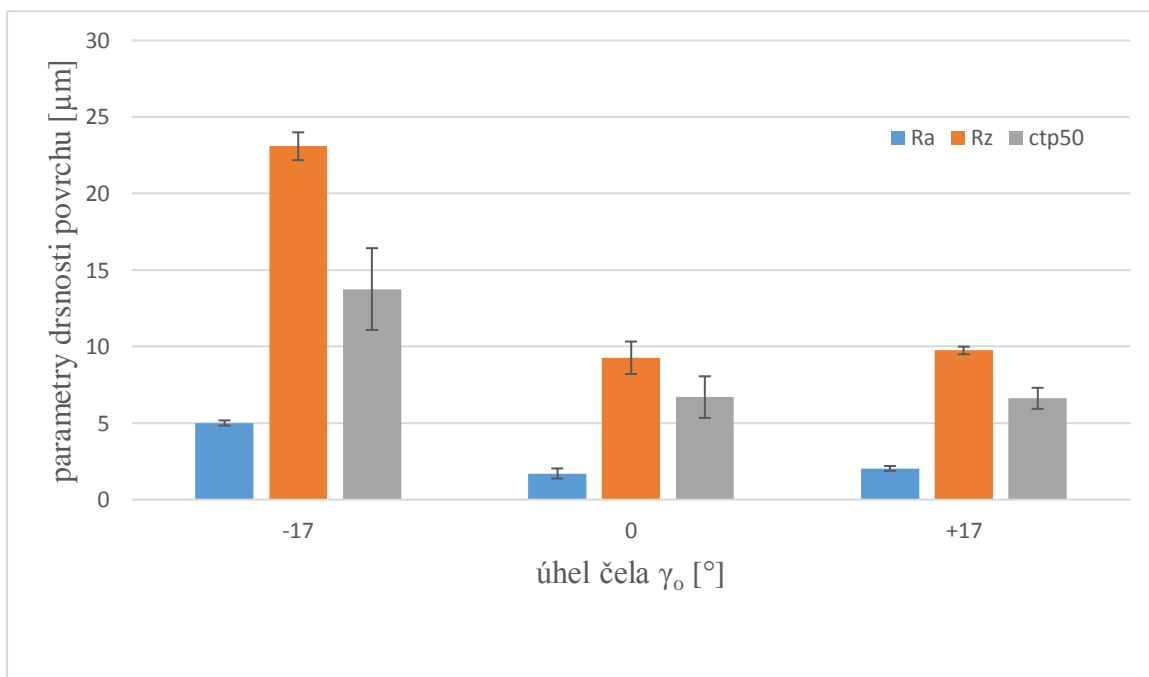
Obr. 35 Užitečný výkon při změně materiálu zkušební vzorku (příloha č. 1, tab. 13, 15, 17 a 19)



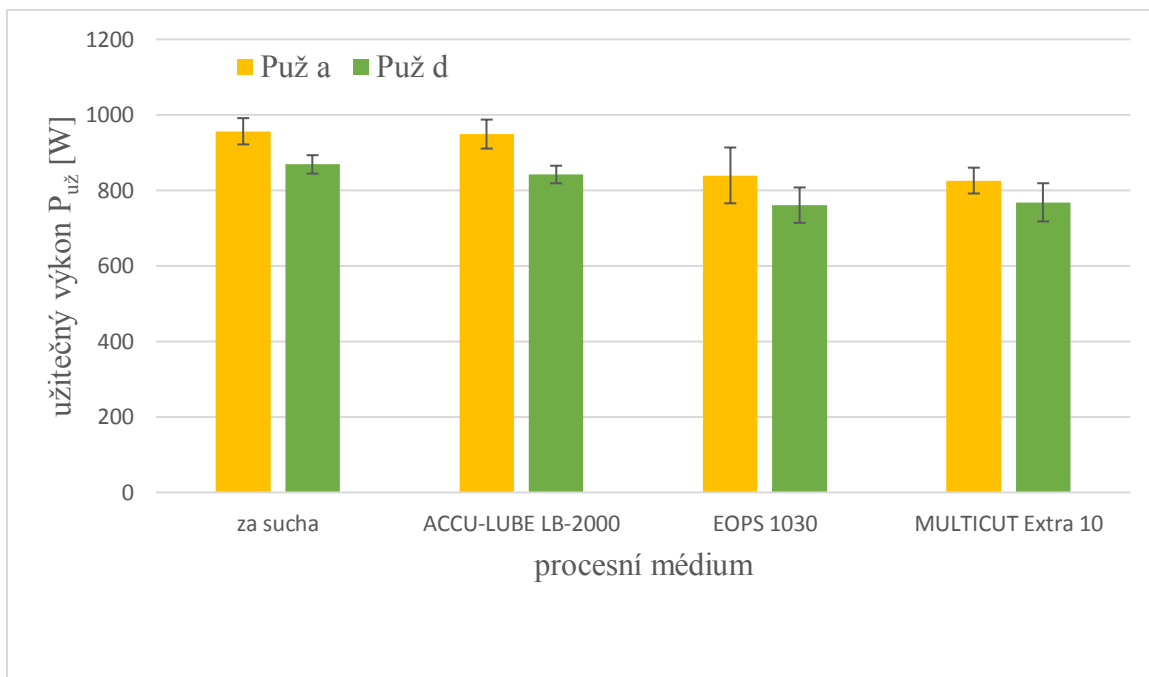
Obr. 36 Parametry drsnosti při změně materiálu zkušební vzorku (příloha č. 1, tab. 14, 16, 18 a 20)



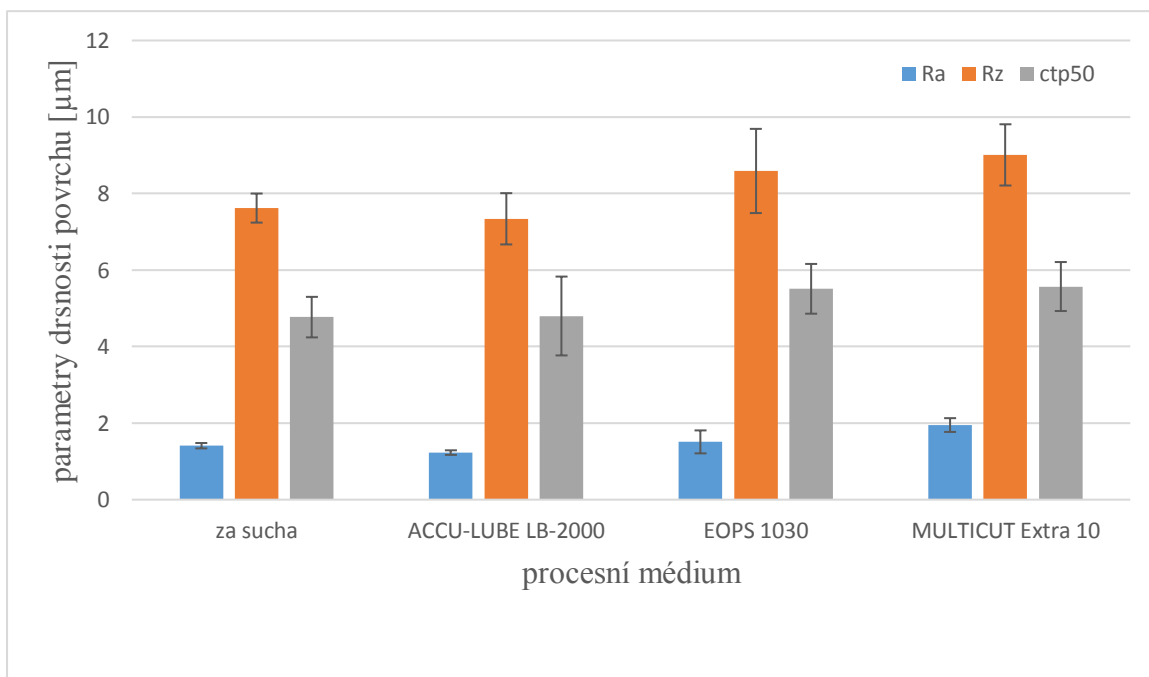
Obr. 37 Užitečný výkon při změně úhlu čela (příloha č. 1, tab. 21, 23 a 25)



