

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ ŘEZNÉ NÁSTROJE PRO ZAPICHOVÁNÍ A UPICHOVÁNÍ

MODERN CUTTING TOOLS FOR GROOVING AND CUTTING-OFF

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. NADĚŽDA POLÁČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Naděžda Poláčková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Moderní řezné nástroje pro zapichování a upichování

v anglickém jazyce:

Modern cutting tools for grooving and cutting-off

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá novými řeznými nástroji pro zapichování a upichování.

Cíle diplomové práce:

1. Úvod
2. Moderní trendy v konstrukci řezných nástrojů pro zapichování a upichování
3. Soudobé řezné materiály na zapichování a upichování
4. Aplikace řezných nástrojů PRAMET TOOLS, s.r.o., Šumperk ve výrobní praxi
5. Srovnání s jinými výrobci, diskuze
6. Závěr, doporučení pro praxi

Seznam odborné literatury:

1. HUMÁR, A. Trendy vývoje materiálů pro řezné nástroje. In Sborník odborné konference Frézování III. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie ve spolupráci s PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk a ZPS - Frézovací nástroje, a.s., Zlín. Brno, 2003, ISBN 80-214-2436-2, s. 5-14.
2. DAVIS, J.R. Tool Materials. ASM Specialty Handbook. ASM International, Materials Park, Ohio, 1998, 2nd. ed., pp. 501, ISBN: 0-8170-545-1.
3. SPÁČIL, J. Řezné materiály pro frézování a jejich vývoj. In Sborník odborné konference Frézování III. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie ve spolupráci s PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk a ZPS - Frézovací nástroje, a.s., Zlín. Brno, 2003, ISBN 80-214-2436-2, s. x-y.
4. TRENT, E.M., WRIGHT, P.K. Metal Cutting. Fourth Edition. Butterworth-Heinemann. Boston, Oxford, Auckland, Johannesburg, Melbourne, New Delhi, 2000. pp. 446. ISBN 0-7506-7069-X.
5. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. MM Průmyslové spektrum. Speciální vydání včetně CD. 110 s. Praha, 2004, ISSN 1212-2572.
6. AB SANDVIK, Sandviken, Sweden. Sandvik Hard Materials - Technical info - Understanding Cemented Carbide - Grain Size. [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.hardmaterials.sandvik.com>.
7. KOUŘIL, K., MARŠÍČEK, R. Nástroje pro produktivní obrábění. In Sborník odborné konference Frézování III. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie ve spolupráci s PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk a ZPS - Frézovací nástroje, a.s., Zlín. Brno, 2003, ISBN 80-214-2436-2, s. .

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá moderními řeznými nástroji pro zapichování a upichování. Hlavní částí tohoto projektu je analýza sil při zapichování za použití dvou typů utvařečů třísky, a jejich vliv na tvar třísky.

Klíčová slova

Řezné nástroje, zapichování, upichování, utvařeč třísky.

ABSTRACT

Master's thesis deals with modern cutting tools for grooving and cutting-off. The main part of this project is analysis of forces in the process of grooving by using two types of chip breaker and their influence on the shape of the chip.

Key words

Cutting tools, grooving, cutting-off, chip breaker.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLÁČKOVÁ, N. *Moderní řezné nástroje pro zapichování a upichování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 65 s., přílohy 4. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Moderní řezné nástroje pro zapichování a upichování vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce, a na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

Datum 12. 10. 2011

.....

Bc. Naděžda Poláčková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. A dále panu Vladimíru Maixnerovi, MBA, R&D managerovi firmy Pramet Tools, s. r. o., Šumperk, za poskytnutou dokumentaci.

OBSAH

Titulní list	1
Zadání	2
Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	9
1 UPICHOVÁNÍ A VÝROBA ZÁPICHŮ	10
1.1 Upichování.....	10
1.2 Výroba zápichů.....	11
1.3 Základní výpočtové vztahy	12
1.3.1 Kinematika zapichování a upichování	12
1.3.2 Hlavní parametry třísky	13
1.3.3 Měření sil	14
2 MODERNÍ TRENDY V KONSTRUKCI ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ PRO ZAPICHOVÁNÍ A UPICHOVÁNÍ	16
2.1 Geometrie břitu	16
2.2 Nože pro zapichování a upichování.....	17
2.3 Utvařec třísky.....	19
3 MODERNÍ ŘEZNÉ MATERIÁLY	20
4 APLIKACE ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ PRAMET TOOLS, S.R.O., ŠUMPERK VE VÝROBNÍ PRAXI	22
4.1 Experiment 1 – měření složek celkové síly při výrobě zápichů za použití různých typů utvařečů třísky	23
4.1.1 Příprava měření.....	23
4.1.2 Vstupní podmínky.....	24
4.1.3 Průběh měření.....	27
4.1.4 Dosažené výsledky	29
4.1.5 Závěrečné vyhodnocení	49

4.2 Experiment 2 – vliv typu utvařeče na tvar třísky	50
4.2.1 Příprava měření.....	50
4.2.2 Vstupní podmínky	50
4.2.3 Průběh měření.....	51
4.2.4 Dosažené výsledky	52
4.2.5 Vyhodnocení	54
4.2.6 Závěrečné vyhodnocení	59
5 SROVNÁNÍ S JINÝMI VÝROBCI, DISKUSE	60
6 ZÁVĚR, DOPORUČENÍ PRO PRAXI.....	61
Seznam použité literatury	62
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	63
Seznam příloh	65

ÚVOD

Strojírenská výroba je stále velice důležitým aspektem mnoha výrobních společností. Mezi nejvíce používané technologie výroby ve strojírenství lze jednoznačně zařadit strojní obrábění. Obrábění se dá všeobecně rozdělit na technologie: soustružení, frézování, vrtání, hoblování, obrážení, výrobu ozubených kol a výroba závitů, dále jsou to různé dokončovací metody jako: broušení, lapování, válečkování, atd.

Polotovary zpracovávané soustružením se jsou zpravidla rotačního tvaru, nejčastěji je volen tyčový materiál či odlitek nebo výkovek. Zvolený polotovar se obrábí podélným nebo příčným soustružením, obrábí se vnitřní nebo vnější plochy, vyrábí se závity či různé drážky nebo vybrání.

Velice důležitými operacemi při soustružení je také upichování a zapichování. Při upichování se oddělí část materiálu z polotovaru. Při výrobě zápichů dochází k úběru materiálu z polotovaru ve formě třísky.

Zápichy, jsou velmi důležitými konstrukční prvky, které slouží k oddělení různých ploch na polotovaru. Jsou to elementy, které slouží pro použití pojistných kroužků. Tyto uzavírají ložisko nebo náboj kola, a tím zabraňují posuvu daného elementu ve směru osy hřídele, a především brání úplnému sklouznutí pojistného kroužku z hřídele.

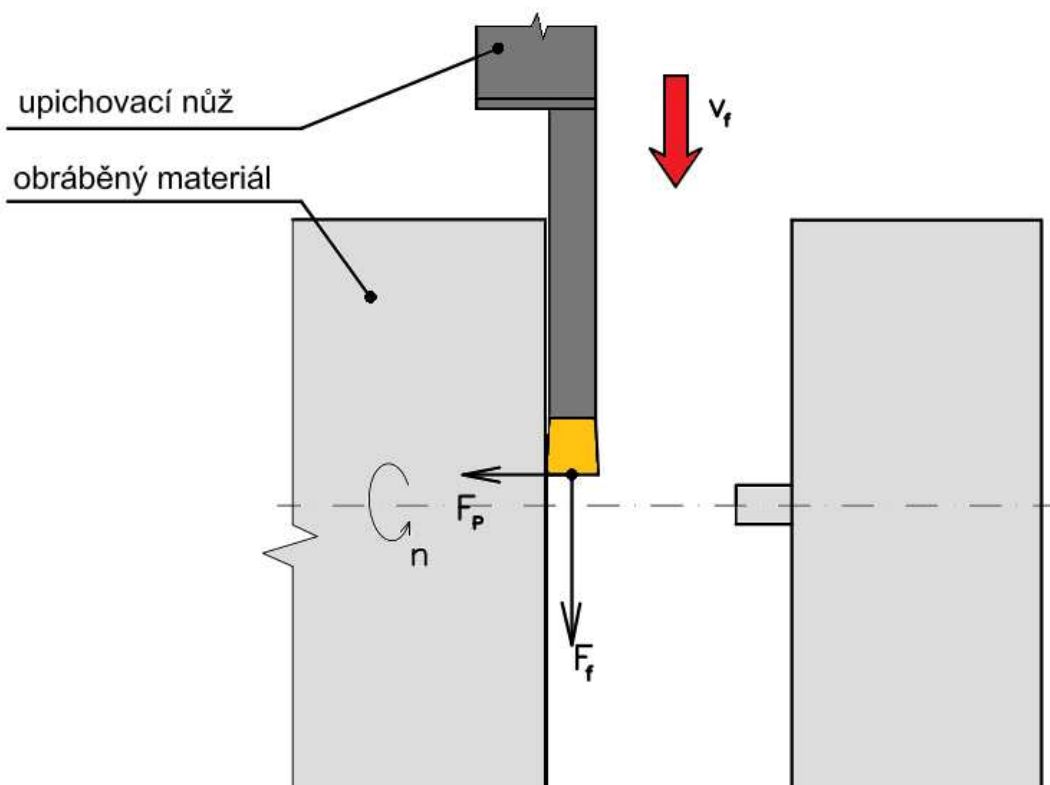
Upichování a zapichování má vlastní škálu aplikací, které vyžadují speciální nástroje. Aby byly tyto nástroje plně využity a bylo dosaženo nejlepších výsledků, je třeba zvážit některé faktory a vybrat nejvhodnější typ nástroje a příslušenství.

1 UPICHOVÁNÍ A VÝROBA ZÁPICHŮ

1.1 Upichování

Upichování je metoda soustružení, při které obrobek rotuje a nástroj koná přímočarý posuvný pohyb. Pohyb nástroje směřuje od obvodu obrobku k jeho ose (obr. 1.1).

Řezná rychlost se postupně snižuje z maximální hodnoty až k nule, průměr obrobku se zmenšuje. Obrobek se odlomí dřív, než nástroj dokončí úplné upíchnutí. Toto předčasné odlomení materiálu způsobí, že ve středu obrobku zůstane výstupek ve tvaru čepu. Výstupek zůstává vždy, ale jeho velikost je možné eliminovat vhodnou geometrií břitu, změnou posuvu nebo podepřením oddělované části obrobku ^{1,2}.

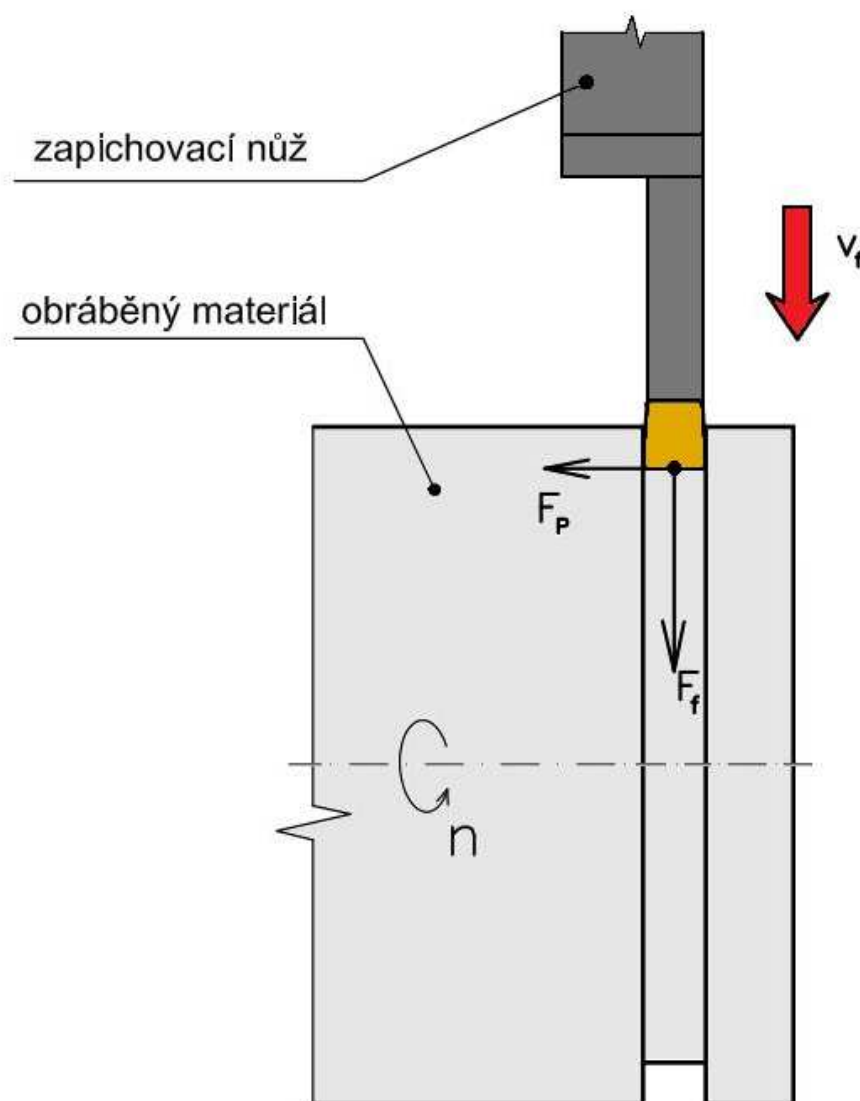


Obr. 1.1 Schéma upichování.

1.2 Výroba zápichů

Výroba zápichů je ve své podstatě přerušená operace upichování^{1, 2}. Obrobek rotuje a nástroj koná přímočarý posuvný pohyb. Pohyb nástroje spočívá ve směru od obvodu obrobku k jeho ose (obr. 1.2).

Řezná rychlost klesá, průměr obrobku se zmenšuje. Nástroj zabírá až do požadované hloubky řezu.



Obr. 1.2 Schéma zapichování.

1.3 Základní výpočtové vztahy

1.3.1 Kinematika zapichování a upichování

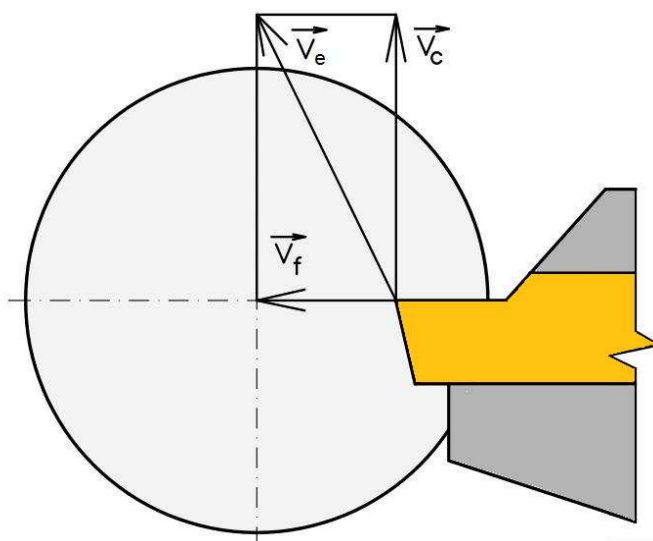
Hlavní pohyb při zapichování a upichování vykonává obrobek. Vedlejší pohyb vykonává nástroj. Řezná rychlost je definována vztahem 1.1, posuvová rychlost je definována vztahem 1.2. Výsledná rychlost je vektorovým součtem řezné a posuvové rychlosti podle vzorce 1.3⁴.

Vektory rychlostí, které působí při zapichování a upichování jsou znázorněny na obr. 1.3.

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} \quad (1.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.3)$$

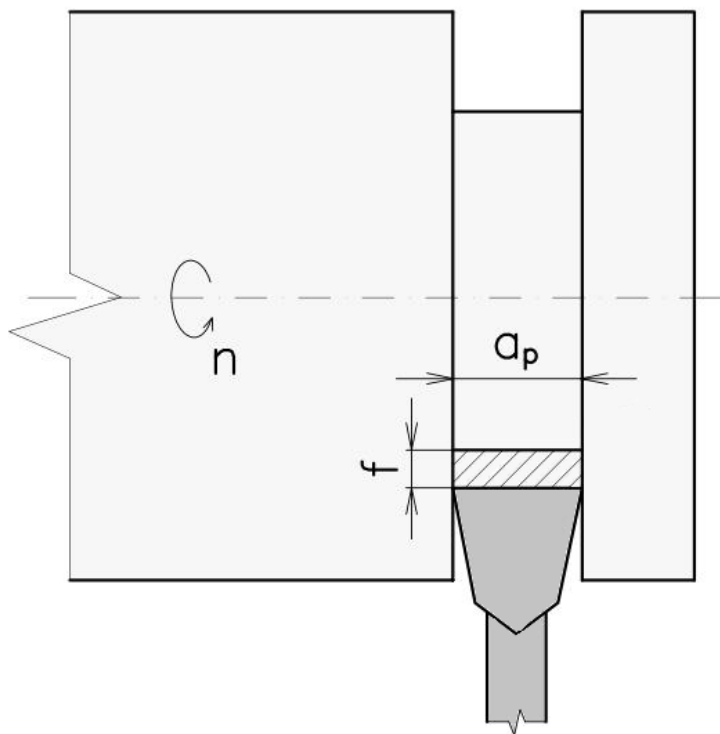


Obr. 1.3 Schéma směru vektorů řezné, posuvové a celkové rychlosti při zapichování a upichování.

1.3.2 Hlavní parametry třísky

Rozměr odřezávané vrstvy je při obrábění velice důležitou veličinou. Je určen šířkou záběru a_p a posuvem f , což při zapichování a upichování, při úhlu nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 0^\circ$, odpovídá šířce třísky b_D a tloušťce třísky h_D (obr. 1.4). Průřez odřezávané vrstvy je označován jako A_D , výpočet podle vztahu 1.4.

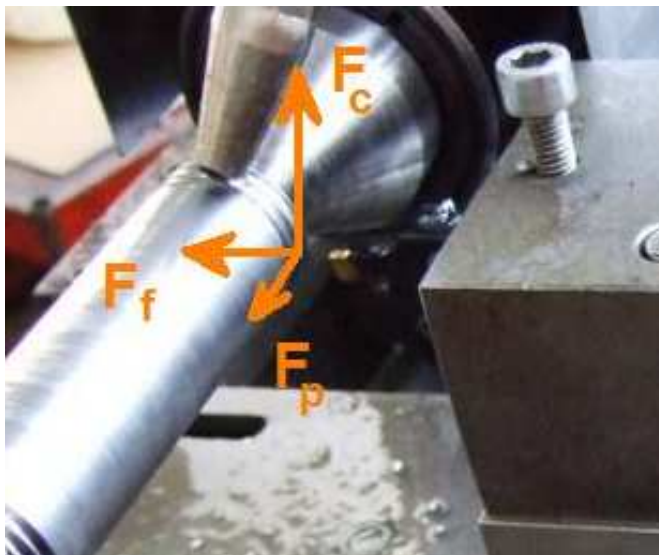
$$A_D = a_p \cdot f = b_D \cdot h_D \quad (1.4)$$



Obr. 1.4 Hlavní parametry třísky při zapichování a upichování.

1.3.3 Měření sil

V průběhu řezného procesu při zapichování a upichování působí na obrobek i nástroj velké síly, jejich základní rozložení je zobrazeno na obr. 1.5.



Obr. 1.5 Rozložení sil při zapichování .

V praxi jsou síly měřeny a vyhodnocovány pomocí záznamových systémů. Velmi přesné určení sil poskytuje měření sil pomocí dynamometrů. Nejčastěji se využívají piezoelektrické dynamometry, které pracují na principu změny elektrického náboje vlivem deformace krystalu SiO. Tento způsob měření složek výsledné síly byl také použit při experimentu. Výpočet výsledné síly se provede podle vztahu 1.5 ⁹.

Složky výsledné síly jsou:

- F_p - síla pasivní – působící ve směru osy x,
- F_f - síla posuvová – působící ve směru osy y,
- F_c - síla řezná – působící ve směru osy z.

$$F_e = \sqrt{F_p^2 + F_f^2 + F_c^2} \quad (1.5)$$

Pomocí veličiny, která se nazývá měrný řezný odpor, nebo také měrná řezná síla, je možno vyčíslit řeznou sílu vztahující se na průřez třísky 1 mm^2 . Výpočet podle vztahu 1.6 .