Obr. 38 Parametry drsnosti při změně úhlu čela (příloha č. 1, tab. 22, 24 a 26)



Obr. 39 Užitečný výkon při změně procesního média (příloha č. 1, tab. 27, 29, 31 a 33)



Obr. 40 Parametry drsnosti při změně procesního média (příloha č. 1, tab. 28, 30, 32 a 34)

10 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zkoumání vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při soustružení a to za účelem zjištění možností, jak tento výkon snížit. Spolu s tím byl rovněž hodnocen povrch obrobeneho materiálu, neboť při nekvalitním povrchu by v praxi bylo často nutné takový povrch zlepšit dalším procesem, a tím by se snížení výkonu stalo neefektivním. Měření užitečného výkonu probíhalo pomocí dvou zařízení, a to třífázovým analyzátozem výkonu DW – 6069 a dynamometrem Kistler. Pro měření drsnosti bylo použito profiloměru Mitutoyo SV – 2000N2.

Ke zkoumání bylo vybráno pět technologických parametrů. Tyto parametry byly pak zkoumány v pěti samostatných experimentech, u kterých byl vždy proměnný pouze jeden vybraný parametr:

experiment 1 - proměnný parametr: řezná rychlost $v_c = 50, 125$ a 200 m/min;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
EN – 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, $VB = 0,0$ mm

experiment 2 - proměnný parametr: opotřebení $VB = 0,0; 0,4$ a $0,8$ mm;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
EN – 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, $v_c = 125$ m/min

experiment 3 - proměnný parametr: materiál zkušební vzorku - EN – C45 (12 050.1),
EN – 16MnCr5 (14 220.3), EN – X18CrNi18 – 10 (17 240) a EN – GJL-200
(42 2420);

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
za sucha, $VB = 0,0$ mm, $v_c = 125$ m/min,

experiment 4 - proměnný parametr: úhel čela $\gamma_o = -17, 0$ a $+17^\circ$;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, EN – 16MnCr5
(14 220.3), za sucha, $VB = 0,0$ mm, $v_c = 125$ m/min

experiment 5 - proměnný parametr: procesní médium - za sucha, ACCU-LUBE LB-2000,
EOPS 1030 a MULTICUT Extra 10;

- konst. parametry: $D = 70$ mm, $f = 0,1$ mm/ot., $a_p = 1,5$ mm, $\gamma_o = +5^\circ$,
EN – 16MnCr5 (14 220.3), $VB = 0,0$ mm, $v_c = 125$ m/min.

Výsledky P_{uz} stanovené pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW – 6069 a dynamometru Kistler se v zásadě příliš nelišily a největší jejich rozdíl byl 12,6 %, který nastal při zkoumání konstrukční oceli EN – C45 (12 050.1).

Po zhodnocení všech výsledků se dospělo k tomu, že největší vliv na užitečný výkon má řezná rychlost, kdy rozdíl mezi obráběním při $v_c = 50$ m/min a $v_c = 200$ m/min byl téměř pětinasobný. Při řezné rychlosti 50 m/min se také dosáhlo k nejnižší hodnotě P_{uz} , ovšem obrobený povrch nebyl příliš kvalitní a v praxi by bylo pravděpodobně nutné po obrobení použít ještě některou z dokončovacích operací. Velký vliv na užitečný výkon má také opotřebení nástroje VB, při jehož zkoumání došlo k téměř skokové změně mezi opotřebením 0,4 a 0,8 mm. Při zkoumání vlivu obráběného materiálu na P_{uz} nebyl mezi oceli příliš velký rozdíl a k velkému poklesu výkonu došlo až při obrábění litiny. Při měření se také ukázalo, že záporná hodnota úhlu čela nemá pozitivní dopad ani na užitečný výkon, ani na drsnost povrchu, a je proto vhodné použití spíše nulového nebo kladného úhlu. V potaz se ovšem musí brát to, že při vyšší kladné hodnotě γ_o se také zhorší povrch (při hodnotě $\gamma_o = +5^\circ$, která byla použita u ostatních experimentů, byl obrobený povrch relativně kvalitní oproti povrchu při $\gamma_o = +17^\circ$). Pro snížení P_{uz} a zároveň zachování relativně kvalitního povrchu se mezi hodnocenými procesními médii prokázala jako nejlepší syntetická kapalina EOPS 1030.

Při porovnání všech výsledků, které byly dosaženy v rámci této bakalářské práce, je patrné, že k největšímu možnému snížení užitečného výkonu, by bylo dosaženo za nízké řezné rychlosti $v_c = 50$ m/min, s novým neopotřebovaným nástrojem s kladnou vyšší hodnotou úhlu čela $\gamma_o = +17^\circ$, s litinou jako materiálem obrobku a za použití řezného oleje MULTICUT Extra 10. V tomto případě je ale nutno počítat s nekvalitním povrchem obrobku.

Jako optimální řezné podmínky, při kterých se užitečný výkon sníží a přitom se zachová relativně kvalitní povrch, se jeví středně velká řezná rychlost $v_c = 125$ m/min, nulové opotřebení nástroje s úhlem čela přibližně $\gamma_o = +5^\circ$, materiál obrobku litina a za použití syntetické kapaliny EOPS 1030.

V praxi většinou nemožná záměna oceli za litinu, a tudíž nutné v tomto případě brát materiál obrobku jako konstantní.

Je ovšem možné, že při kombinaci všech těchto technologických parametrů se budou tyto parametry navzájem ovlivňovat natolik, že dva více napsané předpoklady nemusí platit, a proto by bylo vhodné je v rámci nějakého projektu otestovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AB SANDVIK COROMANT. In: Miroslav KOUDELA (přel.) *Příručka obrábění*. 1. vyd. Praha: fa Sandvik CZ, s. r. o., 1997, Kapitola: Soustružení. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] ŘASA, Jaroslav, GABRIEL Vladimír. *Strojírenská technologie 3 - 1.díl*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2000, 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
- [3] HUMÁR, Antonín. *Studijní opory pro magisterskou formu studia – Technologie I – Technologie obrábění 1. část*, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství, [cit. 26. října 2015]. Dostupné na: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf. ISBN –.
- [4] TRENT, Edward, WRIGHT, Paul. *Metal cutting*. 4th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c2000, xviii, 446 p. ISBN 0-7506-7069-X.
- [5] GRÜNWARD, Franz. *Fertigungsverfahren in der Gerätetechnik*. 2. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik, 1985. 576 s. ISBN –.
- [6] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II - 1. díl*. VŠB - TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [7] AB SANDVIK COROMANT. In: Miroslav KOUDELA (přel.) *Příručka obrábění*. 1. vyd. Praha: fa Sandvik CZ, s. r. o., 1997, Kapitola: Obrábění kovových materiálů. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [8] BEŇO, Josef. *Teória rezania kovov*. 1. vyd. Košice: Strojnícka fakulta TU Košice, 1999, 255 s. ISBN 80-7099-429-0.
- [9] AB SANDVIK COROMANT. In: Miroslav KOUDELA (přel.) *Příručka obrábění*. 1. vyd. Praha: fa Sandvik CZ, s. r. o., 1997, Kapitola: Opotřebení břitů nástrojů. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [10] VOS, Patrick De. Příručka pro technology - Opotřebení se nevyhneme!. *MM Průmyslové spektrum*. 2012, 6, 56 s. ISSN 1212-2572.
- [11] ŠVERCL, Josef. *Technické kreslení a deskriptivní geometrie pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003, 341 s. ISBN 80-7183-297-9.