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \quad (1.6)$$

Velikost řezného odporu je určena fyzikálními vlastnostmi materiálu obrobku, zejména tvrdostí a pevností, velikostí průřezu třísky, především tloušťkou, geometrií nástroje a řezným prostředím ⁶.

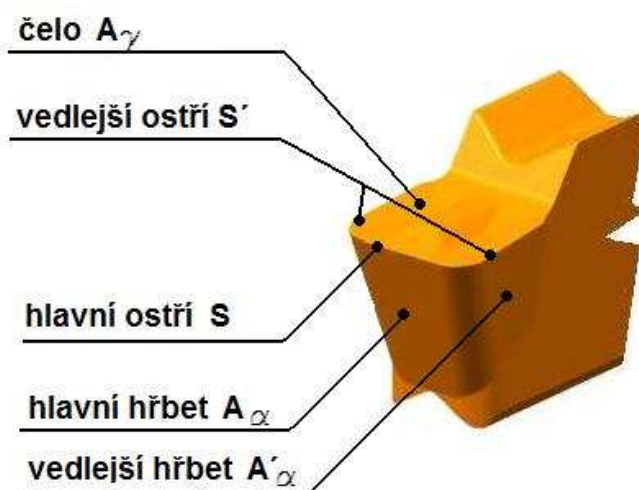
Pro dimenzování výkonu obráběcího stroje je nejdůležitější řezný výkon P_c (vztah 1.7). Ten je vydáván přímo nástrojem ⁴.

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \quad (1.7)$$

2 MODERNÍ TRENDY V KONSTRUKCI ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ PRO ZAPICHOVÁNÍ A UPICHOVÁNÍ

2.1 Geometrie břitu

Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří. Každá plocha povrchu řezné části nástroje se označuje symbolem skládajícím se z písmene A a z indexu řecké abecedy, který určuje druh plochy (obr. 2.1) ⁴.



Obr. 2.1 Základní plochy a ostří na VBD pro zapichování a upichování.

Čelo A_γ je plocha, po které odchází tříska. Část čelní plochy určená na lámání nebo svinování třísky se nazývá utvařeč třísky. Realizuje se vhodným tvarováním čela. Hřbet (A_α , A'_α) je plocha, která při řezném procesu směřuje k ploše obrobku. Hlavní ostří S je prvek řezné části nástroje, kterým se realizuje vlastní proces řezání. Vedlejší ostří S' provádí dokončovací práci na obrobené ploše ^{3, 4}.

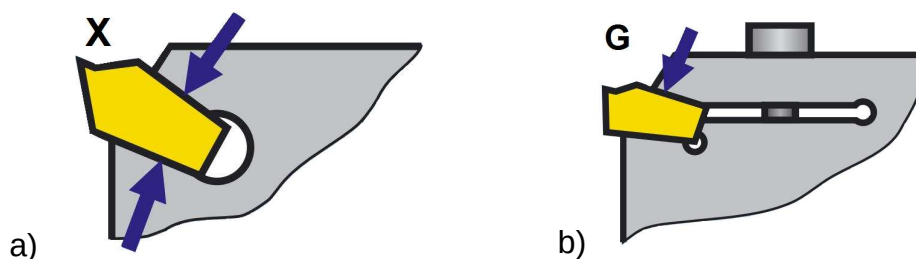
2.2 Nože pro zapichování a upichování

Nože pro zapichování a upichování můžeme podle konstrukce rozdělit na: celistvé, které jsou celé z řezného materiálu, s pájenými břitovými destičkami, kde je břitová destička připájena tvrdou pájkou k tělesu nástroje, nebo vyměnitelnými břitovými destičkami, kde je v držáku nože nebo planžetě mechanicky upnutá vyměnitelná břitová destička ^{1, 4}.

Současným trendem je převážně používání nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou. Tato problematika se neustále vyvíjí a výrobci nabízí velké množství různých typů VBD pro zapichování a upichování.

Při zapichování zůstává materiál po obou stranách břitu, proto jsou zapichovací nože konstruovány úzké. To je způsob jak zabránit velkým ztrátám materiálu odpadem. Rozměry držáku se ale musí zvětšovat s narůstajícím průměrem obrobku ¹.

Pro zapichování a upichování se používají dva systémy upínání. Prvním způsobem je upnutí VBD do samosvorného lůžka (označení - X), druhým způsobem upínání je dotlačování do držáku upínkou (označení - G). Schéma je na obr. 2.2.

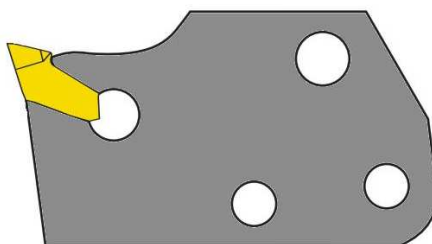


Obr. 2.2 Schéma upínání VBD: a) Systém ISO X – upnutí do samosvorného lůžka, b) Systém ISO G – upínání upínkou ⁵.

Další možností je využít modulární systémy pro zapichování a upichování. Do nožového držáku (obr. 2.3) se upne vyměnitelná planžeta (obr. 2.4), do které je upnuta vhodná VBD.



Obr. 2.3 *Modulární systém pro zapichování a upichování
- nožový držák MS-EN, od firmy Pramet Tools ⁵.*



Obr. 2.4 *Upínací planžeta XLCFN pro upnutí VBD, od firmy Pramet Tools ⁵.*

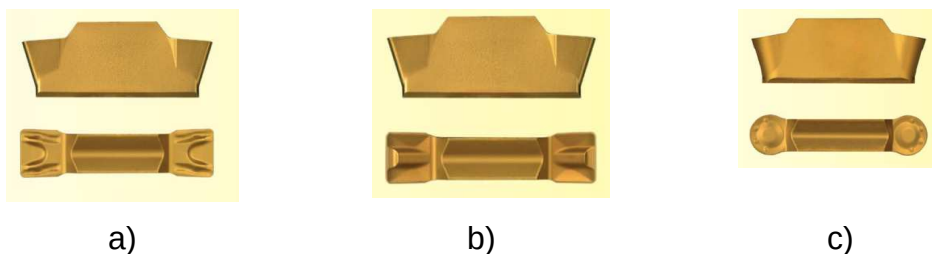
System značení nožů a jejich parametry jsou v příloze 2 a parametry vyměnitelných břitových destiček jsou v příloze 3.

2.3 Utvařec třisky

Aby bylo dosaženo optimálního tvaru třísky, jsou VBD pro obrábění zápichů a upichování většinou opatřeny speciálně tvarovanými utvařeci třísek, které jsou přizpůsobeny jak podmínkám obrábění, tak také vlastnostem materiálu ¹.

Utvařeče třísek jsou navrhovány a konstruovány tak, aby se třísky na nich při procesu obrábění stáčely, čehož se dosahuje vhodně volenými výstupky uspořádanými na čele VBD. Po určitém počtu závinů (spirály) se tříska automaticky odlomí. Průměr spirály utvářených třísek je ovlivňován šířkou VBD a výškou výstupku utvařeče, velikostí posuvu a materiálem obrobku ¹.

Firma Pramet Tools produkuje tři typy utvařečů třísky pro zapichování a upichování (obr. 2.5). Vhodné použití dle výrobce je uvedeno v tabulce 2.1.



Obr. 2.5 Typy utvařečů třísky od firmy Pramet Tools
a) typ F b) typ M c) typ MP ⁷.

Tabulka 2.1 Typy utvařečů třísky a možnosti jejich použití ⁷.

Typ utvařeče	Způsob použití
F	Pro hluboké zapichování.
M	Pro mělké zapichování.
MP	Pro střední zapichování.

3 MODERNÍ ŘEZNÉ MATERIÁLY

Mezi moderní řezné materiály se řadí: rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, syntetický diamant a kubický nitrid boru.

Pro zapichování a upichování jsou používány především slinuté karbidy, zejména povlakované či funkčně gradientní slinuté karbidy.

SK jsou vyráběny technologií, která se nazývá prášková metalurgie. Základní směs, která je připravována mletím v kulových bubnech je smíchána s pojícím kovem, lisována a slinována v ochranné atmosféře. Základní směs je složena z karbidu wolframu, dále pojiva, kterým je kobalt, a dalších látek (jako jsou např. karbid titanu, karbid tantalu, atd.)^{3,8}.

Funkčně gradientní SK mají odlišnou strukturu, která se postupně mění od povrchu k jádru. Při výrobě řezných nástrojů jsou využívány k výrobě podkladových SK pro povlakované VBD. Řízením procesu slinování lze dosáhnout toho, že povrchová vrstva, která má tloušťku několik desítek μm , obsahuje menší podíl tvrdých zrn kubických karbidů a více kovového pojiva. Směrem do jádra kubických karbidů ve struktuře postupně přibývá. Takový materiál má poté tvrdé jádro a houževnatý povrch, který brání šíření trhlin. Gradientním slinováním lze vytvářet i substráty, které mají různou mikrostrukturu na čele a různou na hřbetě. Tuto strukturu mohou mít i povlaky⁸.

Z důvodu snížení tření, se nástroje povlakuje. Dalším příznivým aspektem povlakování nástrojů je zabránění ulpívání třísek na čele nástroje a tím vzniku nárůstu. Dále snižují tok tepla nástrojem a díky tomu také vzrůstá životnost nástroje.

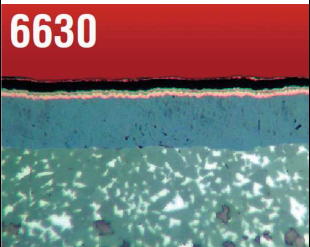
Povlak je tenká vrstva s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Jelikož materiál povlaku neobsahuje žádné pojivo, má tak oproti základnímu materiálu i o několik řádů nižší zrnitost. Důležitou roli hraje také menší výskyt strukturních defektů, jakými jsou póry a dutiny.

Povlak brání difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Díky všem těmto vlastnostem povlaků získáváme nástroje vhodné pro vysoké řezné a posuvové rychlosti, a velký úběr třísky ^{6,8}.

Povlaky jsou na karbidickém podkladu vytvářeny metodami PVD - fyzikální napařování nebo CVD - chemické napařování z plynné fáze, či některou z moderních metod z nich odvozených, jako např. MTCVD - chemické napařování za nižších teplot. Povlaky se vyrábějí jako jednovrstvé či vícevrstvé. Na VBD pro zapichování a upichování se používá převážně technologie PVD ⁸.

Firma Pramet Tools uvádí v katalogu jako nejvhodnější řezný materiál pro výrobu zápichů typ 6630 a 8030. Jejich vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tabulka 3.1 *Řezné materiály pro zapichování a upichování* ⁷.

Materiál 6630 	- univerzální materiál pro skupiny materiálů P, M, K, - střední a vyšší řezné rychlosti, - plynulý i přerušovaný řez, - funkční gradientní substrát, - nižší až střední rychlosti, - střední povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metodou MTCVD, - dokončovací až hrubovací soustružení.
Materiál 8030 	- střední řezné rychlosti, horší pracovní podmínky, - vysoká otěruvzdornost a houževnatost, - submikronový substrát typu H, podkladový materiál složený z WC s vysokým obsahem Co, - nanostrukturální povlak nanesený metodou PVD, - horší záběrové podmínky.

4 APLIKACE ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ PRAMET TOOLS, S.R.O., ŠUMPERK VE VÝROBNÍ PRAXI

Byly provedeny dva experimenty.

Cílem prvního experimentu bylo zjistit a porovnat velikost působících sil při zapichování za použití různých typů utvařečů třísky a poté vyhodnotit maximální řezný výkon a měrný řezný odpor.

Druhý experiment poskytuje informace o vlivu typu utvařeče na tvorbu třísky.

Testovány byly dva utvařeče za stejných vstupních podmínek. V testech byly použity řezné nástroje od firmy Pramet Tools, s. r. o.

4.1 Experiment 1 – měření složek celkové síly při výrobě zápichů za použití různých typů utvařečů třísky

4.1.1 Příprava měření

Před zahájením měření byly stanoveny výchozí řezné podmínky, které jsou uvedeny v tabulce 4.1.

V tabulce 4.2 jsou uvedeny otáčky vřetene, které bylo třeba nastavit pro dosažení požadované řezné rychlosti. Výpočet otáček byl proveden podle upraveného vztahu (4.1), který byl odvozen ze vztahu 1.1.

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (4.1)$$

Tabulka 4.1 Řezné podmínky

Šířka zápichu a_p [mm]:	3,1± 0,05
Posuv f [mm]:	0,10; 0,15; 0,20; 0,25
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]:	15; 20; 25; 30; 35
Vzdálenost jednotlivých drážek [mm]:	1
Průměr obráběného materiálu d [mm]:	38

Tabulka 4.2 Vypočtené otáčky vřetene

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	15	20	25	30	35
Otáčky vřetene n [min ⁻¹]	125	167	209	251	293

Porovnávány budou jednotlivé složky celkové síly při zapichování při použití dvou typů utvařečů třísky. Jsou to složky sil působící při použití utvařeče F a složky sil působící při použití utvařeče M, obojí za stejných vstupních řezných podmínek. Síly vzniklé při použití utvařeče F budou v experimentu označovány indexem F, tedy F^F a síly vzniklé při použití utvařeče M budou v experimentu označovány indexem M, tedy F^M .

4.1.2 Vstupní podmínky

Měření probíhalo v dílnách FSI VUT v Brně, na ústavu strojírenské technologie, odboru technologie obrábění. Obráběným materiálem byl zkušební vzorek z oceli 15 260.7, $d = 38$ mm (tab. 4.3). Experiment probíhal na hrotovém soustruhu SU50A – SP (obr. 4.1), technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 1.

Jako řezný nástroj byl použit soustružnický modulární zapichovací nůž MS-EN 2020 K s upínací planžetou XLCFN 250215 - 3.00 (obr. 4.2). Rozměry a ostatní parametry jsou uvedeny v přílohách 2 a 3.

Do planžety byla přes pružný element upnuta vyměnitelná břitová destička LFMX 3,10 – 0,20SN – SF s utvařečem třísky F. Byl proveden experiment a poté byla destička vyměněna za vyměnitelnou břitovou destičku LFMX 3,10 – 0,20SN – SM s utvařečem M (obr. 4.3, příloha 3). Materiálem VBD je SK, typ označení podle výrobce je 8030. Chlazení probíhalo procesní kapalinou ECOCOOL 68 CF 2, 5% roztokem. Vše je uvedeno v tabulce 4.3

Tabulka 4.3 Strojní vybavení

Obráběcí stroj:	Hrotový soustruh SU50A – SP
Měřicí přístroj:	Piezoelektrický dynamometr Kistler 9257 B
Software:	DynoWare 2825A – 02, verze 2.4.1.5
Procesní kapalina:	ECOCOOL 68 CF 2, firma Fuchs Oil Corporatrion (CZ), spol. s r. o.
Zkušební vzorek:	Ocel 15 260.7 tepelně zpracovaná na střední mez pevnosti v tahu $R_m = 885 - 1030$ MPa, tyč tažená za studena, $d = 38$ mm, $l = 380$ mm
Nástroj:	Modulární soustružnický nůž, firma Pramet Tools, Nožový držák MS-EN 2020 K, Upínací planžeta pro VBD XLCFN 250215 - 3.00
VBD:	LFMX 3,10 – 0,20SN – SF; 8030 LFMX 3,10 – 0,20SN – SM; 8030
Materiál VBD:	8030
Utvařeč:	typ F typ M



Obr. 4.1 Hrotový soustruh SU50A – SP, firma TOS Kuřim.



Obr. 4.2 Modulární zapichovací nůž MS-EN 2020 K s upínací planžetou XLCFN 250215 - 3.00 a VBD LFMX 3,10 – 0,20SN – SM od firmy Pramet Tools, použitý v experimentu.



a) typ F



b) typ M

Obr. 4.3 VBD s utvářeči třísky, které byly použity v experimentu:

a) LFMX 3,10 – 0,20SN – SF, b) LFMX 3,10 – 0,20SN – SM.

Měřicí aparatura obsahovala piezoelektrický dynamometr Kistler, typ 9257B, který byl upevněn na soustruhu, tak, že měřicí přístroj byl umístěn mezi nožovou hlavou a podélným suportem, dále 8-kanálový měřicí zesilovač 5070A11000, notebook, software DynoWare 2825A – 02, verze 2.4.1.5, propojovací kabel, rozdělovací box s konektory (obr. 4.4).

Dynamometr 9257B měří silové zatížení v osách x, y, z. Software DynoWare, 2825A – 02 vyhodnocuje silové zatížení při zapichování v podobě souboru číselných hodnot a grafů. Při experimentu bylo silové zatížení měřeno po dobu 20 s pro každou kombinaci parametrů, tedy posuvu, řezné rychlosti a typu utvařeče.



Obr. 4.4 Notebook se softwarem DynoWare 2825A – 02, 8 – kanálový zesilovač 5070A11000, upnutý zkušební vzorek a piezoelektrický dynamometr Kistler s upnutým zapichovacím nožem.

4.1.3 Průběh měření

Nejprve byla do upínací planžety upnuta VBD s utvařečem typu F. Upínací planžeta byla upnuta do modulárního zapichovacího nože, a ten byl upnut do měřicího přístroje Kistler. Na soustruhu byly nastaveny otáčky podle tabulky 4.2 na hodnotu 125 min^{-1} , stroj byl spuštěn a řezný nástroj byl posuvem uveden do záběru, hodnota posuvu byla $f = 0,10 \text{ mm}$. Byl spuštěn start programu DynoWare a po dobu 20 s bylo na dynamometru měřeno silové zatížení.

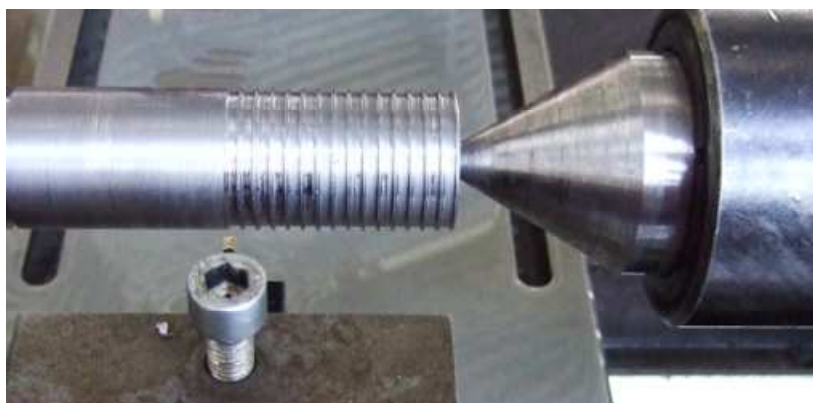
Po ukončení daného měření, byl stroj zastaven a software DynoWare v průběhu 10 s vyhodnotil velikost složek celkové síly ve třech osách. Provedl tedy vyhodnocení řezné, posuvové a pasivní síly.

Naměřené hodnoty byly uloženy, a stejným způsobem proběhlo další měření. Vzdálenost mezi jednotlivými zápichy byla 1 mm. Stejným způsobem se postupovalo i u testu VBD s utvařečem typu M (obr. 4.5 – 4.8).

Během 20 s silového zatížení software DynoWare zachytil 12 001 hodnot pro každou ze složek celkové síly. Průběhy složek celkové síly v závislosti na čase jsou na obr. 4.9 – 4.28. Z dat byla vždy vybrána oblast hlavního silového zatížení (v grafech je označena jako „průběh odebírání třísky“ nebo „p. o. t.“). Je to oblast bez náběhu a přeběhu. Tato oblast dat byla převedena do Excelu, statisticky zpracována a vložena do tabulek (tab. 4.4 – 4.8). Z těchto tabulek byly zpracovány pro přehlednost grafy středních hodnot složek celkové síly. Na základě těchto údajů bylo možné vypočítat měrné řezné síly a maximální řezný výkon při zapichování za daných řezných podmínek.



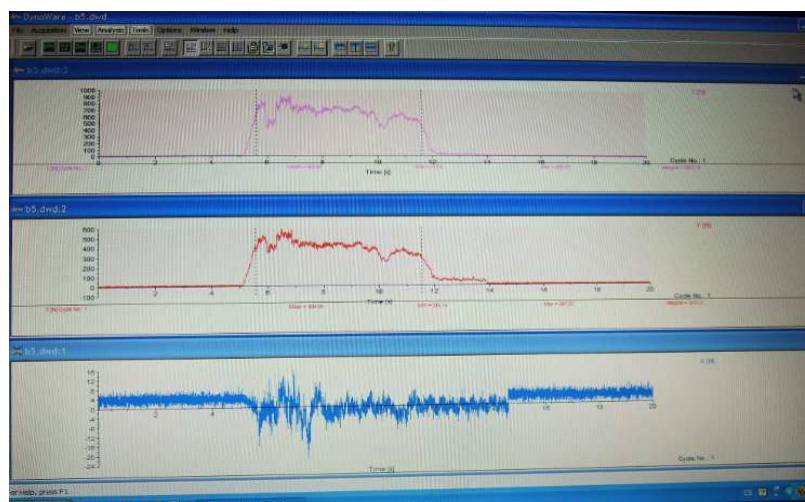
Obr. 4.5 Zkušební vzorek upnutý ve sklíčidle, podepřený hrotem koníku, před zahájením experimentu.



Obr. 4.6 Průběh experimentu – vyrobené zápichy na zkušební vzorku.



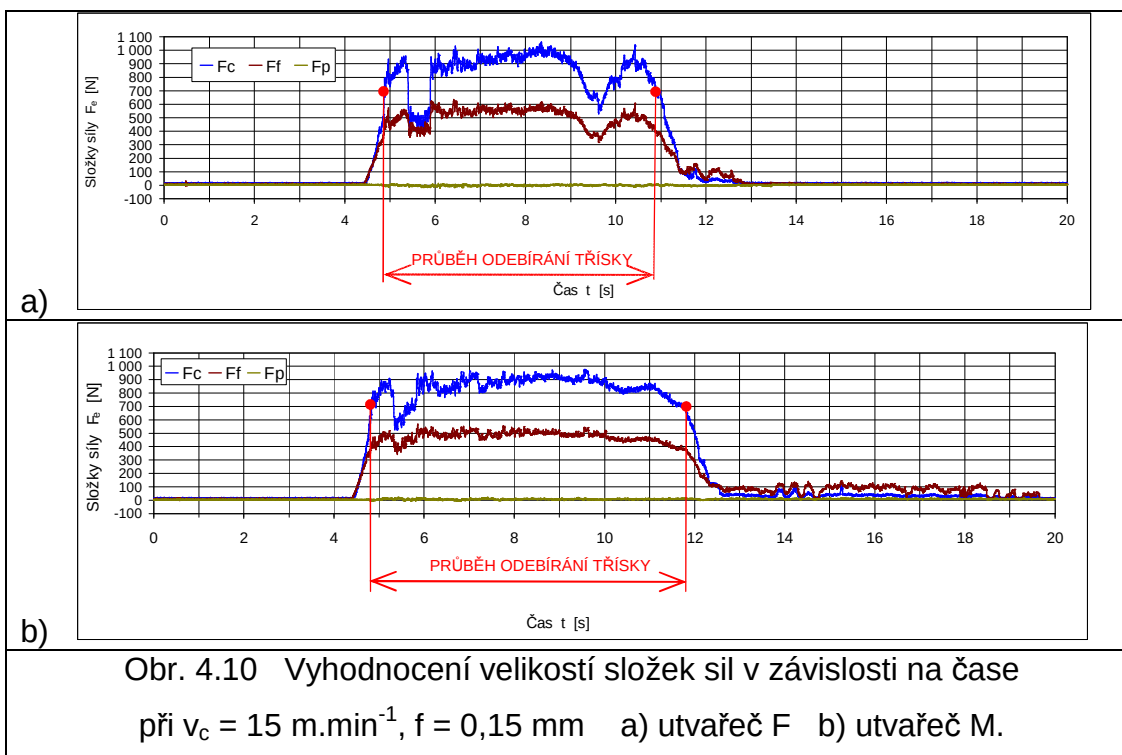
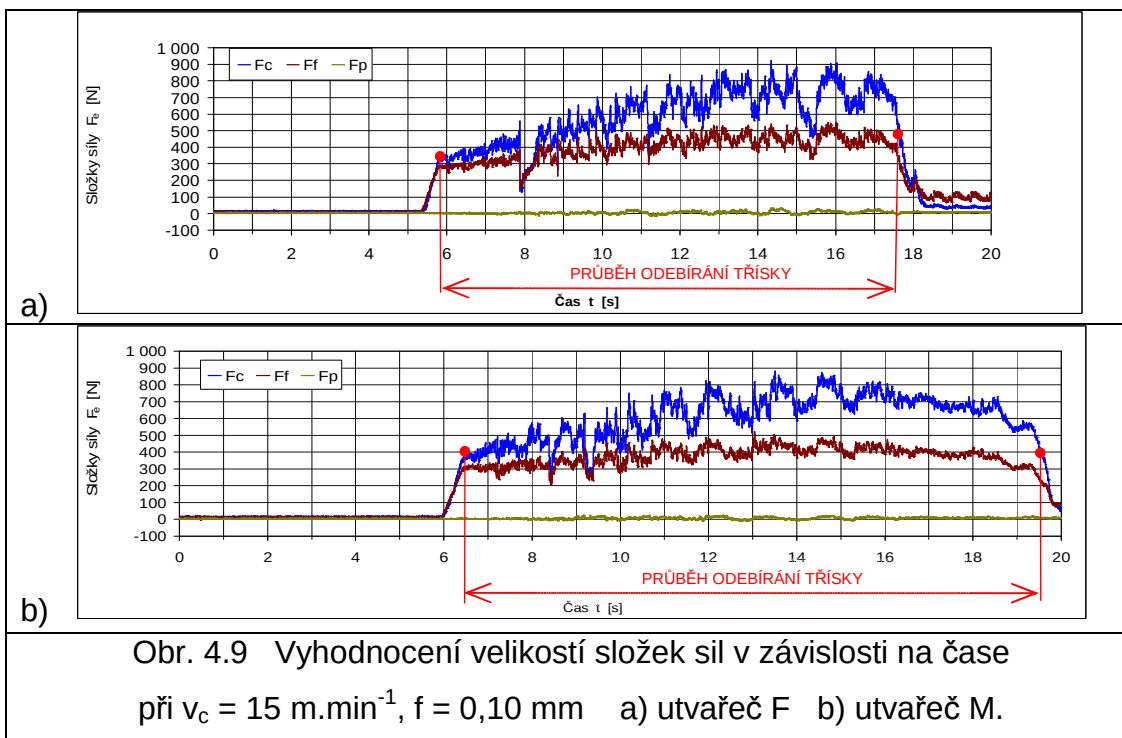
Obr. 4.7 Dynamometr Kistler s nožovým držákem a upínací planžetou při výměně VBD.



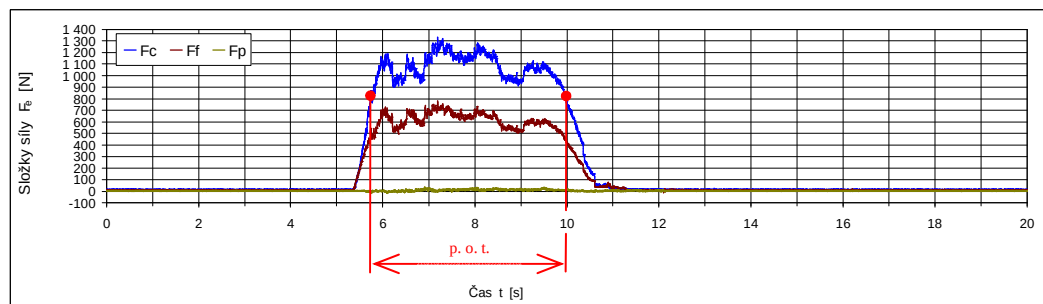
Obr. 4.8 Vyhodnocení řezných sil pomocí softwaru DynoWare.

4.1.4 Dosažené výsledky

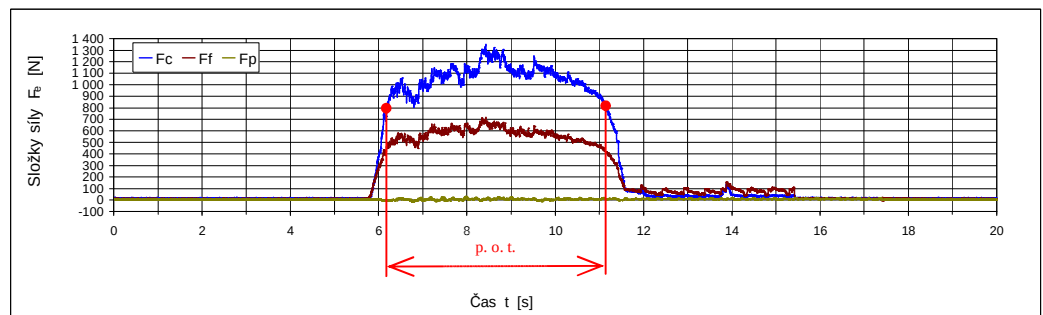
Grafy závislostí složek síly na čase při zapichování při použití různých typů utvařečů jsou na obr. 4.9 – 4.28.



a)

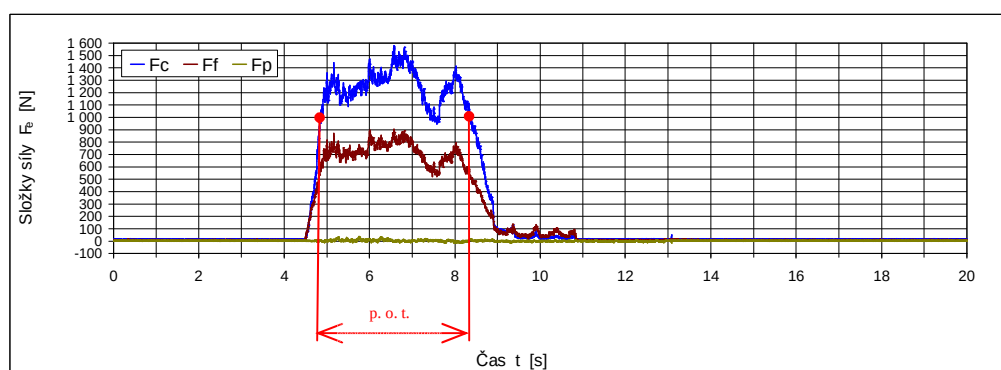


b)

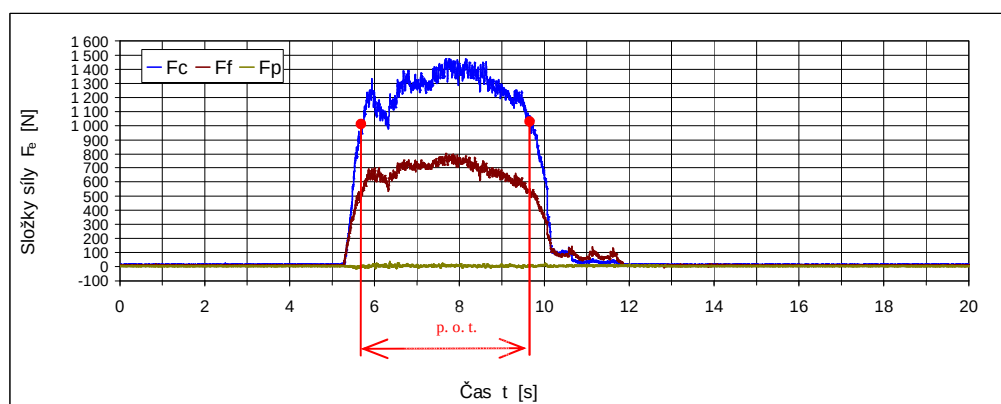


Obr. 4.11 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,20 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.

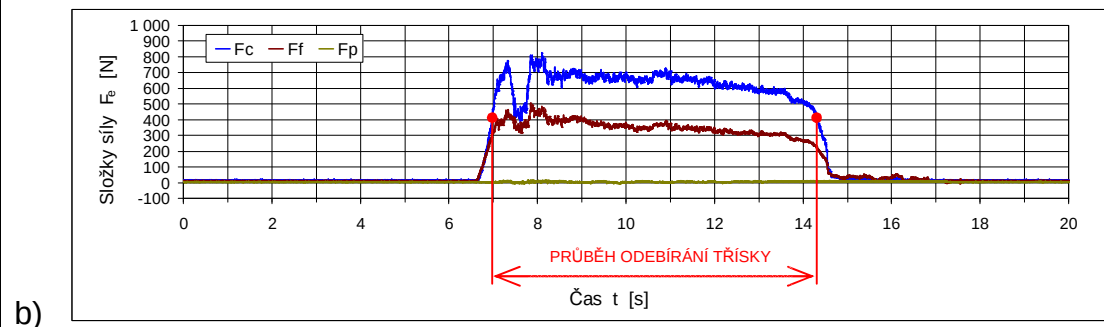
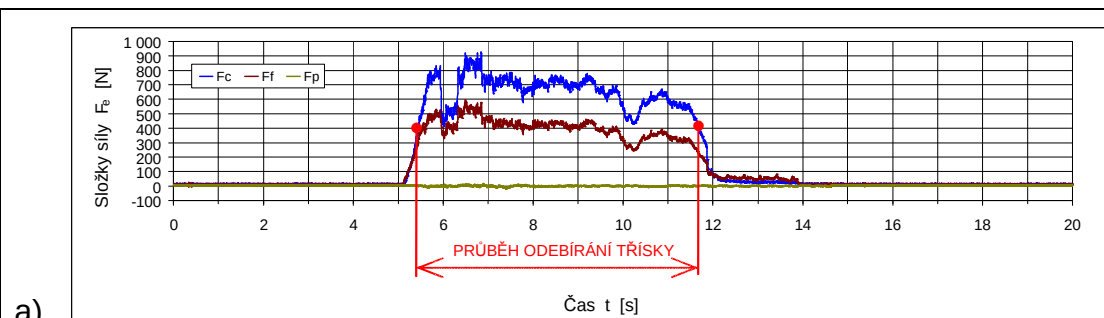
a)



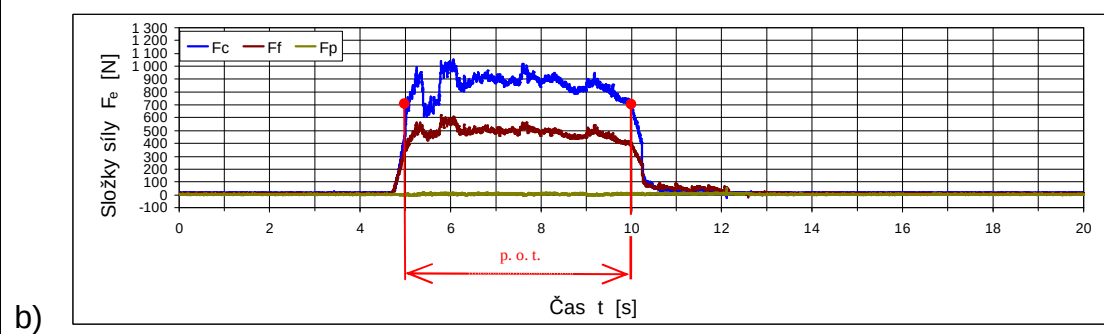
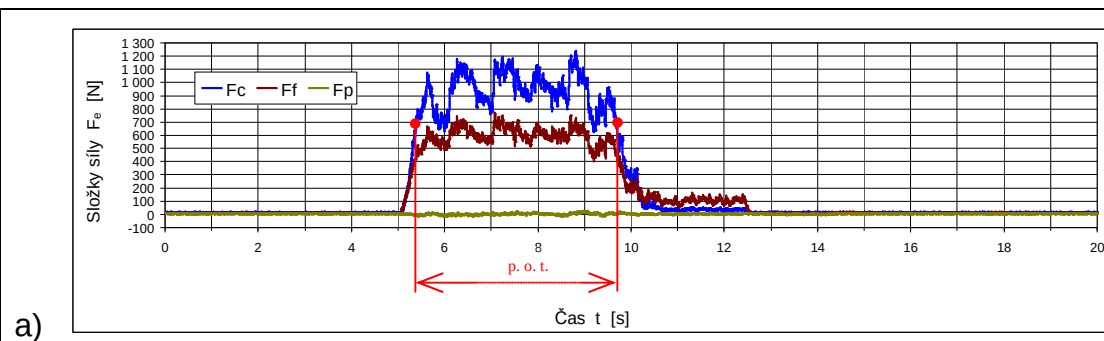
b)



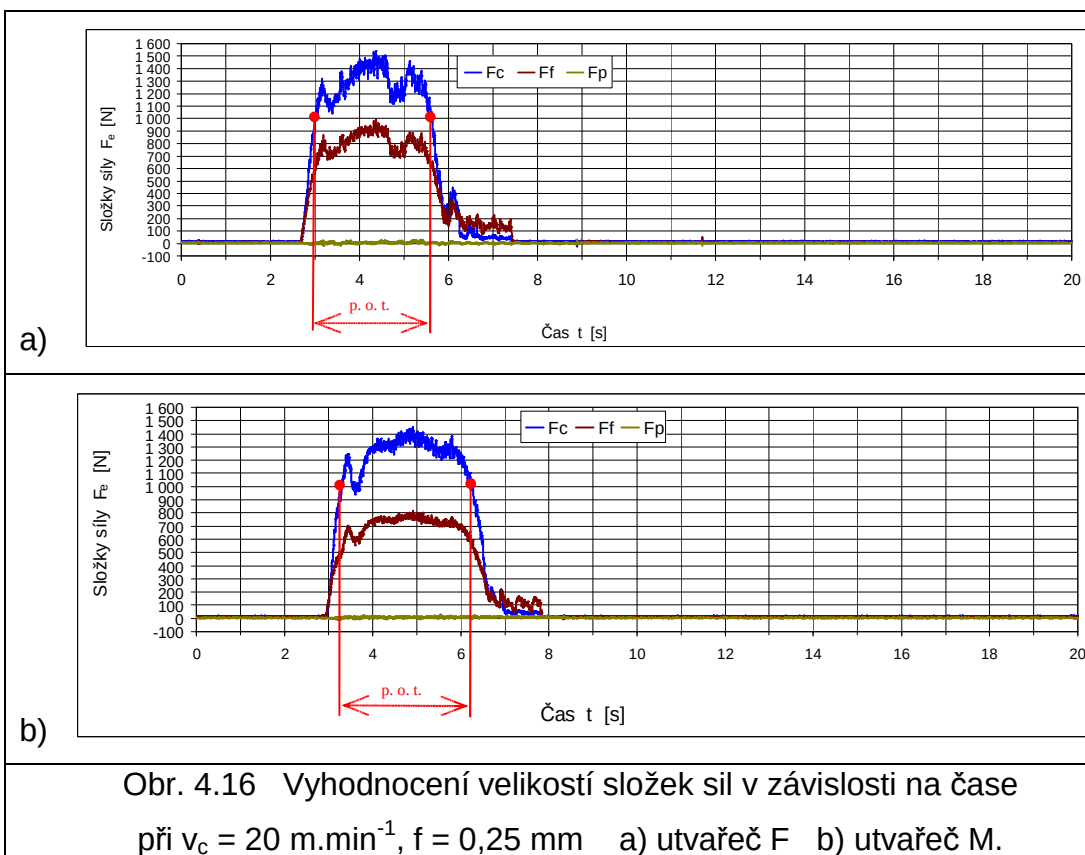
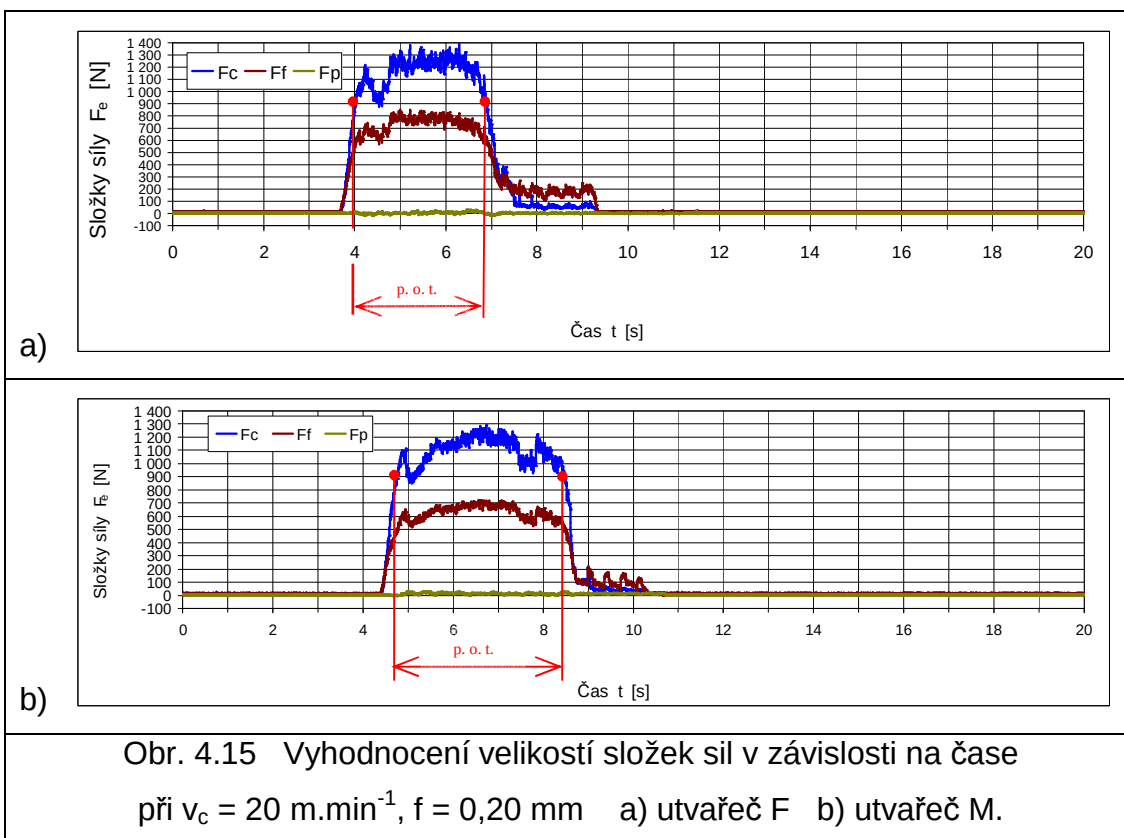
Obr. 4.12 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.