- [12] SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 234 s. ISBN 978-80-7204-750-5.
- [13] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [14] *Manuál soustruhu SU 50*, [cit. 20. června 2017]. Dostupné na:
<http://www.tumlikovo.cz/download/>
- [15] *Pramet – Katalog*, [cit. 20. června 2017]. Dostupné na:
https://katalog.mav.cz/data/pramet2/files/katalog_pramet_soustruzeni_2012.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Naměřené hodnoty experimentů	34 stran
Příloha č. 2 – Výpočet $P_{už}$ při $\gamma_o = -17^\circ$, se zahrnutím posuvové síly	1 strana

PŘÍLOHA Č. 1 – NAMĚŘENÉ HODNOTY EXPERIMENTŮ

Experiment 1

UŽITEČNÝ VÝKON							
$v_c=50$ m/min							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm, $\gamma_o=+5^\circ$,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P_0 [W]	P_1 [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1395	1772	1770	1775	1732	1756
	2	1398	1773	1769	1786	1758	1749
	3	1407	1771	1759	1779	1757	1764
aritmetický průměr		1400,0	1772,0	1766,0	1780,0	1749,0	1756,3
$P_{už}$ [W]			372,0	366,0	380,0	349,0	356,3
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		364,7 ± 17,1					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F_C [N]		418	420	440	435	425	
$P_{už}$ [W]		348,3	350,0	366,7	362,5	354,2	
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		356,3 ± 11,1					

Tab. 1 Výsledky měření $P_{už}$ při $v_c=50$ m/min

DRSNOST POVRCHU						
$v_c=50$ m/min						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm, $\gamma_o=+5^\circ$,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	2,173	2,336	2,239	2,148	2,011
	2	1,905	2,083	2,241	2,285	2,354
	3	2,127	2,341	2,046	2,603	1,899
	4	2,139	2,248	2,601	2,096	2,126
	5	2,003	2,094	2,302	2,333	2,375
	6	1,907	2,505	2,484	2,082	2,179
	7	1,753	2,533	2,378	2,359	2,230
	8	2,337	2,302	2,321	2,162	2,032
	9	2,371	2,368	2,105	2,017	2,016
	10	2,134	2,351	1,999	2,123	1,907
aritmetický průměr	2,085	2,316	2,272	2,221	2,113	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	2,20 \pm 0,14					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	12,546	12,321	11,763	12,735	10,674
	2	11,447	11,957	12,358	12,760	13,960
	3	12,881	14,543	11,565	15,333	11,085
	4	12,793	13,128	13,886	11,634	11,974
	5	12,121	12,612	12,645	13,459	13,084
	6	10,554	14,051	14,218	12,567	12,123
	7	10,052	14,411	13,639	12,929	12,400
	8	13,112	14,453	13,463	13,088	13,123
	9	13,304	14,667	12,297	11,925	12,161
	10	11,943	13,856	11,979	14,299	11,255
aritmetický průměr	12,075	13,600	12,781	13,073	12,184	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	12,74 \pm 0,88					
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	7,073	7,445	7,872	7,991	7,455	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]	7,57 \pm 0,51					

Tab. 2 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při $v_c=50$ m/min

UŽITEČNÝ VÝKON							
$v_c=125$ m/min							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm, $\gamma_o=+5^\circ$,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
	P_0 [W]	P_1 [W]					
úsek	0	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1940	2954	2844	2875	2891	2883
	2	1936	2925	2851	2900	2883	2893
	3	1941	2932	2919	2919	2888	2877
aritmetický průměr	1939,0	2937,0	2871,3	2898,0	2887,3	2884,3	
$P_{už}$ [W]		998,0	932,3	959,0	948,3	945,3	
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	956,5 ± 34,8						
dynamometr Kistler							
úsek	1	2	3	4	5		
F_C [N]	421	402	422	420	420		
$P_{už}$ [W]	877,1	837,5	879,2	875,0	875,0		
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	868,8 ± 24,4						

Tab. 3 Výsledky měření $P_{už}$ při $v_c=125$ m/min

DRSNOST POVRCHU						
$v_c=125$ m/min						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm, $\gamma_o=+5^\circ$,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm					
průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,440	1,364	1,504	1,430	1,346
	2	1,559	1,418	1,458	1,617	1,331
	3	1,366	1,407	1,394	1,542	1,285
	4	1,327	1,481	1,410	1,491	1,281
	5	1,378	1,404	1,458	1,401	1,311
	6	1,420	1,402	1,416	1,337	1,311
	7	1,537	1,363	1,466	1,348	1,372
	8	1,430	1,405	1,409	1,369	1,354
	9	1,374	1,431	1,419	1,391	1,334
	10	1,491	1,468	1,394	1,625	1,276
aritmetický průměr	1,432	1,414	1,433	1,455	1,320	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,41 \pm 0,07					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,738	7,477	8,241	8,582	7,783
	2	8,342	6,896	7,399	8,379	7,373
	3	6,885	7,529	6,749	8,943	6,807
	4	6,597	8,046	7,339	7,921	6,712
	5	7,417	7,675	7,778	7,901	7,491
	6	8,048	7,593	7,561	6,507	7,625
	7	8,355	7,010	7,615	7,067	7,249
	8	7,366	7,960	6,894	7,497	8,175
	9	7,821	7,975	7,305	7,637	7,404
	10	8,097	7,669	7,048	10,069	7,294
aritmetický průměr	7,667	7,583	7,393	8,050	7,391	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	7,62 \pm 0,38					
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	5,360	4,768	4,501	4,378	4,822	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]	4,77 \pm 0,53					

Tab. 4 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při $v_c=125$ m/min

UŽITEČNÝ VÝKON							
$v_c=200$ m/min							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm, $\gamma_o=+5^\circ$,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	2635	4115	4155	4131	4105	4143
	2	2630	4118	4179	4122	4149	4205
	3	2632	4147	4210	4151	4185	4209
aritmetický průměr		2632,3	4126,7	4181,3	4134,7	4146,3	4185,7
P _{už} [W]			1494,3	1549,0	1502,3	1514,0	1553,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1522,6 ± 37,5					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		411	430	446	431	450	
P _{už} [W]		1370,0	1433,3	1486,7	1436,7	1500,0	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1445,3 ± 71,4					