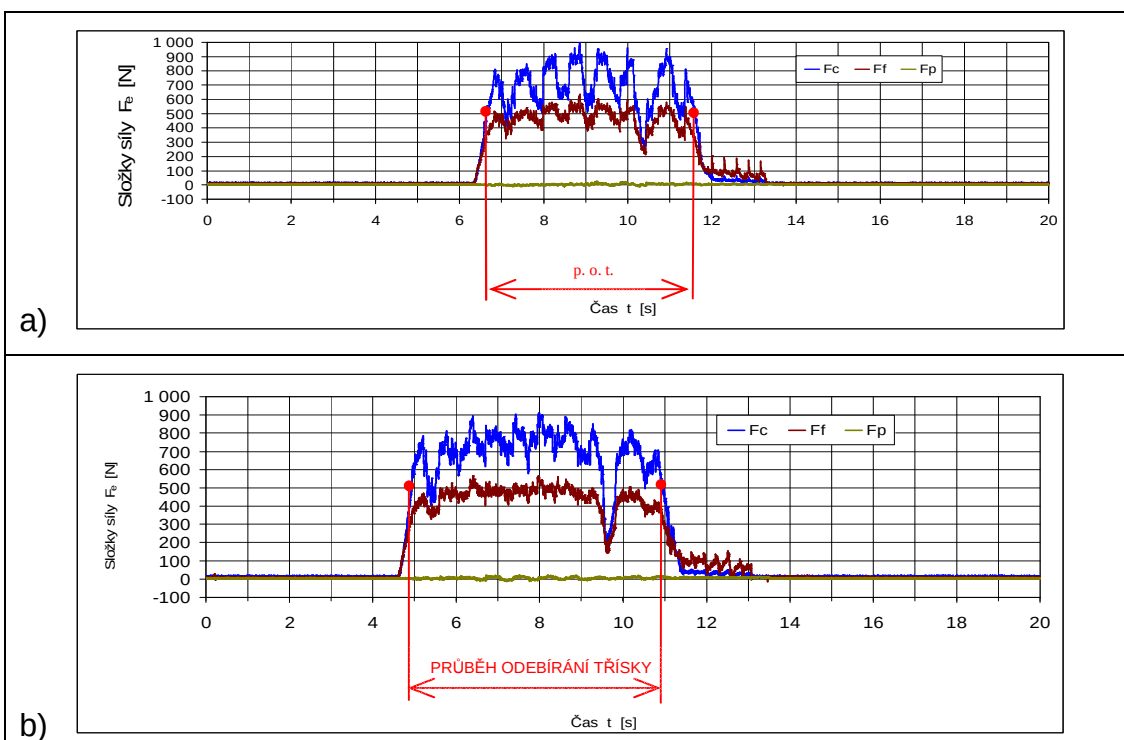


Obr. 4.13 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.

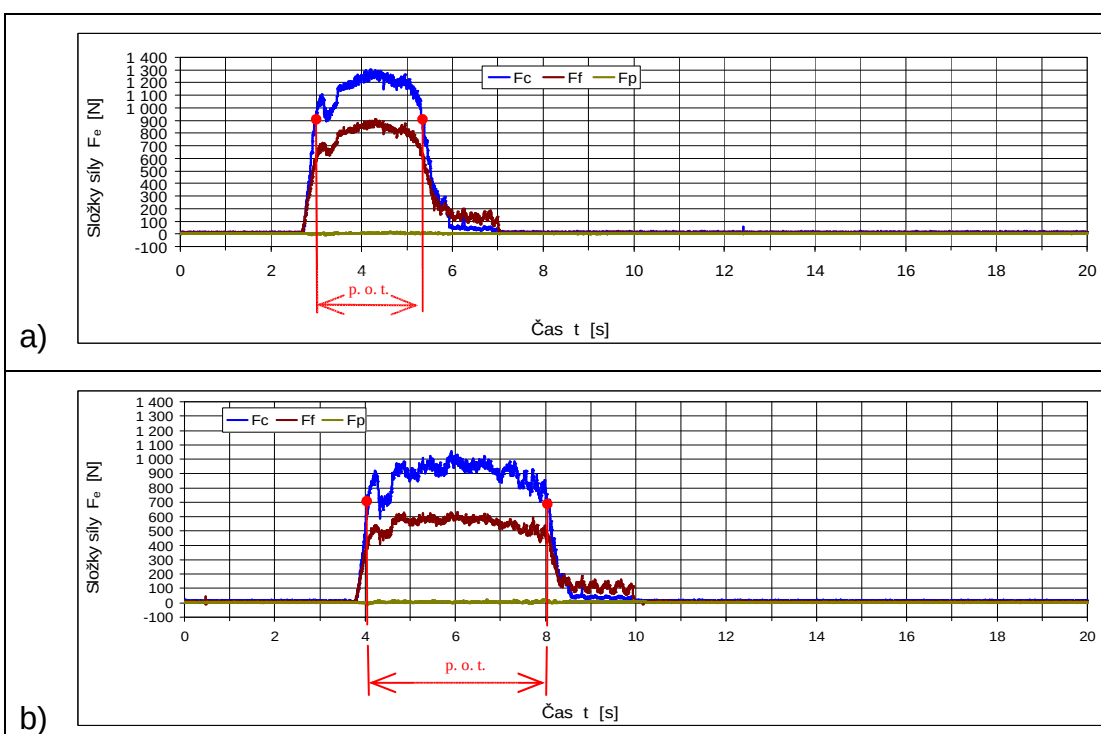


Obr. 4.14 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,15 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.

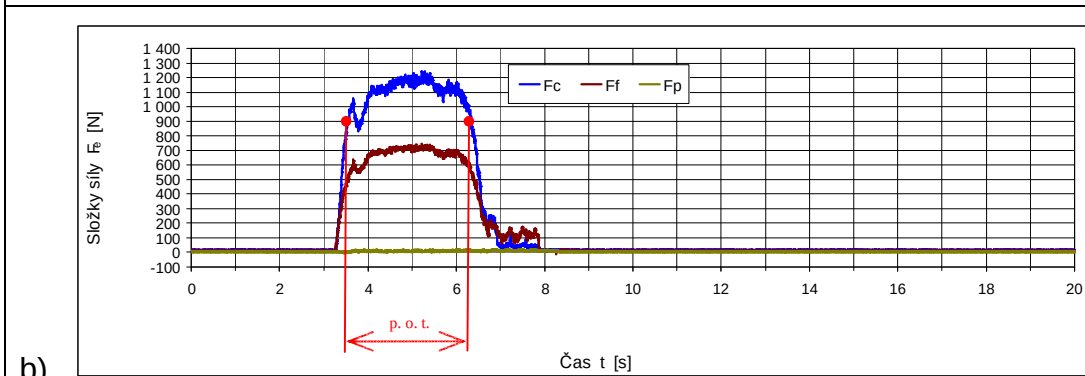
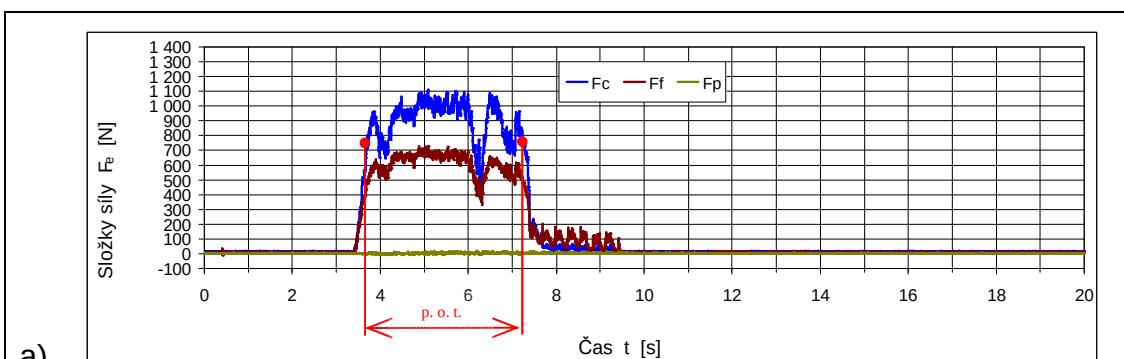




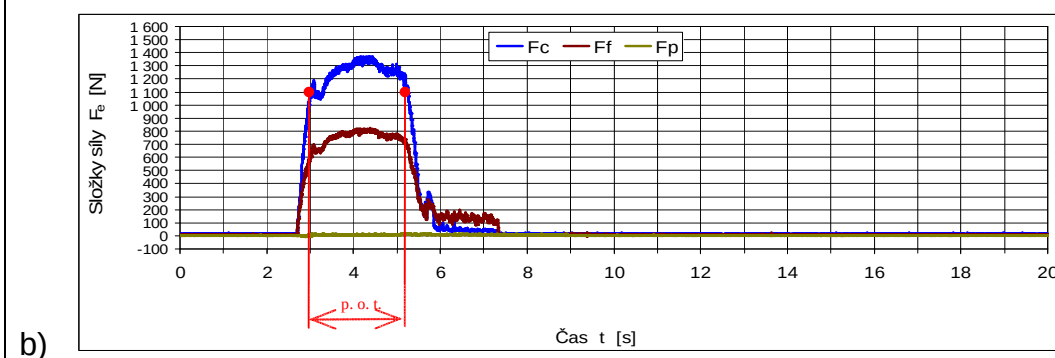
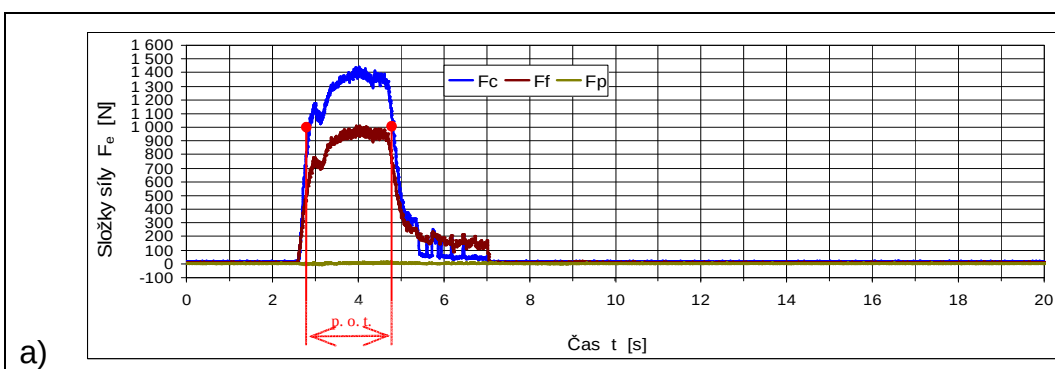
Obr. 4.17 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.



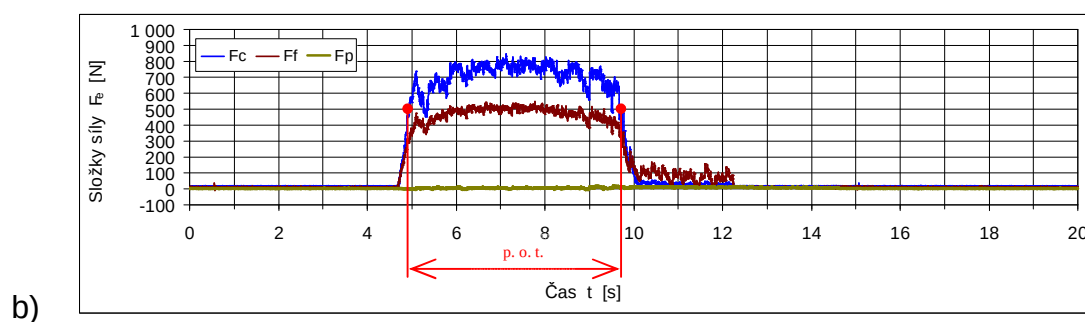
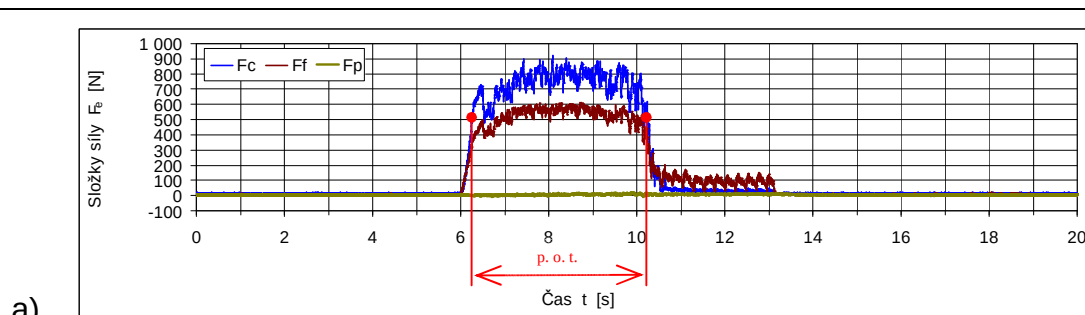
Obr. 4.18 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,15 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.



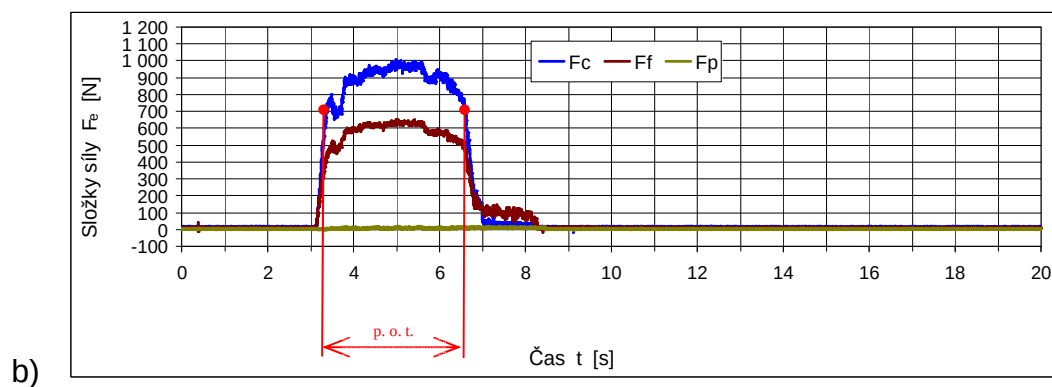
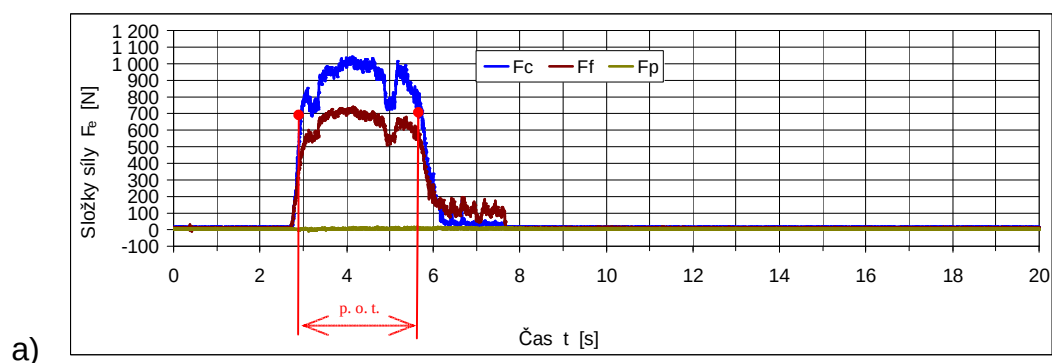
Obr. 4.19 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,20 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.



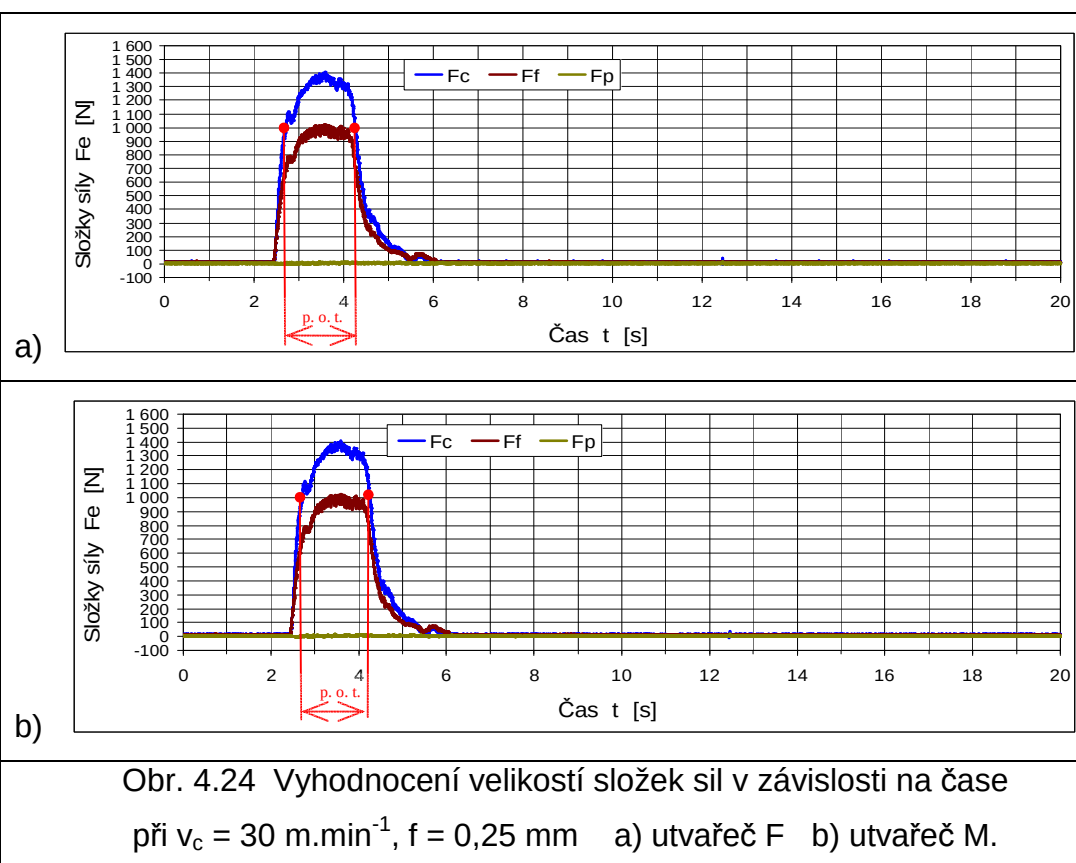
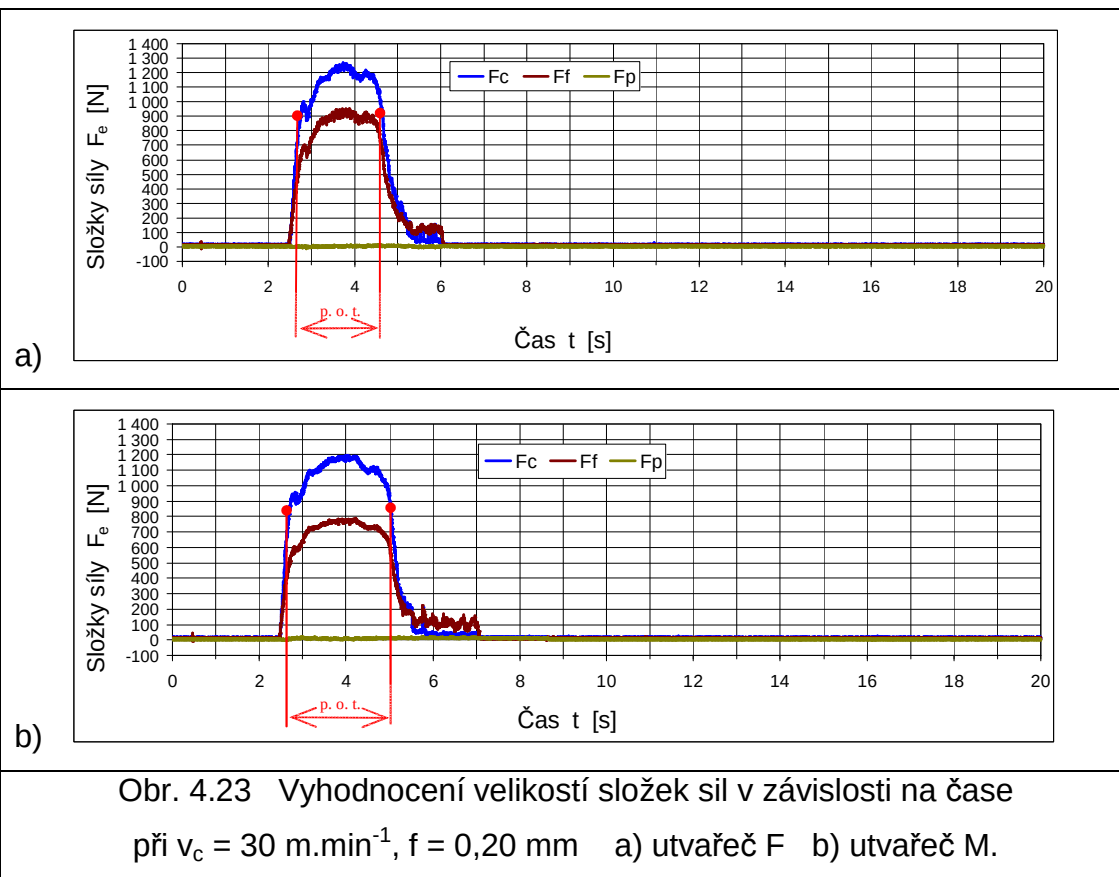
Obr. 4.20 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.

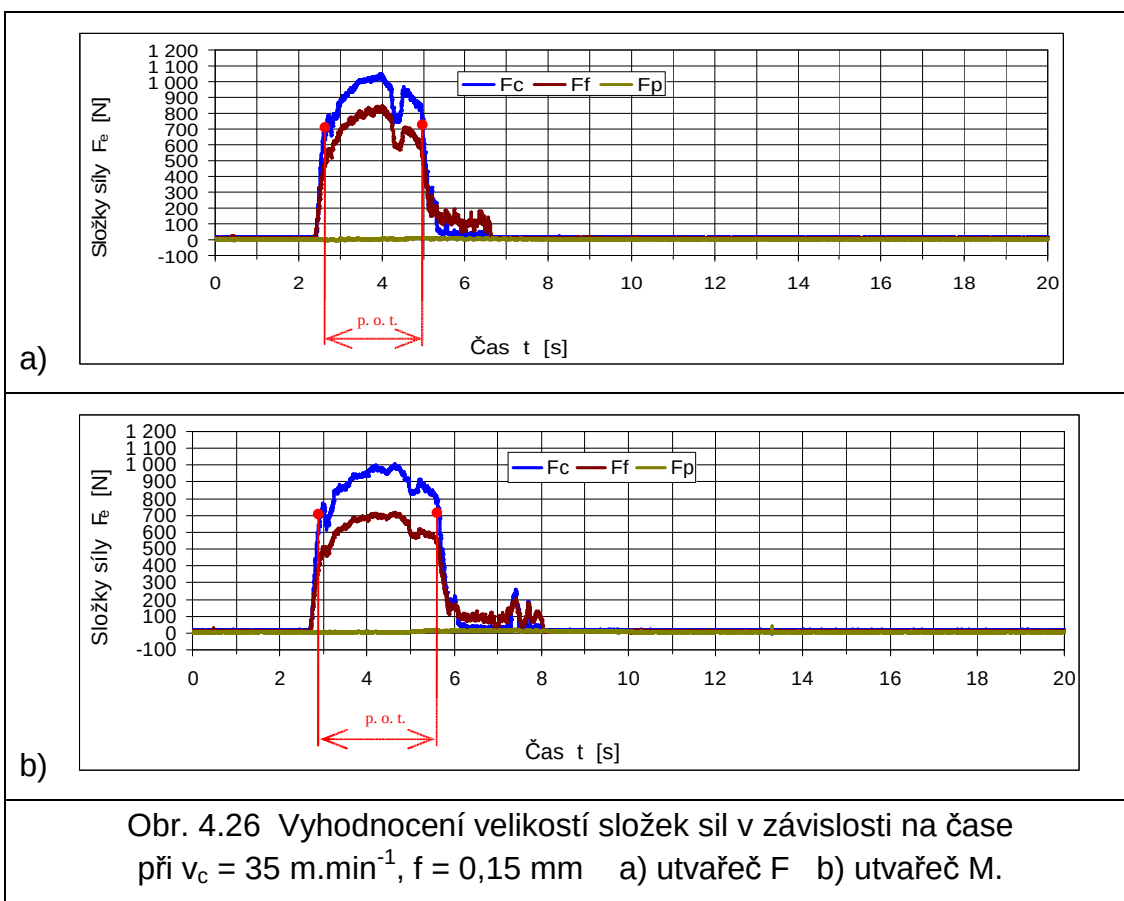
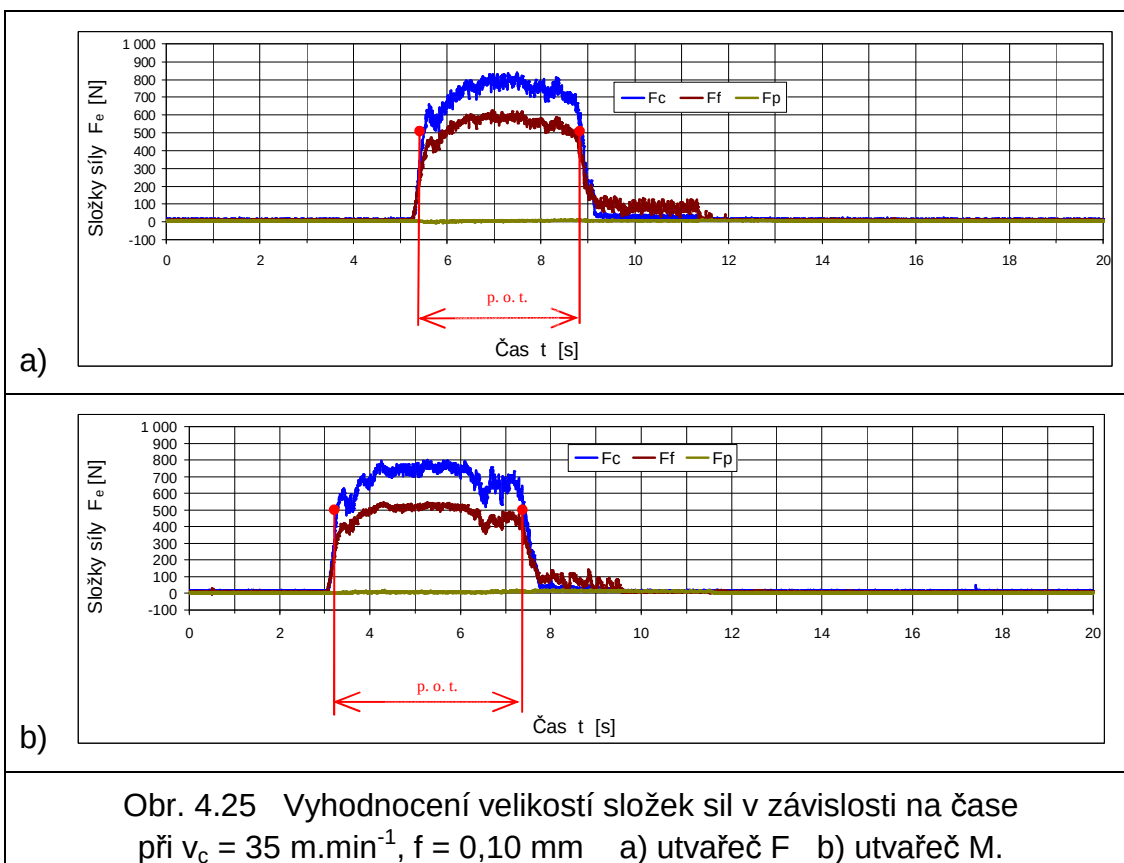


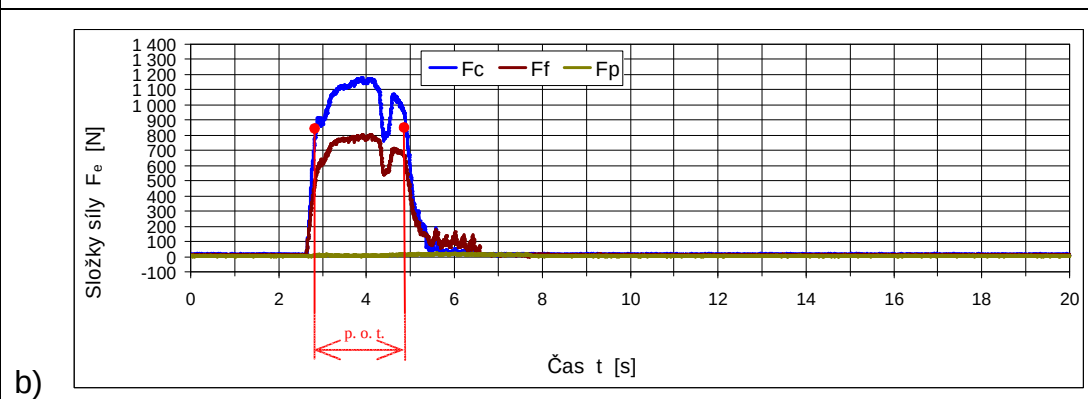
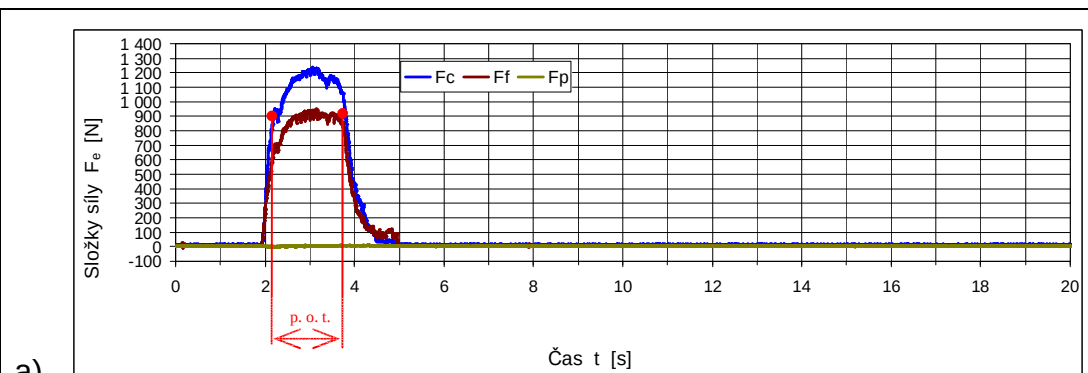
Obr. 4.21 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.



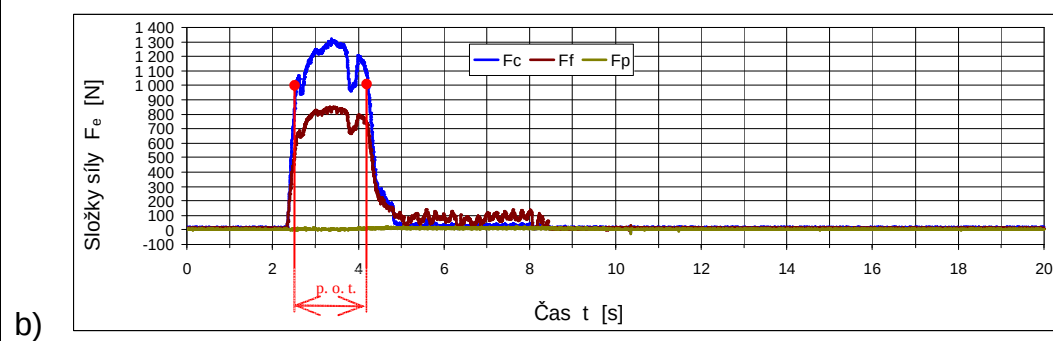
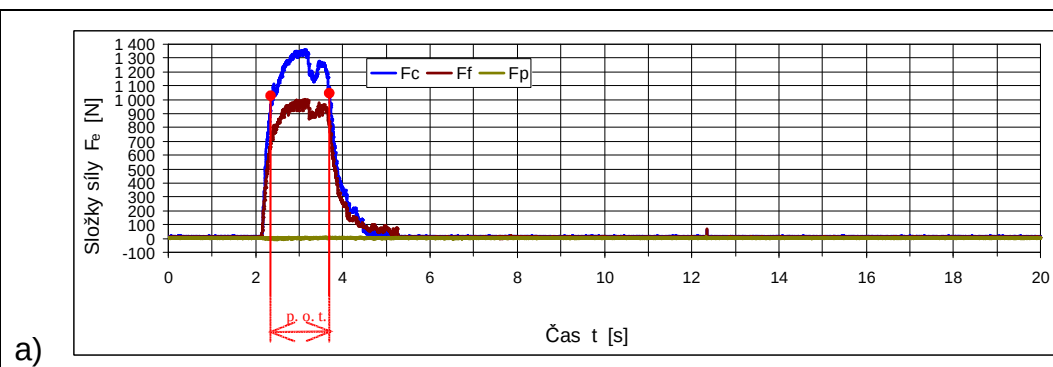
Obr. 4.22 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase
při $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,15 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.







Obr. 4.27 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase při $v_c = 35 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,20 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.



Obr. 4.28 Vyhodnocení velikostí složek sil v závislosti na čase při $v_c = 35 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ a) utvařeč F b) utvařeč M.

Vyhodnocení statistických dat pro jednotlivé složky síly, působící při zapichování při použití utvařeče F a M, za daných řezných podmínek je uvedeno v tab. 4.4 – 4.8. Z grafů byla vybrána pouze data, která byla naměřena při vlastním procesu zapichování, tedy bez náběhu a přeběhu. Mezi nejdůležitější hodnoty patří střední hodnota, maximum a minimum.

Tabulka 4.4 *Statistické hodnoty složek celkové síly při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$.*

		Síla F_p při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$						
$Posuv$ $f [\text{mm}]$		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	$F_p^F [\text{N}]$	5,83	0,10	3,81	2,29	8,41	-18,92	34,18
	$F_p^M [\text{N}]$	6,87	0,07	7,02	5,34	6,41	-12,97	24,26
0,15	$F_p^F [\text{N}]$	-1,28	0,08	-1,07	-0,15	4,74	-20,14	13,12
	$F_p^M [\text{N}]$	6,90	0,06	7,02	7,48	4,07	-7,63	20,75
0,20	$F_p^F [\text{N}]$	10,35	0,16	11,14	9,61	7,86	-19,84	35,40
	$F_p^M [\text{N}]$	5,80	0,14	5,80	8,85	7,43	-20,60	30,52
0,25	$F_p^F [\text{N}]$	4,75	0,19	3,97	3,81	8,67	-15,72	36,01
	$F_p^M [\text{N}]$	5,67	0,12	5,34	6,26	6,10	-13,58	36,16

		Síla F_f při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$						
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	$F_f^F [\text{N}]$	398,44	0,86	410,46	438,23	71,83	153,20	549,93
	$F_f^M [\text{N}]$	378,35	0,59	384,06	391,54	51,78	204,47	521,24
0,15	$F_f^F [\text{N}]$	506,41	1,11	526,89	562,59	66,93	316,47	633,09
	$F_f^M [\text{N}]$	474,38	0,60	481,26	494,54	38,83	341,49	567,32
0,20	$F_f^F [\text{N}]$	614,73	1,33	616,84	578,00	66,65	415,50	780,03
	$F_f^M [\text{N}]$	567,84	1,08	573,65	580,75	59,11	402,07	718,08
0,25	$F_f^F [\text{N}]$	715,72	1,82	720,83	776,22	83,04	502,17	905,00
	$F_f^M [\text{N}]$	676,51	1,32	690,31	652,62	65,18	491,49	803,07

		Síla F_c při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$						
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	$F_c^F [\text{N}]$	592,17	1,95	618,29	690,61	163,08	130,31	922,85
	$F_c^M [\text{N}]$	612,91	1,48	646,36	678,41	129,16	256,96	883,18
0,15	$F_c^F [\text{N}]$	845,17	2,36	891,42	919,19	142,58	403,75	1 060,79
	$F_c^M [\text{N}]$	844,16	1,26	859,99	923,77	81,33	523,68	975,34
0,20	$F_c^F [\text{N}]$	1 079,29	2,14	1 078,80	1 065,98	107,18	757,45	1 330,26
	$F_c^M [\text{N}]$	1 063,99	2,05	1 073,30	1 116,33	111,95	763,86	1 350,10
0,25	$F_c^F [\text{N}]$	1 255,03	2,88	1 257,02	1 313,78	131,34	943,91	1 577,45
	$F_c^M [\text{N}]$	1 263,23	2,38	1 278,99	1 263,43	117,37	948,49	1 475,52

Tabulka 4.5 *Statistické hodnoty složek celkové síly při $v_c = 20 \text{ m.min}^{-1}$.*

	Síla F_p při $v_c = 20 \text{ m.min}^{-1}$							
<i>Posuv f [mm]</i>		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	F_p^F [N]	-0,95	0,06	-0,92	1,07	3,97	-22,28	15,41
	F_p^M [N]	4,98	0,05	5,04	4,73	3,43	-8,70	17,55
0,15	F_p^F [N]	2,37	0,15	2,44	3,81	7,54	-17,40	28,84
	F_p^M [N]	6,24	0,08	6,56	6,56	4,32	-9,46	20,14
0,20	F_p^F [N]	4,52	0,20	3,97	3,51	8,47	-19,53	34,03
	F_p^M [N]	13,01	0,13	12,97	14,50	6,36	-5,49	32,81
0,25	F_p^F [N]	6,82	0,18	6,10	4,58	7,25	-17,55	30,98
	F_p^M [N]	8,58	0,12	8,85	9,61	4,95	-8,39	30,52

	Síla F_f při $v_c = 20 \text{ m.min}^{-1}$							
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	F_f^F [N]	400,00	1,13	408,94	403,44	69,28	215,00	597,23
	F_f^M [N]	350,16	0,71	349,58	348,66	47,23	203,55	505,83
0,15	F_f^F [N]	595,52	1,26	597,38	558,93	64,19	404,05	769,20
	F_f^M [N]	486,58	0,74	488,89	496,98	40,50	343,02	619,66
0,20	F_f^F [N]	729,03	1,56	744,78	776,52	64,69	563,97	851,75
	F_f^M [N]	630,04	1,11	640,41	617,52	52,50	485,84	722,20
0,25	F_f^F [N]	803,35	2,09	805,44	857,70	82,86	591,74	995,18
	F_f^M [N]	710,28	1,46	730,74	742,95	61,67	504,61	815,74