Tab. 5 Výsledky měření P_{už} při v_c=200 m/min

DRSNOST POVRCHU						
$v_c=200$ m/min						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm, $\gamma_o=+5^\circ$,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	0,916	1,351	1,074	1,154	1,054
	2	1,144	1,178	1,018	1,086	1,086
	3	0,726	1,021	1,187	0,955	1,118
	4	0,825	0,925	1,378	1,015	1,038
	5	1,007	0,973	1,070	1,164	0,972
	6	0,969	1,089	1,203	1,060	1,061
	7	0,743	1,142	1,213	1,087	1,059
	8	0,776	1,038	1,054	1,196	1,052
	9	0,916	0,966	1,069	1,150	1,063
	10	0,914	1,029	0,906	1,057	1,010
aritmetický průměr		0,894	1,071	1,117	1,092	1,051
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]		1,05 ± 0,12				
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	5,513	8,551	7,100	6,592	5,708
	2	6,159	7,188	6,627	6,589	5,881
	3	4,444	5,794	7,572	5,268	6,096
	4	4,344	6,295	9,194	6,705	6,206
	5	5,994	6,717	7,105	7,050	5,677
	6	5,563	7,015	8,099	6,353	5,574
	7	3,803	7,204	8,001	7,160	6,152
	8	4,844	6,581	6,961	7,127	6,140
	9	4,932	5,744	6,718	6,470	6,015
	10	5,294	6,776	4,937	6,611	6,055
aritmetický průměr		5,089	6,787	7,231	6,593	5,950
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]		6,33 ± 1,16				
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	4,592	4,985	5,255	4,477	4,622	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]		4,73 ± 0,54				

Tab. 6 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při $v_c=200$ m/min

Experiment 2

UŽITEČNÝ VÝKON							
VB=0,0 mm							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1940	2954	2844	2875	2891	2883
	2	1936	2925	2851	2900	2883	2893
	3	1941	2932	2919	2919	2888	2877
aritmetický průměr		1939,0	2937,0	2871,3	2898,0	2887,3	2884,3
P _{už} [W]			998,0	932,3	959,0	948,3	945,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		956,5 ± 34,8					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		421	402	422	420	420	
P _{už} [W]		877,1	837,5	879,2	875,0	875,0	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		868,8 ± 24,4					

Tab. 7 Výsledky měření P_{už} při VB=0,0 mm

DRSNOST POVRCHU						
VB=0,0 mm						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, v _c =125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,440	1,364	1,504	1,430	1,346
	2	1,559	1,418	1,458	1,617	1,331
	3	1,366	1,407	1,394	1,542	1,285
	4	1,327	1,481	1,410	1,491	1,281
	5	1,378	1,404	1,458	1,401	1,311
	6	1,420	1,402	1,416	1,337	1,311
	7	1,537	1,363	1,466	1,348	1,372
	8	1,430	1,405	1,409	1,369	1,354
	9	1,374	1,431	1,419	1,391	1,334
	10	1,491	1,468	1,394	1,625	1,276
aritmetický průměr	1,432	1,414	1,433	1,455	1,320	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,41 ± 0,07					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,738	7,477	8,241	8,582	7,783
	2	8,342	6,896	7,399	8,379	7,373
	3	6,885	7,529	6,749	8,943	6,807
	4	6,597	8,046	7,339	7,921	6,712
	5	7,417	7,675	7,778	7,901	7,491
	6	8,048	7,593	7,561	6,507	7,625
	7	8,355	7,010	7,615	7,067	7,249
	8	7,366	7,960	6,894	7,497	8,175
	9	7,821	7,975	7,305	7,637	7,404
	10	8,097	7,669	7,048	10,069	7,294
aritmetický průměr	7,667	7,583	7,393	8,050	7,391	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	7,62 ± 0,38					
materiálový poměr profilu c _{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	5,360	4,768	4,501	4,378	4,822	
statistický interval spolehlivosti c _{tp50} [μm]	4,77 ± 0,53					

Tab. 8 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při VB=0,0 mm

UŽITEČNÝ VÝKON							
VB=0,4 mm							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1937	3107	3096	3046	3016	3000
	2	1941	3072	3076	3059	3046	2997
	3	1925	3064	3058	3040	3058	3016
aritmetický průměr		1934,3	3081,0	3076,7	3048,3	3040,0	3004,3
P _{už} [W]			1146,7	1142,3	1114,0	1105,7	1070,0
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1115,7 ± 43,1					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		499	504	499	509	482	
P _{už} [W]		1039,6	1050,0	1039,6	1060,4	1004,2	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1038,8 ± 29,4					

Tab. 9 Výsledky měření P_{už} při VB=0,4 mm

DRSNOST POVRCHU						
VB=0,4 mm						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, v _c =125 m/min					
průměrná aritmetická úchylnka posuzovaného profilu Ra [μm]						
	úsek	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1,214	1,328	1,385	1,549	1,401
	2	1,252	1,225	1,513	1,631	1,578
	3	1,198	1,352	1,472	1,757	1,580
	4	1,057	1,126	1,376	1,421	1,578
	5	1,185	1,354	1,331	1,468	1,478
	6	1,323	1,309	1,485	1,465	1,487
	7	1,278	1,506	1,447	1,583	1,579
	8	1,043	1,362	1,259	1,517	1,459
	9	1,180	1,612	1,316	1,520	1,519
	10	1,189	1,292	1,302	1,460	1,394
aritmetický průměr		1,192	1,347	1,389	1,537	1,505
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]		1,39 ± 0,19				
největší výška profilu Rz [μm]						
	úsek	1	2	3	4	5
číslo měření	1	8,287	7,915	7,928	8,774	7,700
	2	8,665	7,486	9,140	9,374	9,020
	3	7,905	7,986	8,374	10,100	8,299
	4	7,203	6,463	8,269	8,597	9,344
	5	7,535	8,386	7,770	8,181	8,091
	6	8,590	8,644	8,244	8,355	7,803
	7	7,868	8,655	7,885	8,803	9,244
	8	6,535	8,917	7,707	8,278	7,583
	9	7,898	10,158	8,332	8,251	8,088
	10	6,948	8,075	8,120	8,362	8,111
aritmetický průměr		7,743	8,269	8,177	8,708	8,328
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]		8,25 ± 0,48				
materiálový poměr profilu c _{tp50} [μm]						
	úsek	1	2	3	4	5
		5,430	5,557	5,421	5,831	5,818
statistický interval spolehlivosti c _{tp50} [μm]		5,61 ± 0,28				

Tab. 10 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při VB=0,4 mm

UŽITEČNÝ VÝKON							
VB=0,8 mm							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1937	3627	3691	3664	3683	3675
	2	1941	3606	3667	3672	3681	3672
	3	1925	3601	3658	3659	3663	3691
aritmetický průměr		1934,3	3611,3	3672,0	3665,0	3675,7	3679,3
P _{už} [W]			1677,0	1737,7	1730,7	1741,3	1745,0
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1726,3 ± 39,0					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		721	739	741	760	758	
P _{už} [W]		1502,1	1539,6	1543,8	1583,3	1579,2	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1549,6 ± 46,1					