	Síla F_c při $v_c = 20 \text{ m.min}^{-1}$							
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	F_c^F [N]	653,38	1,74	675,51	730,90	106,71	379,94	926,82
	F_c^M [N]	629,32	1,13	648,80	650,94	75,10	379,33	825,20
0,15	F_c^F [N]	934,51	2,67	939,64	1 066,59	135,60	624,08	1 238,10
	F_c^M [N]	858,02	1,56	873,41	881,35	84,80	460,51	1 050,11
0,20	F_c^F [N]	1 166,03	2,76	1 200,56	1 242,98	114,70	876,47	1 391,91
	F_c^M [N]	1 097,05	2,11	1 118,01	1 137,08	99,48	848,08	1 290,28
0,25	F_c^F [N]	1 279,75	3,11	1 276,55	1 149,90	123,44	951,84	1 541,75
	F_c^M [N]	1 251,25	2,79	1 283,87	1 344,60	118,07	906,07	1 452,03

Tabulka 4.6 *Statistické hodnoty složek celkové síly při $v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$.*

	Síla F_p při $v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$							
<i>Posuv f [mm]</i>		<i>Sřední hodnota</i>	<i>Chyba střední hodnoty</i>	<i>Medián</i>	<i>Modus</i>	<i>Směrodatná odchylka</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
0,10	$F_p^F [\text{N}]$	4,40	0,11	4,12	5,34	5,83	-13,58	26,40
	$F_p^M [\text{N}]$	4,93	0,10	4,58	3,81	6,19	-11,60	21,82
0,15	$F_p^F [\text{N}]$	6,30	0,12	6,56	3,81	4,31	-9,16	18,01
	$F_p^M [\text{N}]$	7,29	0,09	7,02	5,95	4,37	-6,71	24,26
0,20	$F_p^F [\text{N}]$	4,19	0,11	3,74	2,29	4,90	-7,78	18,46
	$F_p^M [\text{N}]$	9,25	0,09	9,16	9,61	3,85	-4,58	21,51
0,25	$F_p^F [\text{N}]$	5,66	0,12	5,80	3,81	4,18	-9,61	16,78
	$F_p^M [\text{N}]$	9,34	0,09	9,31	9,61	3,15	-0,76	20,60

	Síla F_f při $v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$							
		<i>Sřední hodnota</i>	<i>Chyba střední hodnoty</i>	<i>Medián</i>	<i>Modus</i>	<i>Směrodatná odchylka</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
0,10	$F_f^F [\text{N}]$	466,52	1,31	474,24	526,58	70,93	211,79	637,51
	$F_f^M [\text{N}]$	443,05	1,13	460,43	462,65	68,15	141,91	565,80
0,15	$F_f^F [\text{N}]$	794,70	1,94	816,73	823,36	71,88	606,23	911,56
	$F_f^M [\text{N}]$	549,69	0,92	563,05	569,76	44,95	405,88	634,00
0,20	$F_f^F [\text{N}]$	606,32	1,57	627,98	651,25	72,51	329,90	730,44
	$F_f^M [\text{N}]$	672,51	1,23	688,48	719,91	50,38	521,09	744,93
0,25	$F_f^F [\text{N}]$	893,48	2,67	929,11	952,61	90,57	655,37	1 011,66
	$F_f^M [\text{N}]$	756,17	1,29	767,44	762,18	47,07	600,13	822,30

	Síla F_c při $v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$							
		<i>Sřední hodnota</i>	<i>Chyba střední hodnoty</i>	<i>Medián</i>	<i>Modus</i>	<i>Směrodatná odchylka</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
0,10	$F_c^F [\text{N}]$	692,95	2,64	690,61	584,41	143,62	268,25	1 025,09
	$F_c^M [\text{N}]$	690,40	2,13	716,10	785,83	128,54	162,66	910,65
0,15	$F_c^F [\text{N}]$	1 163,00	2,66	1 193,39	1 226,50	98,76	891,42	1 306,15
	$F_c^M [\text{N}]$	893,52	1,73	918,27	939,64	84,89	586,85	1 056,52
0,20	$F_c^F [\text{N}]$	903,21	2,80	942,99	1 028,14	129,31	452,88	1 113,59
	$F_c^M [\text{N}]$	1 101,84	2,19	1 123,66	1 173,71	89,66	832,52	1 240,84
0,25	$F_c^F [\text{N}]$	1 290,25	3,39	1 341,10	1 378,78	114,96	937,50	1 440,73
	$F_c^M [\text{N}]$	1 251,50	2,21	1 270,30	1 260,07	80,88	1 041,87	1 371,46

Tabulka 4.7 *Statistické hodnoty složek celkové síly při $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$.*

	Síla F_p při $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$							
Posuv $f [\text{mm}]$		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	$F_p^F [\text{N}]$	5,21	0,08	5,19	6,56	4,14	-7,63	18,46
	$F_p^M [\text{N}]$	6,28	0,08	5,95	4,58	4,39	-7,32	21,36
0,15	$F_p^F [\text{N}]$	5,55	0,09	5,49	4,58	3,62	-8,39	18,01
	$F_p^M [\text{N}]$	8,93	0,08	8,85	8,54	3,46	-3,66	19,38
0,20	$F_p^F [\text{N}]$	4,01	0,10	3,81	4,58	3,43	-9,77	13,58
	$F_p^M [\text{N}]$	9,11	0,09	9,16	9,61	3,20	-0,15	18,31
0,25	$F_p^F [\text{N}]$	4,95	0,13	5,04	5,34	3,80	-7,17	17,70
	$F_p^M [\text{N}]$	6,92	0,12	6,71	8,24	3,92	-4,43	18,31

	Síla F_f při $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$							
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	$F_f^F [\text{N}]$	520,65	1,20	538,94	550,84	58,86	275,73	612,03
	$F_f^M [\text{N}]$	467,89	0,88	481,57	508,12	47,34	260,93	547,79
0,15	$F_f^F [\text{N}]$	639,81	1,62	658,26	691,38	65,99	467,83	740,81
	$F_f^M [\text{N}]$	583,04	1,16	594,18	628,20	51,05	425,26	650,18
0,20	$F_f^F [\text{N}]$	846,02	2,56	878,37	886,38	86,57	600,28	950,17
	$F_f^M [\text{N}]$	716,58	1,66	732,73	731,66	61,80	511,63	788,42
0,25	$F_f^F [\text{N}]$	925,20	2,61	954,13	1 000,82	79,25	705,87	1 024,63
	$F_f^M [\text{N}]$	785,25	1,74	806,43	831,76	58,82	612,79	855,26

	Síla F_c při $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$							
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	$F_c^F [\text{N}]$	731,48	1,92	749,21	794,07	93,84	401,92	918,88
	$F_c^M [\text{N}]$	706,21	1,53	730,59	749,21	82,24	361,02	849,00
0,15	$F_c^F [\text{N}]$	898,94	2,43	935,36	940,55	99,12	674,13	1 044,62
	$F_c^M [\text{N}]$	890,63	1,86	911,56	939,64	81,87	643,92	1 006,16
0,20	$F_c^F [\text{N}]$	1 135,91	2,98	1 169,28	1 175,54	100,83	867,92	1 269,53
	$F_c^M [\text{N}]$	1 088,86	2,36	1 105,04	1 096,50	88,15	815,74	1 195,07
0,25	$F_c^F [\text{N}]$	1 271,76	3,44	1 311,50	1 317,44	104,43	981,75	1 408,39
	$F_c^M [\text{N}]$	1 224,05	2,81	1 252,14	1 315,31	94,79	960,69	1 348,88

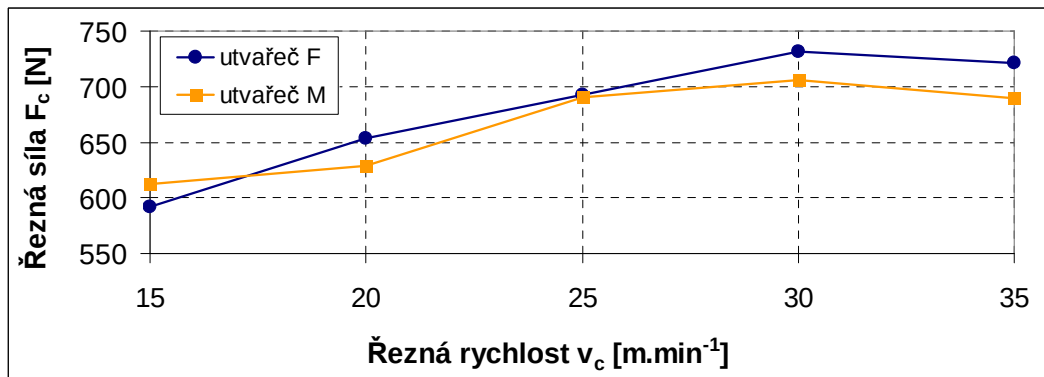
Tabulka 4.8 Statistické hodnoty složek celkové síly při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$.

	Síla F_p při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$							
Posuv f [mm]		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	F_p^F [N]	4,67	0,08	5,04	5,80	3,56	-7,02	14,04
	F_p^M [N]	7,94	0,07	7,63	8,85	3,34	-1,98	22,13
0,15	F_p^F [N]	3,89	0,10	3,66	2,14	3,56	-6,71	14,65
	F_p^M [N]	5,56	0,11	4,27	3,51	4,32	-2,44	21,51
0,20	F_p^F [N]	3,92	0,10	4,12	3,81	3,04	-7,02	12,05
	F_p^M [N]	7,93	0,09	7,48	6,26	3,01	0,15	17,24
0,25	F_p^F [N]	2,98	0,13	3,20	3,51	3,63	-8,70	12,97
	F_p^M [N]	5,42	0,11	4,88	2,90	3,47	-6,10	16,17

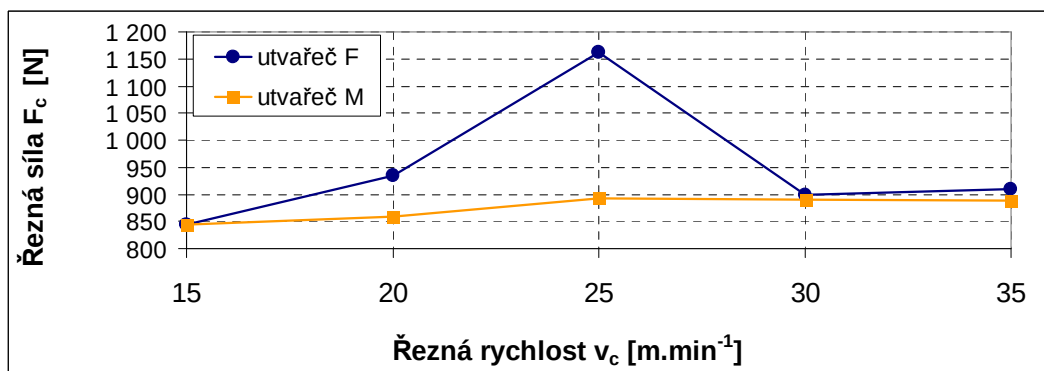
	Síla F_f při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$							
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	F_f^F [N]	539,29	1,30	558,47	563,66	58,82	322,88	625,00
	F_f^M [N]	478,79	1,03	499,34	521,70	51,36	297,70	547,03
0,15	F_f^F [N]	707,62	2,46	716,55	811,92	92,16	484,77	847,78
	F_f^M [N]	630,06	1,66	647,20	698,24	67,25	444,18	720,22
0,20	F_f^F [N]	868,72	2,12	891,42	908,81	65,05	654,14	951,08
	F_f^M [N]	721,14	2,16	757,98	784,61	73,66	539,09	805,36
0,25	F_f^F [N]	918,04	2,02	930,33	941,62	56,51	724,49	1 002,96
	F_f^M [N]	773,76	1,94	791,17	826,87	61,65	611,42	851,14

	Síla F_c při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$							
		Střední hodnota	Chyba střední hodnoty	Medián	Modus	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
0,10	F_c^F [N]	721,06	1,75	745,24	761,72	78,89	439,15	837,71
	F_c^M [N]	689,59	1,52	713,81	763,86	76,13	405,58	801,09
0,15	F_c^F [N]	910,36	2,57	926,21	1 010,13	96,12	637,21	1 049,50
	F_c^M [N]	887,39	2,15	904,39	840,15	86,81	610,66	1 005,86
0,20	F_c^F [N]	1 124,47	2,92	1 152,65	1 148,68	89,65	857,85	1 237,79
	F_c^M [N]	1 049,86	3,30	1 093,44	1 120,30	112,27	762,33	1 181,64
0,25	F_c^F [N]	1 233,18	3,19	1 246,64	1 345,21	89,30	1 015,93	1 361,39
	F_c^M [N]	1 166,93	3,49	1 197,81	1 281,13	111,04	933,84	1 321,41

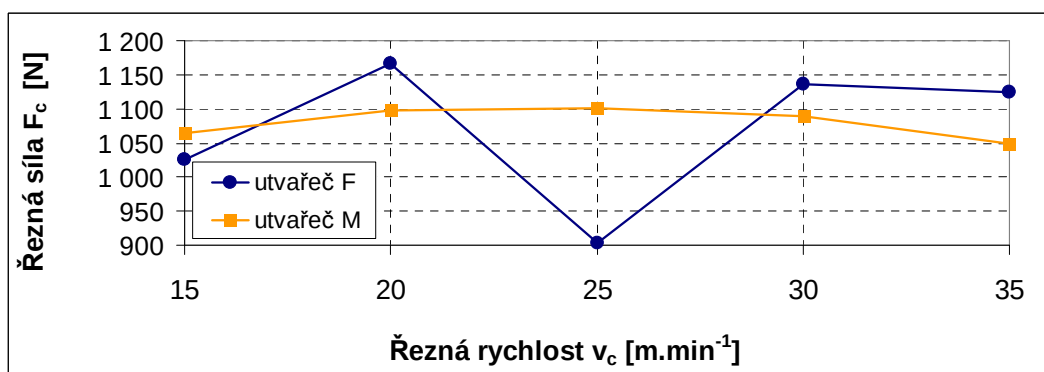
Porovnání středních hodnot řezných sil v závislosti na řezné rychlosti při použití dvou typů utvařečů třísky je na obr. 4.29 – 4.32.



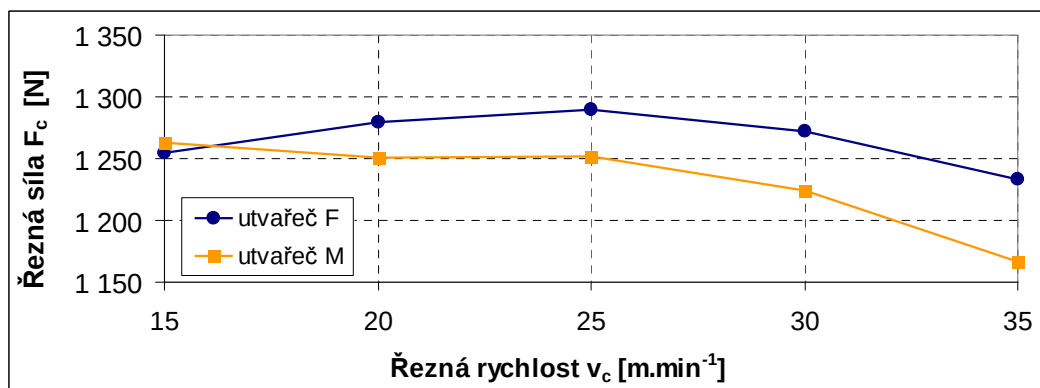
Obr 4.29 Graf závislosti řezné síly na řezné rychlosti pro $f = 0,10$ mm.



Obr 4.30 Graf závislosti řezné síly na řezné rychlosti pro $f = 0,15$ mm

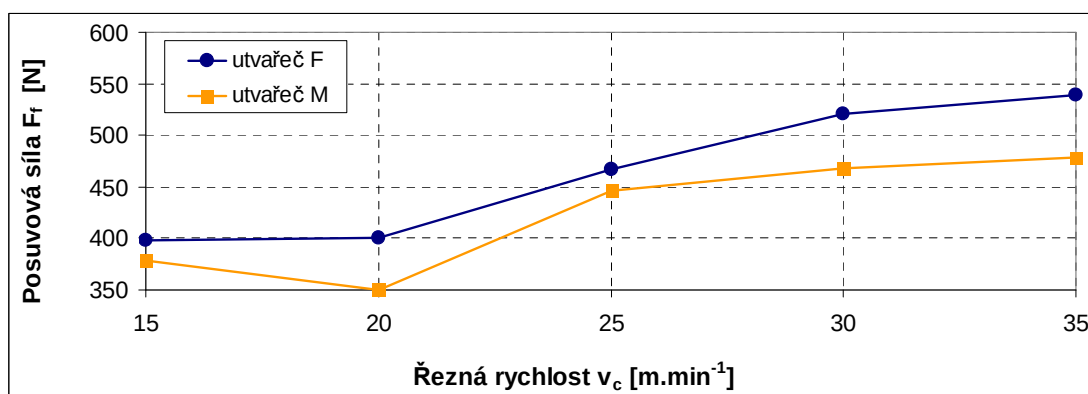


Obr 4.31 Graf závislosti řezné síly na řezné rychlosti pro $f = 0,20$ mm.

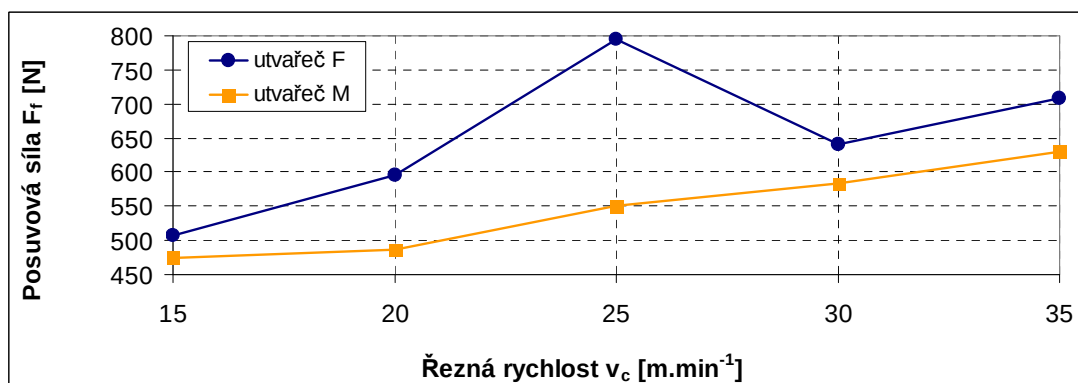


Obr 4.32 Graf závislosti řezné síly na řezné rychlosti pro $f = 0,25$ mm.

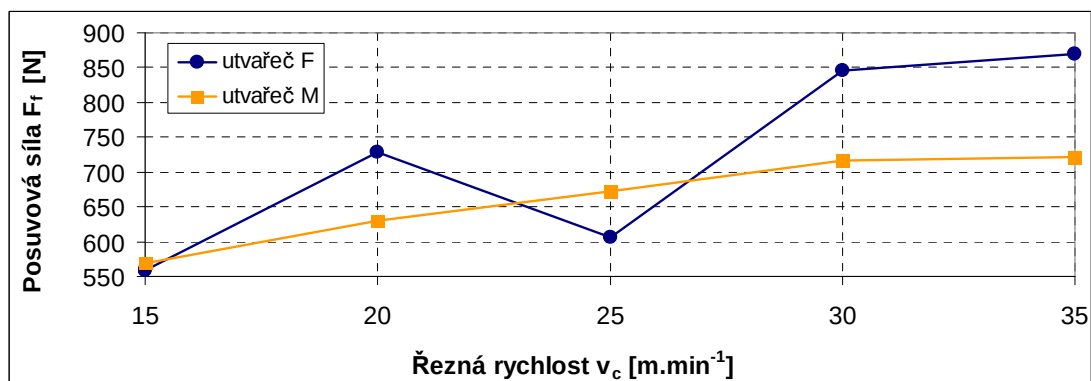
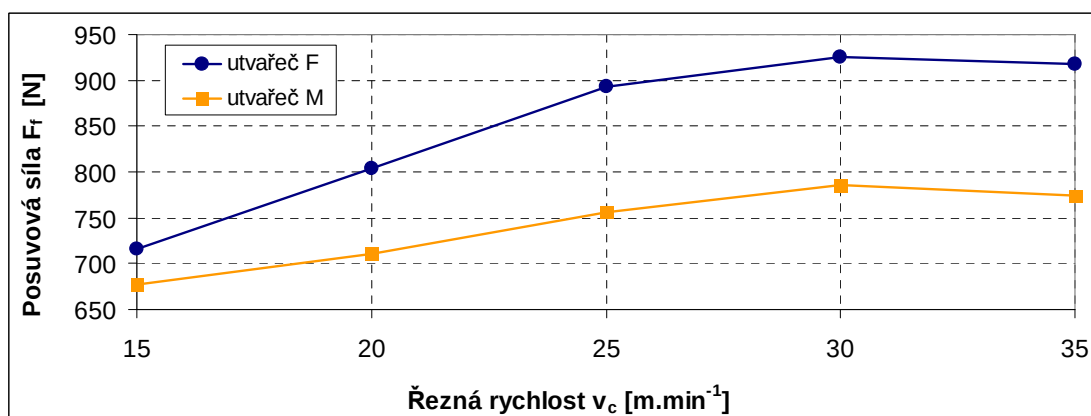
Porovnání středních hodnot posuvových sil v závislosti na řezné rychlosti při použití dvou typů utvařečů třísky je na obr. 4.33 – 4.36.