Tab. 11 Výsledky měření P_{už} při VB=0,8 mm

DRSNOST POVRCHU						
VB=0,8 mm						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, v _c =125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	5,264	5,183	5,379	5,148	4,561
	2	5,206	5,164	5,553	4,975	4,564
	3	5,220	5,221	5,140	5,101	4,652
	4	5,154	5,207	5,125	4,960	4,540
	5	5,150	5,209	5,406	4,918	5,001
	6	5,140	5,263	5,103	4,949	4,798
	7	4,976	5,275	5,172	5,066	4,762
	8	5,033	5,319	5,324	4,949	4,446
	9	5,155	5,223	5,246	5,056	4,982
	10	5,071	5,155	5,266	5,175	4,472
aritmetický průměr	5,137	5,222	5,271	5,030	4,678	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	5,07 ± 0,33					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	21,058	20,944	20,979	18,956	17,894
	2	20,212	21,011	23,279	19,198	18,343
	3	20,353	19,949	20,125	20,820	17,355
	4	20,129	20,385	19,938	18,837	20,303
	5	20,056	20,591	21,358	18,818	24,819
	6	19,180	21,126	19,455	18,653	23,460
	7	18,908	20,736	20,861	19,655	20,530
	8	19,798	21,811	21,690	18,374	18,042
	9	19,815	20,830	21,033	19,843	24,437
	10	19,147	19,996	21,319	20,289	21,842
aritmetický průměr	19,866	20,738	21,004	19,344	20,703	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	20,33 ± 0,97					
materiálový poměr profilu c _{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	9,312	12,014	11,830	11,616	14,490	
statistický interval spolehlivosti c _{tp50} [μm]	11,85 ± 2,55					

Tab. 12 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při VB=0,8 mm

Experiment 3

UŽITEČNÝ VÝKON							
EN - C45 (12 050.1)							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $\gamma_0=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,						
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min						
třířákový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P_0 [W]	P_1 [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1950	3071	3085	3083	3081	3102
	2	1943	3073	3092	3102	3103	3122
	3	1951	3084	3079	3108	3134	3121
aritmetický průměr		1948,0	3076,0	3085,3	3097,7	3106,0	3115,0
$P_{už}$ [W]			1128,0	1137,3	1149,7	1158,0	1167,0
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		1148,0 ± 21,7					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F_C [N]		472	470	482	484	501	
$P_{už}$ [W]		983,3	979,2	1004,2	1008,3	1043,8	
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		1003,8 ± 35,7					

Tab. 13 Výsledky měření $P_{už}$ na materiálu EN – C45 (12 050.1)

DRSNOST POVRCHU						
EN - C45 (12 050.1)						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $\nu_0=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,					
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
číslo měření	1	1,134	1,223	1,216	1,167	1,465
	2	1,172	1,168	1,238	1,265	1,289
	3	1,187	1,206	1,267	1,294	1,340
	4	1,174	1,170	1,268	1,227	1,274
	5	1,166	1,187	1,226	1,299	1,338
	6	1,188	1,271	1,259	1,191	1,239
	7	1,177	1,185	1,195	1,306	1,341
	8	1,135	1,119	1,233	1,223	1,345
	9	1,229	1,242	1,226	1,202	1,246
	10	1,151	1,207	1,233	1,217	1,336
aritmetický průměr		1,171	1,198	1,236	1,239	1,321
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]		1,23 \pm 0,08				
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
číslo měření	1	6,170	6,623	6,369	6,491	9,136
	2	6,204	6,294	6,703	7,052	6,859
	3	6,405	6,971	6,918	7,278	7,960
	4	6,189	6,181	6,895	6,893	7,425
	5	5,977	6,408	6,448	7,310	8,124
	6	6,253	7,027	6,651	6,443	7,214
	7	6,303	6,522	6,757	7,808	7,841
	8	6,348	5,916	6,758	6,566	8,288
	9	6,073	6,842	6,986	6,676	6,976
	10	6,186	6,981	6,535	6,877	7,649
aritmetický průměr		6,211	6,577	6,702	6,939	7,747
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]		6,84 \pm 0,80				
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
		3,874	5,129	4,432	4,319	4,860
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]		4,52 \pm 0,68				

Tab. 14 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} na materiálu EN – C45 (12 050.1)

UŽITEČNÝ VÝKON							
EN - 16MnCr5 (14 220.3)							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $\gamma_0 = +5^\circ$, $a_p = 1,5$ mm,						
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c = 125$ m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1940	2954	2844	2875	2891	2883
	2	1936	2925	2851	2900	2883	2893
	3	1941	2932	2919	2919	2888	2877
aritmetický průměr		1939,0	2937,0	2871,3	2898,0	2887,3	2884,3
P _{už} [W]			998,0	932,3	959,0	948,3	945,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		956,5 ± 34,8					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		421	402	422	420	420	
P _{už} [W]		877,1	837,5	879,2	875,0	875,0	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		868,8 ± 24,4					

Tab. 15 Výsledky měření P_{už} na materiálu EN – 16MnCr5 (14 220.3)

DRSNOST POVRCHU						
EN - 16MnCr5 (14 220.3)						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $v_o=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,					
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,440	1,364	1,504	1,430	1,346
	2	1,559	1,418	1,458	1,617	1,331
	3	1,366	1,407	1,394	1,542	1,285
	4	1,327	1,481	1,410	1,491	1,281
	5	1,378	1,404	1,458	1,401	1,311
	6	1,420	1,402	1,416	1,337	1,311
	7	1,537	1,363	1,466	1,348	1,372
	8	1,430	1,405	1,409	1,369	1,354
	9	1,374	1,431	1,419	1,391	1,334
	10	1,491	1,468	1,394	1,625	1,276
aritmetický průměr	1,432	1,414	1,433	1,455	1,320	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,41 \pm 0,07					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,738	7,477	8,241	8,582	7,783
	2	8,342	6,896	7,399	8,379	7,373
	3	6,885	7,529	6,749	8,943	6,807
	4	6,597	8,046	7,339	7,921	6,712
	5	7,417	7,675	7,778	7,901	7,491
	6	8,048	7,593	7,561	6,507	7,625
	7	8,355	7,010	7,615	7,067	7,249
	8	7,366	7,960	6,894	7,497	8,175
	9	7,821	7,975	7,305	7,637	7,404
	10	8,097	7,669	7,048	10,069	7,294
aritmetický průměr	7,667	7,583	7,393	8,050	7,391	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	7,62 \pm 0,38					
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	5,360	4,768	4,501	4,378	4,822	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]	4,77 \pm 0,53					

Tab. 16 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} na materiálu EN – 16MnCr5 (14 220.3)

UŽITEČNÝ VÝKON							
EN - X5CrNi18 - 10 (17 240)							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $\gamma_0=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,						
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1803	2861	2841	2822	2819	2823
	2	1817	2839	2854	2839	2833	2816
	3	1807	2826	2842	2866	2857	2837
aritmetický průměr		1809,0	2842,0	2845,7	2842,3	2836,3	2825,3
P _{už} [W]			1033,0	1036,7	1033,3	1027,3	1016,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		1029,3 ± 11,1					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		427	438	433	441	439	
P _{už} [W]		889,6	912,5	902,1	918,8	914,6	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		907,5 ± 16,3					

Tab. 17 Výsledky měření P_{už} na materiálu EN – X5CrNi18 – 10 (17 240)