Obr 4.33 Graf závislosti posuvové síly na řezné rychlosti pro $f = 0,10$ mm.



Obr 4.34 Graf závislosti posuvové síly na řezné rychlosti pro $f = 0,15$ mm

Obr 4.35 Graf závislosti posuvové síly na řezné rychlosti pro $f = 0,20$ mmObr 4.36 Graf závislosti posuvové síly na řezné rychlosti pro $f = 0,25$ mm

V tabulce 4.9 jsou uvedeny hodnoty maximálních řezných sil, při zadaných posuvech a zadaných řezných rychlostech. Indexem F jsou označeny řezné síly působící při použití utvařeče F. Indexem M jsou označeny řezné síly působící při použití utvařeče M.

Tab. 4.9 *Tabulka maximálních hodnot řezných sil pro utvařeč M a F.*

Řezná síla $F_{c \max}$ [N]						
Posuv f [mm]	Označení složek síly	v_c [m.min ⁻¹]				
		15	20	25	30	35
0,10	F_c^F	923	927	1 025	919	838
	F_c^M	883	825	911	849	801
0,15	F_c^F	1 061	1 238	1 306	1 045	1 050
	F_c^M	975	1 050	1 057	1 006	1 006
0,20	F_c^F	1 350	1 392	1 114	1 270	1 238
	F_c^M	1 350	1 290	1 241	1 195	1 182
0,25	F_c^F	1 577	1 542	1 441	1 408	1 361
	F_c^M	1 476	1 452	1 371	1 349	1 321

Výpočet měrné řezné síly byl proveden podle vztahu 1.6, velikost průřezu třísky byla vypočtena podle vztahu 1.4 (tab. 4.10):

Tab. 4.10 *Vypočtené hodnoty velikosti průřezu třísky a měrné řezné síly.*

k_c [MPa]								
Posuv f [mm]	Označení složek síly $F_{\max}$ [N]	Šířka záběru a_p [mm]	Průřez třísky A_D [mm ²]	v_c [m.min ⁻¹]				
				15	20	25	30	35
0,10	F_c^F	3,10	0,31	2 977	2 990	3 307	2 964	2 702
	F_c^M	3,10	0,31	2 849	2 662	2 938	2 739	2 584
0,15	F_c^F	3,10	0,47	2 281	2 663	2 809	2 246	2 257
	F_c^M	3,10	0,47	2 098	2 258	2 272	2 164	2 163
0,20	F_c^F	3,10	0,62	2 177	2 245	1 796	2 048	1 996
	F_c^M	3,10	0,62	2 178	2 081	2 001	1 928	1 906
0,25	F_c^F	3,10	0,78	2 035	1 989	1 859	1 817	1 757
	F_c^M	3,10	0,78	1 904	1 874	1 770	1 740	1 705

Pro výpočet maximálního řezného výkonu pro jednotlivé typy utvařečů při zapichování, byly použity hodnoty řezné rychlosti a hodnoty maximální řezné síly. Výpočet byl proveden podle vztahu 1.7, výsledné hodnoty jsou v tabulce 4.11.

Tab. 4.11 *Vypočtené hodnoty řezného výkonu.*

Utvařeč F			
f [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c^F [N]	P_c [kW]
0,10	15	923	0,23
	20	927	0,31
	25	1 025	0,43
	30	919	0,46
	35	838	0,49
0,15	15	1 061	0,27
	20	1 238	0,41
	25	1 306	0,54
	30	1 045	0,52
	35	1 050	0,61
0,20	15	1 350	0,34
	20	1 392	0,46
	25	1 114	0,46
	30	1 270	0,63
	35	1 238	0,72
0,25	15	1 577	0,39
	20	1 542	0,51
	25	1 441	0,60
	30	1 408	0,70
	35	1 361	0,79

Utvařeč M			
f [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	F_c^M [N]	P_c [kW]
0,10	15	883	0,22
	20	825	0,28
	25	911	0,38
	30	849	0,42
	35	801	0,47
0,15	15	975	0,24
	20	1 050	0,35
	25	1 057	0,44
	30	1 006	0,50
	35	1 006	0,59
0,20	15	1 350	0,34
	20	1 290	0,43
	25	1 241	0,52
	30	1 195	0,60
	35	1 182	0,69
0,25	15	1 476	0,37
	20	1 452	0,48
	25	1 371	0,57
	30	1 349	0,67
	35	1 321	0,77

4.1.5 Závěrečné vyhodnocení

Střední hodnoty pasivní síly F_p při zapichování za daných řezných podmínek se pohybují v rozmezí $-1,25 \div 13,01$ N (maximum bylo 36,16 N), tedy F_p nabývá velmi nízkých hodnot, a to z toho důvodu, že nástroj je v axiálním směru pouze minimálně namáhán. Vznikají pouze malé axiální síly, které se nedají úplně eliminovat. Jsou způsobeny především vibracemi stroje při nedostatečné tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek.

Střední hodnoty posuvové síly F_f při zapichování za daných řezných podmínek se pohybují v rozmezí $350,16 \div 925,20$ N. Střední hodnoty řezné síly F_c při zapichování za daných řezných podmínek se pohybují v rozmezí $592,17 \div 1290,25$ N. Tzn., že střední hodnota posuvové síly F_f je o $30 \div 40$ % nižší než střední hodnota řezné síly F_c .

Při použití utvařeče typu F při zapichování za daných řezných podmínek je maximální řezná síla F_c v průměru o 6 % vyšší než při použití utvařeče M a řezný výkon taktéž.

Z vypočtených hodnot k_c je patrné, že nejmenší hodnota měrného řezného odporu vzniká při použití nejvyšší řezné rychlosti, tzn., že je výhodnější použít nejvyšší možnou řeznou rychlost, ale s ohledem na trvanlivost VBD.

4.2 Experiment 2 - vliv typu utvařeče na tvar třísky

4.2.1 Příprava měření

V tomto experimentu byly použity třísky vytvořené při předchozím měření, které byly zachytávány do sběrné nádoby.

Porovnávány budou třísky vzniklé při obrábění testovaného vzorku dvěma typy utvařečů při $f = 0,10$ a $f = 0,25$. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.1.

4.2.2 Vstupní podmínky

Vstupní podmínky jsou shodné s předchozím měřením a jsou uvedeny v tabulce 4.12, náčrty utvařečů a jejich rozměry jsou na obr. 4.37.

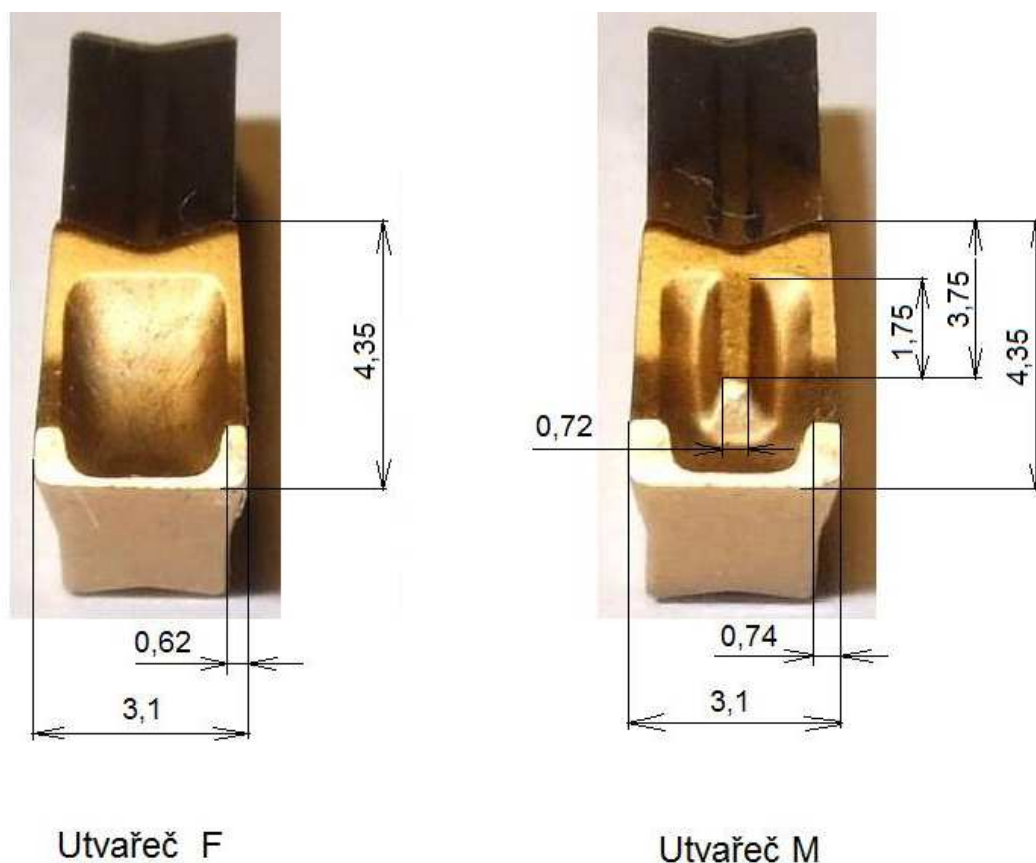
Tabulka 4.12 Použité stroje a nástroje

Obráběcí stroj:	Hrotový soustruh SU50A – SP
Procesní kapalina:	ECOCOOL 68 CF 2, firma Fuchs Oil Corporatrion (CZ), spol. s r. o.
Zkušební vzorek:	Ocel 15 260.7 tepelně zpracovaná na střední mez pevnosti v tahu $R_m = 885 - 1030$ MPa, tyč tažená za studena, $d = 38$ mm, $l = 380$ mm
Nástroj:	Modulární soustružnický nůž, firmy Pramet Tools, Nožový držák MS-EN 2020 K, Planžeta pro VBD <i>XL CFN 250215 - 3.00</i>
VBD:	LFMX 3,10 – 0,20SN – SF; 8030 LFMX 3,10 – 0,20SN – SM; 8030
Utvařeč:	typ F typ M

4.2.3 Průběh měření

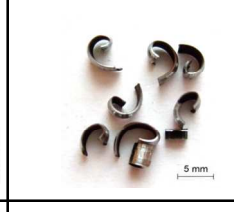
Nejprve byla do upínací planžety upnuta VBD s utvařečem typu F. Na soustruhu byly nastaveny otáčky podle tabulky 4.2 na hodnotu 125 min^{-1} . Stroj byl spuštěn a řezný nástroj byl posuvem uveden do záběru, hodnota posuvu byla $f = 0,10 \text{ mm}$. Byly vytvořeny experimentální zápichy, dle plánu uvedeného v tabulce 4.1. Stejným způsobem se postupovalo i u VBD s utvařečem typu M. Rozměry obou utvařečů jsou na obr. 4.37.

Všechny třísky byly odváděny do sběrné nádoby a poté ihned zařazeny do obálky s přesným označením řezných podmínek, za kterých byly vytvořeny. Dále byly vyfotografovány a fotografie byly vloženy do tabulek (obr. 4.38, 4.39). Dále bylo provedeno jejich porovnání (obr. 4.40 – 4.49).



Obr. 4.37 Rozměry obou utvařečů třísky (v mm).

4.2.4 Dosažené výsledky

Vyměnitelná břitová destička		typ F			
LFMX 3, 10-0,2SN-SF; 8030					
v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]				
	0,10	0,15	0,20	0,25	
15					
20					
25					
30					
35					

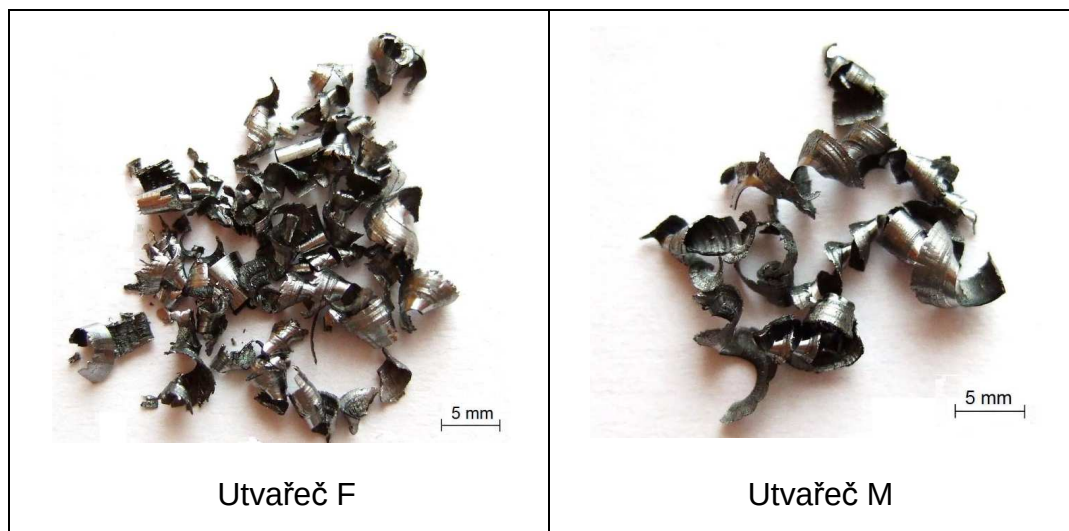
Obr. 4.38 Přehled třísek, které vznikly při použití utvařeče F.

Vyměnitelná břitová destička		typ M			
LFMX 3, 10-0,2SN-SM; 8030					
v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]				
	0,10	0,15	0,20	0,25	
15					
20					
25					
30					
35					

Obr. 4.39 Přehled třísek, které vznikly při použití utvařeče M.

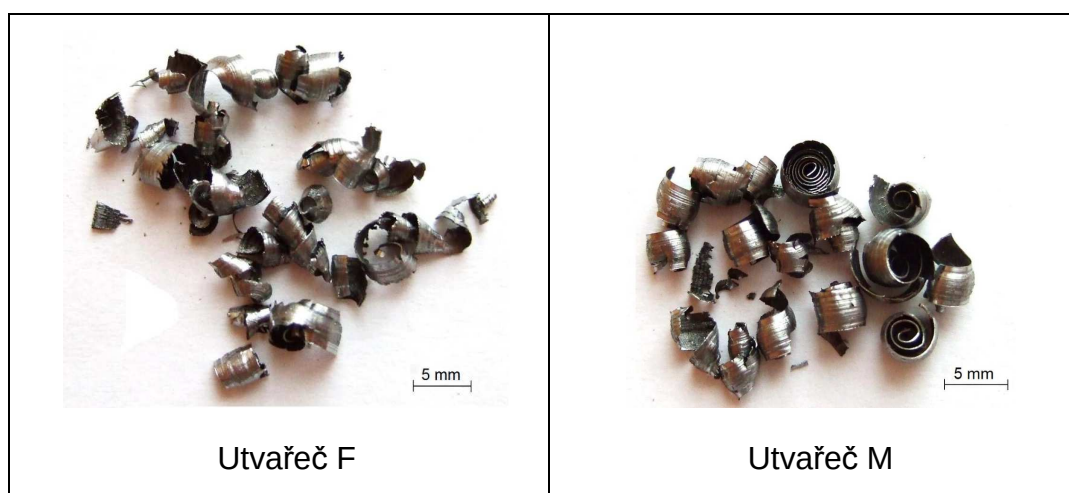
4.2.5 Vyhodnocení

Na obr. 4.40 jsou fotografie třísek vytvořených při $v_c = 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$. Z obrázku je patrné, že třísky vytvořené utvařečem F jsou spíše vinuté drobné, naproti tomu třísky vytvořené utvařečem M jsou nepravidelně vinuté krátké.



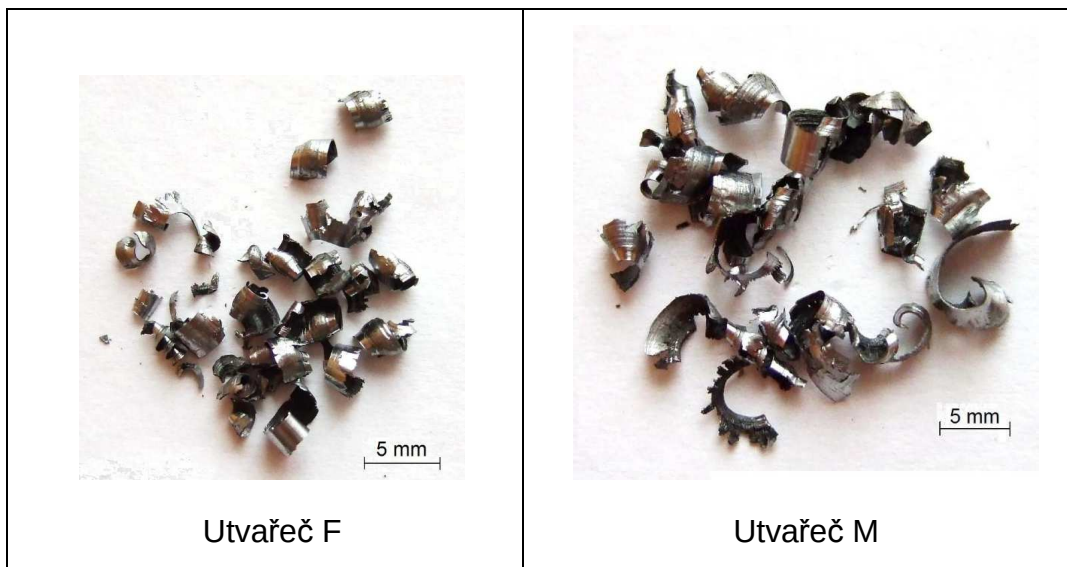
Obr. 4.40 Tříska vytvořená při $v_c = 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$.

Při $v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$ jsou třísky vytvořené utvařečem M krátké, hodně spěchované, svinuté do ploché spirály, naopak třísky vytvořené utvařečem F, jsou spíše elementární, lehce vinuté obr. 4.41.



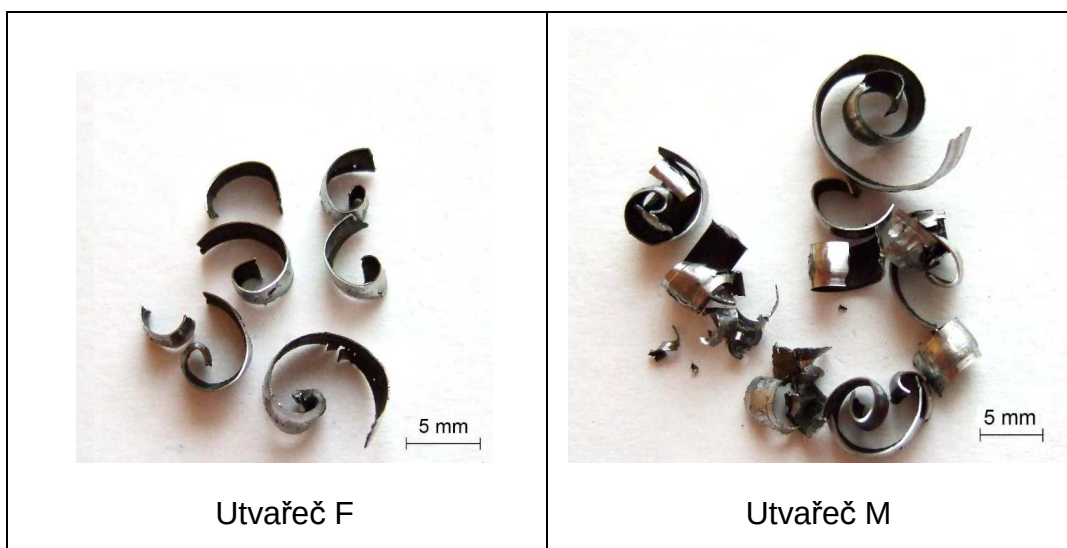
Obr. 4.41 Tříska vytvořená při $v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$.