DRSNOST POVRCHU						
EN - X5CrNi18 - 10 (17 240)						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $\nu_0=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,					
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
číslo měření	1	1,436	1,340	1,650	1,515	1,713
	2	1,397	1,411	1,530	1,626	1,501
	3	1,310	1,281	1,412	1,490	1,559
	4	1,359	1,452	1,424	1,353	1,415
	5	1,387	1,371	1,414	1,368	1,426
	6	1,307	1,356	1,514	1,341	1,479
	7	1,208	1,491	1,544	1,572	1,388
	8	1,377	1,456	1,518	1,631	1,379
	9	1,338	1,231	1,485	1,323	1,365
	10	1,286	1,293	1,367	1,338	1,494
aritmetický průměr		1,341	1,368	1,486	1,456	1,472
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]		1,43 \pm 0,09				
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
číslo měření	1	5,558	7,691	9,127	9,356	10,349
	2	8,024	8,335	8,814	9,889	10,085
	3	7,573	6,845	7,499	8,521	8,834
	4	8,182	8,191	8,295	7,521	8,260
	5	7,649	7,756	7,479	7,497	8,155
	6	7,661	7,854	8,626	7,703	8,890
	7	7,002	8,320	9,100	9,230	7,704
	8	7,469	8,161	9,362	10,622	7,852
	9	7,580	6,939	8,593	8,189	8,274
	10	7,401	7,831	7,111	7,707	9,603
aritmetický průměr		7,410	7,792	8,401	8,624	8,801
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]		8,21 \pm 0,81				
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
		4,895	5,839	7,167	5,393	5,797
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]		5,82 \pm 1,17				

Tab. 18 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} na materiálu EN – X5CrNi18 – 10 (17 240)

UŽITEČNÝ VÝKON							
EN GJL-200 (42 2420)							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $\nu_0=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,						
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P_0 [W]	P_1 [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1880	2452	2470	2453	2492	2490
	2	1871	2463	2465	2481	2485	2483
	3	1869	2487	2476	2464	2472	2480
aritmetický průměr		1873,3	2467,3	2470,3	2466,0	2483,0	2484,3
$P_{už}$ [W]			594,0	597,0	592,7	609,7	611,0
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		600,9 ± 12,2					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F_C [N]		271	277	274	271	272	
$P_{už}$ [W]		564,6	577,1	570,8	564,6	566,7	
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		568,8 ± 7,4					

Tab. 19 Výsledky měření $P_{už}$ na materiálu EN GJL-200 (42 2420)

DRSNOST POVRCHU						
EN - GJL-200 (42 2420)						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $v_o=+5^\circ$, $a_p=1,5$ mm,					
	za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
číslo měření	1	1,753	1,627	1,778	1,578	1,720
	2	2,002	1,332	1,753	1,654	1,894
	3	2,259	1,976	1,899	1,886	1,679
	4	1,505	2,083	1,630	1,528	1,955
	5	1,788	1,770	1,726	1,799	1,706
	6	2,039	1,611	1,608	1,556	1,442
	7	1,978	1,649	1,835	1,739	2,044
	8	1,887	2,013	1,583	1,995	1,519
	9	2,072	1,600	1,769	2,064	1,633
	10	1,792	1,878	1,647	1,791	1,786
aritmetický průměr		1,908	1,754	1,723	1,759	1,738
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]		1,78 \pm 0,10				
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
číslo měření	1	11,379	10,659	12,306	11,284	11,642
	2	13,297	8,647	12,066	11,687	12,742
	3	15,070	12,702	12,289	12,780	11,927
	4	8,983	14,753	9,522	10,663	13,574
	5	13,019	11,506	11,292	10,538	11,417
	6	13,755	10,960	9,851	9,868	12,147
	7	12,986	10,851	11,532	11,478	13,335
	8	11,621	15,401	8,941	12,127	9,767
	9	15,247	9,057	11,335	11,465	10,895
	10	11,813	12,121	10,870	11,066	10,763
aritmetický průměr		12,717	11,666	11,000	11,296	11,821
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]		11,70 \pm 0,91				
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek		1	2	3	4	5
		6,718	7,678	5,411	5,617	5,757
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]		6,24 \pm 1,32				

Tab. 20 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} na materiálu EN – GJL-200 (42 2420)

Experiment 4

UŽITEČNÝ VÝKON							
$\gamma_o = -17^\circ$							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, v _c =125 m/min						
třířazový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
	P ₀ [W]	P ₁ [W]					
úsek	0	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1832	3138	3101	3108	3113	3121
	2	1828	3161	3130	3085	3133	3090
	3	1825	3156	3154	3138	3104	3077
aritmetický průměr	1828,3	3151,7	3128,3	3110,3	3116,7	3096,0	
P _{už} [W]		1323,3	1300,0	1282,0	1288,3	1267,7	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	1292,3 ± 29,0						
dynamometr Kistler							
úsek	1	2	3	4	5		
F _C [N]	542	557	560	558	580		
P _{už} [W]	1129,2	1160,4	1166,7	1162,5	1208,3		
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	1165,4 ± 39,2						

Tab. 21 Výsledky měření P_{už} při $\gamma_o = -17^\circ$

DRSNOST POVRCHU						
$\gamma_0 = -17^\circ$						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	4,783	5,233	5,312	4,805	5,135
	2	4,897	5,325	4,926	4,797	4,614
	3	4,586	5,316	5,338	4,631	5,297
	4	4,510	5,422	5,179	5,081	5,293
	5	5,575	4,900	4,832	4,933	5,284
	6	5,114	5,011	4,925	4,831	5,229
	7	4,970	5,286	4,663	4,939	4,930
	8	4,737	4,898	5,272	5,010	4,622
	9	4,926	5,208	5,351	5,040	5,308
	10	4,541	5,141	4,401	5,146	5,009
aritmetický průměr		4,864	5,174	5,020	4,921	5,072
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]		5,01 \pm 0,17				
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	21,803	22,120	24,525	21,197	21,939
	2	22,803	24,438	25,519	22,670	20,434
	3	21,690	23,569	25,922	22,311	22,959
	4	20,599	25,835	24,391	22,869	24,543
	5	24,451	21,646	22,858	22,105	22,501
	6	24,481	21,616	24,518	22,576	23,083
	7	25,559	25,475	20,701	26,254	21,458
	8	20,096	22,410	25,132	22,802	21,858
	9	22,607	23,409	25,814	22,399	23,569
	10	22,912	22,032	21,480	25,143	21,161
aritmetický průměr		22,700	23,255	24,086	23,033	22,351
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]		23,09 \pm 0,91				
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	14,471	15,844	14,884	12,484	11,108	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]		13,76 \pm 2,67				

Tab. 22 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při $\gamma_0 = -17^\circ$

UŽITEČNÝ VÝKON							
$\gamma_o=0^\circ$							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P_0 [W]	P_1 [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1832	2854	2844	2811	2791	2831
	2	1828	2851	2836	2807	2796	2812
	3	1825	2830	2809	2808	2777	2809
aritmetický průměr		1828,3	2845,0	2829,7	2808,7	2788,0	2817,3
$P_{už}$ [W]			1016,7	1001,3	980,3	959,7	989,0
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		989,4 ± 29,9					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F_C [N]		431	450	451	430	453	
$P_{už}$ [W]		897,9	937,5	939,6	895,8	943,8	
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		922,9 ± 33,2					

Tab. 23 Výsledky měření $P_{už}$ při $\gamma_o=0^\circ$

DRSNOST POVRCHU						
$\gamma_o=0^\circ$						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,302	1,480	1,800	2,035	1,921
	2	1,386	1,640	1,861	1,914	1,945
	3	1,336	1,714	1,941	1,770	1,836
	4	1,259	1,793	1,925	1,761	1,739
	5	1,345	1,571	1,829	1,715	1,936
	6	1,415	1,629	1,864	1,810	1,878
	7	1,357	1,626	1,939	2,085	1,893
	8	1,479	1,696	1,889	2,081	1,805
	9	1,228	1,525	1,617	1,824	1,843
	10	1,293	1,589	1,772	1,810	1,959
aritmetický průměr	1,340	1,626	1,844	1,881	1,876	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,71 \pm 0,33					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,904	7,943	9,478	11,104	9,138
	2	8,688	9,465	10,082	10,005	9,614
	3	8,662	9,966	10,266	9,586	9,227
	4	7,656	10,525	11,055	9,154	8,690
	5	8,062	8,480	9,501	8,393	9,572
	6	8,396	9,232	10,705	8,212	8,749
	7	7,936	8,774	10,783	10,986	10,038
	8	9,045	9,350	10,673	12,386	9,207
	9	7,172	8,507	8,158	9,252	8,543
	10	7,407	8,575	9,181	9,907	10,112
aritmetický průměr	8,093	9,082	9,988	9,899	9,289	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	9,27 \pm 1,06					
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	5,529	7,036	8,174	6,388	6,378	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]	6,70 \pm 1,36					

Tab. 24 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při $\gamma_o=0^\circ$

UŽITEČNÝ VÝKON							
$\gamma_o = +17^\circ$							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1832	2687	2668	2702	2747	2738
	2	1828	2688	2654	2691	2730	2724
	3	1825	2671	2699	2685	2713	2480
aritmetický průměr		1828,3	2682,0	2673,7	2692,7	2730,0	2647,3
P _{už} [W]			853,7	845,3	864,3	901,7	819,0
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		856,8 ± 41,9					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		396	384	371	397	399	
P _{už} [W]		825,0	800,0	772,9	827,1	831,3	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		811,3 ± 34,3					

Tab. 25 Výsledky měření P_{už} při $\gamma_o = +17^\circ$

DRSNOST POVRCHU						
$\gamma_o=+17^\circ$						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,861	1,998	1,994	2,098	2,230
	2	1,825	1,959	1,959	2,091	2,257
	3	1,918	1,984	1,965	1,956	2,204
	4	1,897	1,955	1,963	2,118	2,248
	5	1,782	2,088	2,039	2,146	2,154
	6	1,885	2,078	1,911	2,169	2,158
	7	1,949	2,046	1,987	1,968	2,195
	8	1,973	2,082	2,039	2,088	2,200
	9	2,054	2,185	2,036	2,129	2,215
	10	1,836	1,950	2,214	2,029	2,239
aritmetický průměr	1,898	2,033	2,011	2,079	2,210	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	2,04 \pm 0,16					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	9,843	9,769	9,071	9,546	10,365
	2	8,851	9,432	8,384	10,092	10,173
	3	9,648	9,375	8,569	10,210	9,992
	4	9,740	9,104	9,499	10,359	10,768
	5	8,550	10,804	11,290	10,036	9,601
	6	10,185	9,736	8,648	10,863	9,607
	7	9,502	9,421	9,337	9,116	9,646
	8	10,585	10,160	9,534	10,243	9,309
	9	10,567	10,956	9,281	9,407	10,057
	10	8,724	8,523	11,824	9,106	10,234
aritmetický průměr	9,620	9,728	9,544	9,898	9,975	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	9,75 \pm 0,25					
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	6,613	7,204	5,860	6,859	6,542	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]	6,62 \pm 0,69					

Tab. 26 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při $\gamma_o=-17^\circ$

Experiment 5

UŽITEČNÝ VÝKON							
za sucha							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°,						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1940	2954	2844	2875	2891	2883
	2	1936	2925	2851	2900	2883	2893
	3	1941	2932	2919	2919	2888	2877
aritmetický průměr		1939,0	2937,0	2871,3	2898,0	2887,3	2884,3
P _{už} [W]			998,0	932,3	959,0	948,3	945,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		956,5 ± 34,8					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		421	402	422	420	420	
P _{už} [W]		877,1	837,5	879,2	875,0	875,0	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		868,8 ± 24,4					

Tab. 27 Výsledky měření P_{už} při obrábění za sucha

DRSNOST POVRCHU						
za sucha						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm, $\gamma_0=+5^\circ$,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,440	1,364	1,504	1,430	1,346
	2	1,559	1,418	1,458	1,617	1,331
	3	1,366	1,407	1,394	1,542	1,285
	4	1,327	1,481	1,410	1,491	1,281
	5	1,378	1,404	1,458	1,401	1,311
	6	1,420	1,402	1,416	1,337	1,311
	7	1,537	1,363	1,466	1,348	1,372
	8	1,430	1,405	1,409	1,369	1,354
	9	1,374	1,431	1,419	1,391	1,334
	10	1,491	1,468	1,394	1,625	1,276
aritmetický průměr	1,432	1,414	1,433	1,455	1,320	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,41 \pm 0,07					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,738	7,477	8,241	8,582	7,783
	2	8,342	6,896	7,399	8,379	7,373
	3	6,885	7,529	6,749	8,943	6,807
	4	6,597	8,046	7,339	7,921	6,712
	5	7,417	7,675	7,778	7,901	7,491
	6	8,048	7,593	7,561	6,507	7,625
	7	8,355	7,010	7,615	7,067	7,249
	8	7,366	7,960	6,894	7,497	8,175
	9	7,821	7,975	7,305	7,637	7,404
	10	8,097	7,669	7,048	10,069	7,294
aritmetický průměr	7,667	7,583	7,393	8,050	7,391	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	7,62 \pm 0,38					
materiálový poměr profilu c_{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	5,360	4,768	4,501	4,378	4,822	
statistický interval spolehlivosti c_{tp50} [μm]	4,77 \pm 0,53					

Tab. 28 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} při obrábění za sucha

UŽITEČNÝ VÝKON							
ACCU-LUBE LB-2000							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
	úsek	0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1836	2806	2797	2717	2763	2764
	2	1831	2876	2780	2790	2759	2780
	3	1830	2802	2767	2787	2750	2783
aritmetický průměr		1832,3	2828,0	2781,3	2764,7	2757,3	2775,7
P _{už} [W]			995,7	949,0	932,3	925,0	943,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		949,1 ± 38,4					
dynamometr Kistler							
	úsek	1	2	3	4	5	
F _C [N]		410	409	391	409	402	
P _{už} [W]		854,2	852,1	814,6	852,1	837,5	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		842,1 ± 23,3					

Tab. 29 Výsledky měření P_{už} s procesní kapalinou ACCU-LUBE LB-2000

DRSNOST POVRCHU						
ACCU-LUBE LB-2000						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm, γo=+5°,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,339	1,253	1,126	1,080	1,303
	2	1,190	1,332	1,162	1,125	1,253
	3	1,327	1,306	1,262	1,181	1,218
	4	1,428	1,413	1,364	1,334	1,272
	5	1,266	1,187	1,232	1,294	1,204
	6	1,212	1,180	1,059	1,272	1,154
	7	1,274	1,205	1,096	1,295	1,199
	8	1,205	1,371	1,044	1,324	1,273
	9	1,177	1,189	1,196	1,362	1,312
	10	1,259	1,118	1,047	1,174	1,217
aritmetický průměr	1,268	1,255	1,159	1,244	1,241	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,23 ± 0,06					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	8,406	7,105	6,160	6,049	7,632
	2	7,314	7,566	6,660	6,321	6,668
	3	8,423	7,530	7,464	7,079	7,131
	4	9,780	8,626	7,766	7,995	8,062
	5	8,046	6,909	7,509	8,217	6,610
	6	7,603	7,271	5,889	7,158	6,780
	7	7,645	7,131	6,124	7,837	7,055
	8	6,998	8,942	5,695	8,380	7,635
	9	7,588	6,906	7,190	7,934	8,070
	10	8,009	6,188	5,813	6,459	7,647
aritmetický průměr	7,981	7,417	6,627	7,343	7,329	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	7,34 ± 0,67					
materiálový poměr profilu c _{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	4,283	4,625	4,332	6,096	4,680	
statistický interval spolehlivosti c _{tp50} [μm]	4,80 ± 1,03					

Tab. 30 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} s procesní kapalinou ACCU-LUBE LB-2000

UŽITEČNÝ VÝKON							
EOPS 1030							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ ₀ =+5°						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, v _c =125 m/min						
třířákový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1836	2738	2702	2681	2621	2608
	2	1831	2760	2669	2680	2641	2601
	3	1830	2757	2684	2660	2654	2624
aritmetický průměr		1832,3	2751,7	2685,0	2673,7	2638,7	2611,0
P _{už} [W]			919,3	852,7	841,3	806,3	778,7
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		839,7 ± 73,9					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		386	368	369	362	341	
P _{už} [W]		804,2	766,7	768,8	754,2	710,4	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		760,9 ± 46,9					

Tab. 31 Výsledky měření P_{už} s procesní kapalinou EOPS 1030

DRSNOST POVRCHU						
EOPS 1030						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm, γo=+5°,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,313	1,323	1,526	1,689	1,844
	2	1,288	1,327	1,516	1,614	1,796
	3	1,311	1,475	1,463	1,789	1,889
	4	1,317	1,231	1,482	1,669	1,798
	5	1,322	1,297	1,510	1,674	1,721
	6	1,164	1,210	1,458	1,658	1,702
	7	1,258	1,269	1,568	1,688	1,741
	8	1,370	1,354	1,516	1,647	1,820
	9	1,308	1,282	1,455	1,707	1,773
	10	1,241	1,317	1,446	1,605	1,758
aritmetický průměr	1,289	1,309	1,494	1,674	1,784	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,51 ± 0,30					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,862	8,100	9,090	9,218	9,670
	2	7,242	7,905	9,505	8,671	9,866
	3	7,838	8,558	8,501	10,134	10,141
	4	8,147	7,504	9,219	9,510	9,429
	5	7,309	8,141	8,591	9,004	8,890
	6	6,867	7,343	8,215	8,847	8,690
	7	7,642	7,467	9,196	9,026	9,885
	8	8,557	8,125	9,046	8,649	9,647
	9	7,873	7,474	8,539	9,596	9,109
	10	7,212	7,861	8,851	8,903	8,897
aritmetický průměr	7,655	7,848	8,875	9,156	9,422	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	8,59 ± 1,10					
materiálový poměr profilu c _{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	5,148	5,129	5,778	5,283	6,204	
statistický interval spolehlivosti c _{tp50} [μm]	5,51 ± 0,65					

Tab. 32 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} s procesní kapalinou EOPS 1030

UŽITEČNÝ VÝKON							
MULTICUT Extra 10							
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., a _p =1,5 mm, γ _o =+5°						
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, v _c =125 m/min						
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0							
		P ₀ [W]	P ₁ [W]				
úsek		0	1	2	3	4	5
číslo měření	1	1836	2601	2637	2634	2694	2685
	2	1831	2654	2657	2626	2682	2701
	3	1830	2647	2660	2658	2647	2692
aritmetický průměr		1832,3	2634,0	2651,3	2639,3	2674,3	2692,7
P _{už} [W]			801,7	819,0	807,0	842,0	860,3
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		826,0 ± 34,2					
dynamometr Kistler							
úsek		1	2	3	4	5	
F _C [N]		348	362	367	371	396	
P _{už} [W]		725,0	754,2	764,6	772,9	825,0	
statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]		768,3 ± 50,6					

Tab. 33 Výsledky měření P_{už} s procesní kapalinou MULTICTU Extra 10

DRSNOST POVRCHU						
MULTICUT Extra 10						
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., ap=1,5 mm, γo=+5°,					
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), VB=0,0 mm, vc=125 m/min					
průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu Ra [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	1,724	1,936	1,945	1,900	2,060
	2	1,738	1,956	1,926	1,950	2,067
	3	1,821	1,928	2,029	2,045	2,055
	4	1,859	1,941	1,946	2,046	2,118
	5	1,735	1,909	1,960	1,975	2,067
	6	1,748	1,949	1,946	2,043	2,068
	7	1,697	1,917	1,979	2,035	2,127
	8	1,661	1,907	1,960	1,999	2,086
	9	1,757	1,920	1,973	2,052	2,122
	10	1,737	1,926	1,938	2,058	2,145
aritmetický průměr	1,748	1,929	1,960	2,010	2,092	
statistický interval spolehlivosti Ra [μm]	1,95 ± 0,18					
největší výška profilu Rz [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
číslo měření	1	7,685	9,309	9,276	8,756	9,301
	2	8,129	9,503	8,601	9,176	8,751
	3	8,473	9,265	10,094	9,034	9,159
	4	9,196	9,041	9,397	9,600	9,583
	5	7,333	9,188	8,891	9,122	8,968
	6	7,498	9,386	8,884	9,304	8,918
	7	7,130	8,891	10,125	9,551	8,947
	8	7,720	9,475	9,941	9,864	8,912
	9	8,387	9,267	9,136	9,991	8,604
	10	7,883	9,150	9,395	9,058	10,225
aritmetický průměr	7,943	9,248	9,374	9,346	9,137	
statistický interval spolehlivosti Rz [μm]	9,01 ± 0,8					
materiálový poměr profilu c _{tp50} [μm]						
úsek	1	2	3	4	5	
	4,814	5,826	5,509	5,997	5,692	
statistický interval spolehlivosti c _{tp50} [μm]	5,57 ± 0,64					

Tab. 34 Výsledky měření Ra, Rz a c_{tp50} s procesní kapalinou MULTICUT Extra 10

PŘÍLOHA Č. 2 – VÝPOČET $P_{už}$ PŘI $\gamma_o = -17^\circ$, SE ZAHRNUTÍM POSUVOVÉ SÍLY

Pro výpočet se posuvová síla F_f uvažuje stejně velká jako řezná síla F_c . Výsledky jsou uvedeny v tab. 35.

$$P_{už} = F_c \cdot v_c + F_f \cdot v_f = F_c \cdot (v_c + f \cdot n) \quad [\text{W}]$$

UŽITEČNÝ VÝKON					
$\gamma_o = -17^\circ$					
konstantní parametry	D=70 mm, f=0,1 mm/ot., $a_p=1,5$ mm,				
	EN - 16MnCr5 (14 220.3), za sucha, VB=0,0 mm, $v_c=125$ m/min				
úsek	1	2	3	4	5
F_c [N]	542	557	560	558	580
$P_{už}$ [W]	1159,5	1191,6	1198,0	1193,7	1240,8
statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	1196,7 ± 40,3				

Tab. 35 Užitečný výkon $P_{už}$ při $\gamma_o = -17^\circ$ se zahrnutou posuvovou silou F_f