Při $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$ jsou utvařečem M vytvořeny třísky delší oproti utvařeči F a jsou vinuté krátké, třísky vytvořené utvařečem F jsou stále drobné, téměř elementární (obr. 4.42).



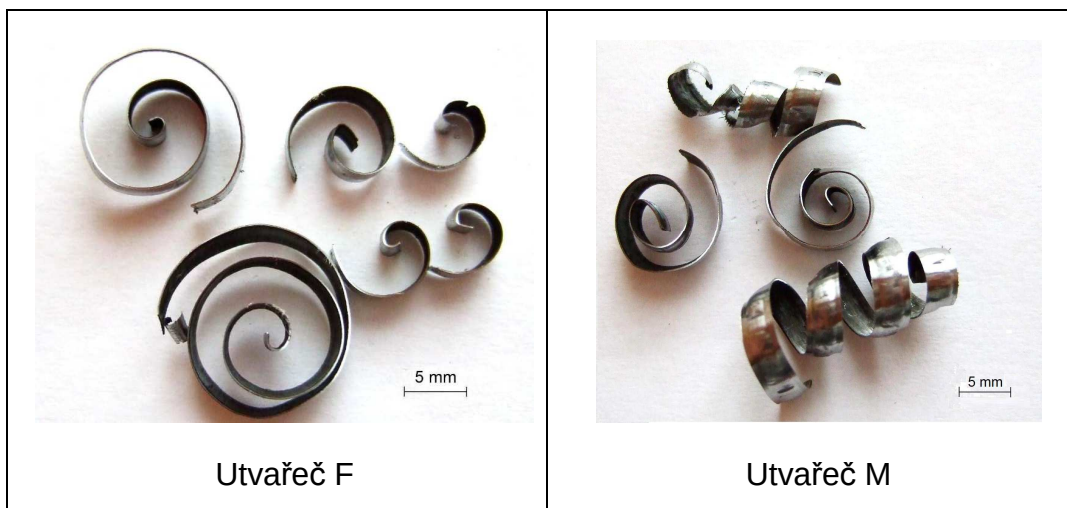
Obr. 4.42 Tříska vytvořená při $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$.

Při $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$ jsou obě třísky vinuty do ploché spirály, tříska vytvořená utvařečem M je více spěchovaná, tříska vytvořená utvařečem F se mírně začíná stáčet a není tolik spěchovaná (obr. 4.43).



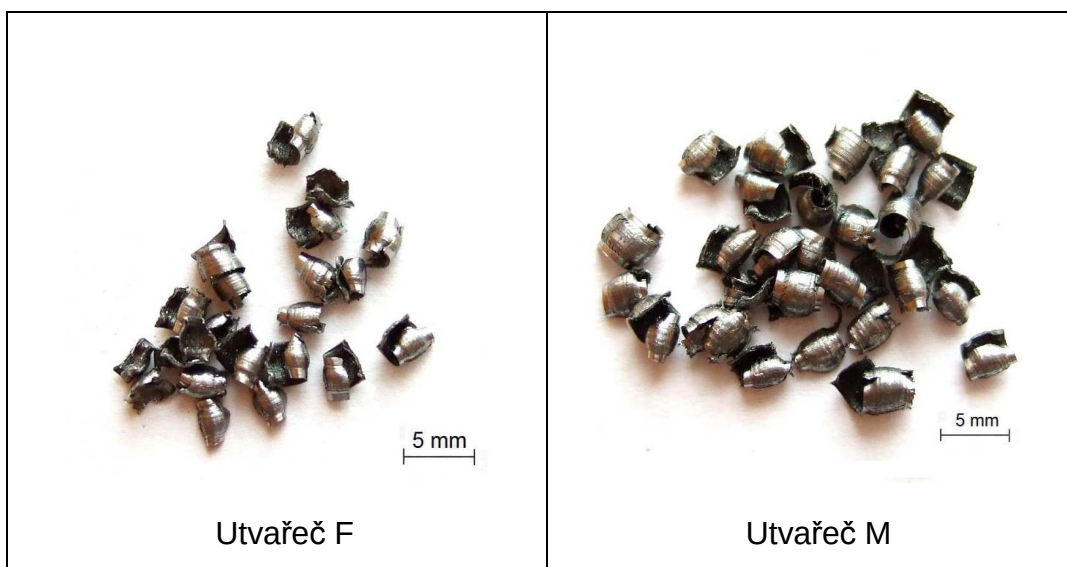
Obr. 4.43 Tříska vytvořená při $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$.

Při vyšší řezné rychlosti, jakou je v tomto experimentu $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,1 \text{ mm}$, jsou oba druhy třísky svinuty do ploché spirály, tříska vytvořená utvařečem M má spirálu plochou i prostorovou, tříska vytvořená utvařečem F, má spirálu plochou, méně spěchovanou (obr. 4.44).



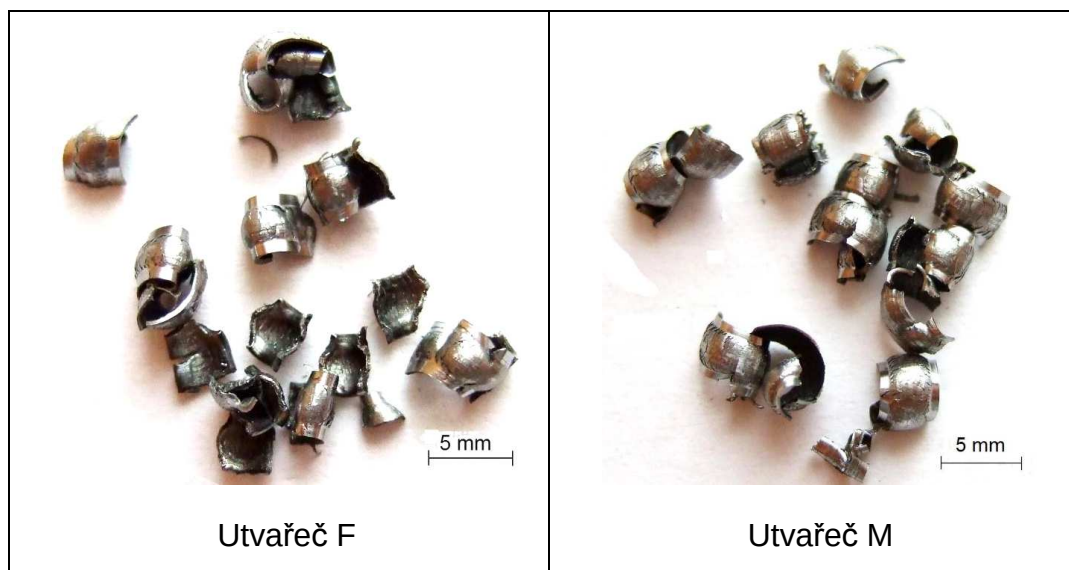
Obr. 4.44 Tříska vytvořená při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,10 \text{ mm}$.

Pokud zvýšíme posuv na otáčku z 0,10 na 0,25 mm, při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$, třísky jsou spíše elementárního charakteru (obr. 4.45). Není mezi nimi žádný výrazný rozdíl.



Obr. 4.45 Tříska vytvořená při $v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$.

Při $v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ jsou třísky opět výhodně utvářeny, téměř stejně, třísky jsou elementární. (obr. 4.46).



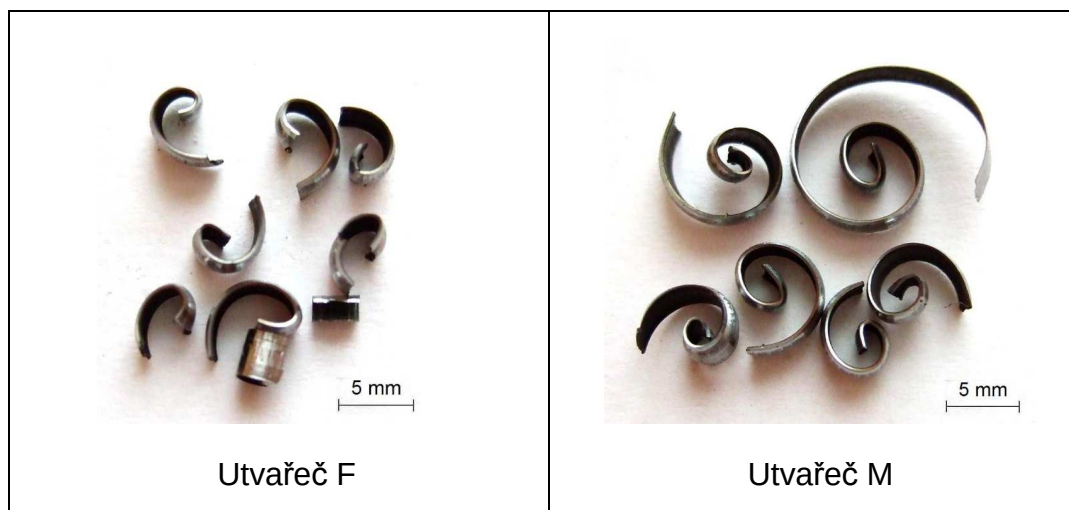
Obr. 4.46 Tříska vytvořená při $v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25$.

Při $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ jsou třísky opět výhodně utvářeny, téměř stejně, tříska vytvořená pomocí utvařeče M se začíná stáčet do spirály, je delší, méně nalámaná oproti tříске vytvořené utvařečem F (obr. 4.47).



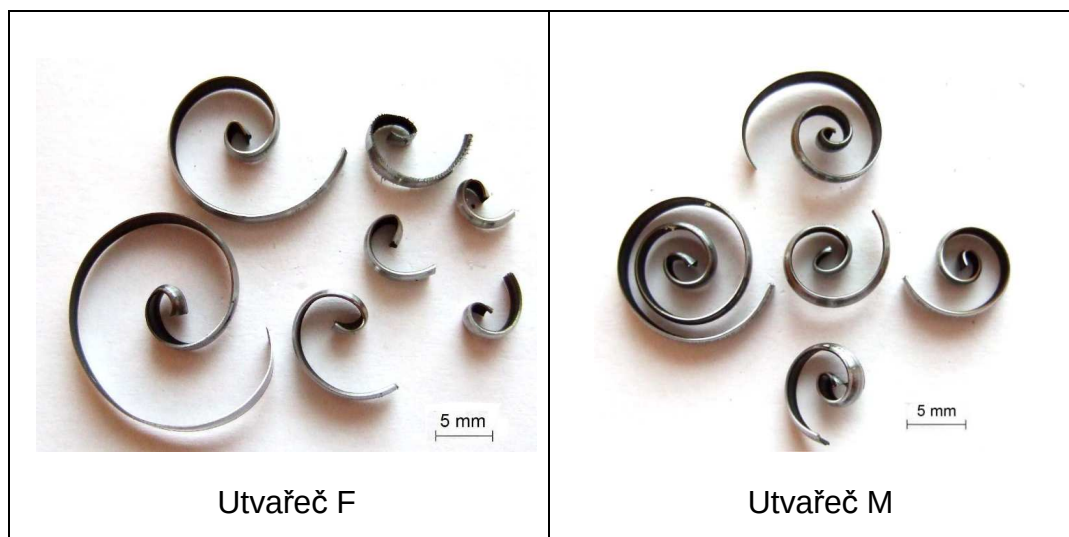
Obr. 4.47 Tříska vytvořená při $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$.

Při $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ jsou třísky vytvořené utvařečem F utvářeny na kratší elementy, tříska vytvořená utvařečem M se stáčí do ploché spirály, méně se láme (obr. 4.48).



Obr. 4.48 Tříska vytvořená při $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$.

Při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$ jsou třísky vytvořené utvařečem F utvářeny do ploché spirály - stejně tak je tomu u třísek vytvořených utvařečem M. Ale třísky vytvořené utvařečem M jsou více spěchovány, což je mnohem výhodnější z důvodu manipulace a odpadového hospodářství (obr. 4.49).



Obr. 4.49 Tříska vytvořená při $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm}$.

4.2.6 Závěrečné vyhodnocení

Při posuvu $f = 0,10 \text{ mm}$ je výhodnější z hlediska optimálního utváření třísek při $v_c = 20 \text{ m.min}^{-1}$ použít utvařeč M. Při vyšší řezné rychlosti, jakou byla $v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$, z důvodu optimálnějšího utváření třísky, je výhodnější použít utvařeč F.

Při posuvu $f = 0,25 \text{ mm}$ je pro výhodné utváření třísek ideální zvolit nižší řeznou rychlost ($15 - 20 \text{ m.min}^{-1}$) pro oba typy utvařečů třísky. Pokud bude použita řezná rychlost 35 m.min^{-1} při tomto posuvu, je optimální variantou použití utvařeče typu M.

Pro mělké zapichování výrobce doporučuje utvařeč M, velice zde ale záleží na řezné rychlosti.

5 SROVNÁNÍ S JINÝMI VÝROBCI, DISKUZE

Firma Pramet Tools nabízí rozsah šířek třísky $2,00 \div 6,35$ mm. Doporučený rozsah posuvů je $0,05 \div 0,80$ mm. Max. hloubka zápichu je 23 mm pro standardní zapichovací nože. Pokud potřebujeme zápich větší, je možno použít modulárního systému a upínací planžety, se kterou je možné vyrobit zápich hluboký až 25 mm. Pro větší hloubku drážky, je možné využít speciálního držáku (nástrojového bloku) pro planžety a dosáhnout tak hloubky zápichu až 100 mm. To platí pro vnější zapichování. Pro vnitřní zápichy je maximální hloubka řezu 11 mm^{5, 7}. Porovnání s jinými výrobci je v tab. 5.1.

Firma Mitsubishi Materials nabízí široký rozsah držáků pro vnitřní zapichování už od průměru 25 mm. Velmi výhodně je zde řešen přívod procesní kapaliny do místa řezu pomocí dvou vedení. Šířka třísky je v rozsahu $2,00 \div 6,35$ mm, hodnota posuvu $0,05 \div 0,35$ mm a maximální hloubka zápichu je 25 mm¹¹.

Firma Sandvik Coromant uvádí tyto řezné podmínky: šířka třísky $0,70 \div 15,00$ mm, doporučená hodnota posuvu je v rozsahu $0,06 \div 0,40$ mm, hloubka drážky až 28 mm. Nástrojové bloky umožňují zhotovit velmi široké a velmi hluboké drážky, a to až do hloubky 120 mm a max. možná šířka zápichu je 15 mm².

Tab. 5.1 Porovnání řezných podmínek

Výrobce	Šířka třísky b_D [mm]	Posuv f [mm]	Hloubka zápichu t_{max} [mm]
Pramet Tools	2,00 – 6,35	0,05 – 0,80	100,00
Mitsubishi Materials	2,00 – 6,35	0,05 – 0,35	25,00
Sandvik Coromant	0,70 – 15,00	0,06 – 0,40	120,00

6 ZÁVĚR, DOPORUČENÍ PRO PRAXI

V dnešní době je na trhu mnoho výrobců nabízejících sortiment pro obrábění, každý se snaží nabídnout i speciální nástroje pro výrobu zápichů a upichování, a každý z nich se snaží něčím odlišit (např. sortimentem pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů, způsobem pro přívod řezné kapaliny do těžko dostupných míst, nástroji pro výrobu hodně hlubokých, ale poměrně úzkých drážek, atd.).

V této diplomové práci byly provedeny dva experimenty, ve kterých byly použity nástroje od firmy Pramet Tools, s. r. o. První experiment se zabýval měřením řezných sil při variabilních řezných podmínkách při použití dvou vyměnitelných břitových destiček s rozdílnými utvařeči třísky. Dále bylo provedeno hodnocení třísek vzniklých při prvním experimentu.

Bylo zjištěno:

- střední hodnoty pasivní síly jsou téměř zanedbatelné, střední hodnoty posuvové síly jsou o 30 ÷ 40 % nižší než střední hodnota řezné síly,
- při použití utvařeče typu F je maximální řezná síla průměrně o 6 % vyšší než při použití utvařeče M a řezný výkon taktéž,
- Hodnoty měrné řezné síly ukázaly, že je výhodnější použít nejvyšší možnou řeznou rychlost, protože nejmenší hodnota měrného řezného odporu vzniká při použití nejvyšší řezné rychlosti,
- Pro mělké zapichování výrobce doporučuje utvařeč M, ale dle provedeného experimentu, velice důležitou roli zde hraje řezná rychlost. Při nízké hodnotě posuvu a řezné rychlosti 35 m. min⁻¹ je výhodnější z hlediska utváření třísek použití VBD s utvařečem F.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. Z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
2. *Www.coromant.sandvik.com* [online]. 2011, 3.1.2011 [cit. 2011-02-07]. Sandvik Coromant. Dostupné z WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/ENG/MTG_B.pdf>.
3. ERIK, Oberg , et al. *Machinery's Handbook* [online]. 28th Edition. [s.l.] : Industrial Press, 2008 [cit. 2011-09-12]. Dostupné z WWW: <www.knovel.com>. ISBN 9780831128005.
4. HUMÁR, Anton. *Technologie I : Technologie obrábění - 1. část*. 1. vyd. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 2003. 138 s. Dostupné z WWW: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>.
5. *Pramet* [online]. 2010 [cit. 2011-10-03]. Katalog soustružení 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/indexc1b6.html>>.
6. PÍŠKA, Miroslav; FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vydání první. Vysoké učení technické v Brně : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
7. Firemní listy firmy Pramet Tools, s. r. o. Šumperk, Vladimír Maixner R & D manager.
8. Humár, A., *Materiály pro řezné nástroje*. 1.vyd. Praha: MM publishing, s.r. o., 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
9. HUMÁR, A., Přednášky z předmětu Experimentální metody, Název přednášky - Metody měření řezných sil. [cit. 2011-09-11].
10. TOS KUŘIM. *Dokumentace ke stroji SU50A – SP*.
11. *MCN, s. r. o. : Řezné a upínací nástroje* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.mcncz.cz/files/pdf/triforce.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení Jednotky Popis

A_α		hlavní hřbet VBD
$A_{\alpha'}$		vedlejší hřbet VBD
A_γ		čelo VBD
A_D	[mm ²]	průřez odřezávané vrstvy
F_c	[N]	řezná síla
F_c^F	[N]	řezná síla při použití utvařeče F
F_c^M	[N]	řezná síla při použití utvařeče M
$F_{c \max}$	[N]	maximální řezná síla
F_e	[N]	výsledná celková síla
F_f	[N]	posuvová (radiální) síla
F_f^F	[N]	posuvová (radiální) síla při použití utvařeče F
F_f^M	[N]	posuvová (radiální) síla při použití utvařeče M
F_p	[N]	pasivní (axiální) síla
F_p^F	[N]	pasivní (axiální) síla při použití utvařeče F
F_p^M	[N]	pasivní (axiální) síla při použití utvařeče M
P_c	[kW]	řezný výkon
R_m	[MPa]	střední mez pevnosti v tahu
S		hlavní ostří VBD
S'		vedlejší ostří VBD
a_p	[mm]	šířka záběru hlavního ostří
b_D	[mm]	šířka třísky
d	[mm]	průměr

f	[mm]	posuv
h_D	[mm]	tloušťka třísky
k_c	[MPa]	měrná řezná síla (odpor)
l	[mm]	délka
l_a	[mm]	šířka VBD
n	[min ⁻¹]	otáčky
r_ε	[mm]	poloměr zaoblení břitu nástroje
t_{max}	[mm]	hloubka zápichu
v_f	[m.min ⁻¹]	posuvová rychlost
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	celková rychlost řezného pohybu
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
CVD		chemický způsob povlakování (angl. Chemical Vapour Deposition)
PVD		fyzikální způsob povlakování (angl. Physical Vapour Deposition)
SK		slinuté karbidy
VBD		vyměnitelná břitová destička

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1** Technické parametry soustruhu SU50A – SP
- Příloha 2** Technické parametry modulárního zapichovacího nože MS-EN
- Příloha 3** Technické parametry upínací planžety XLCFN/R/L
- Příloha 4** Technické parametry VBD LFMX

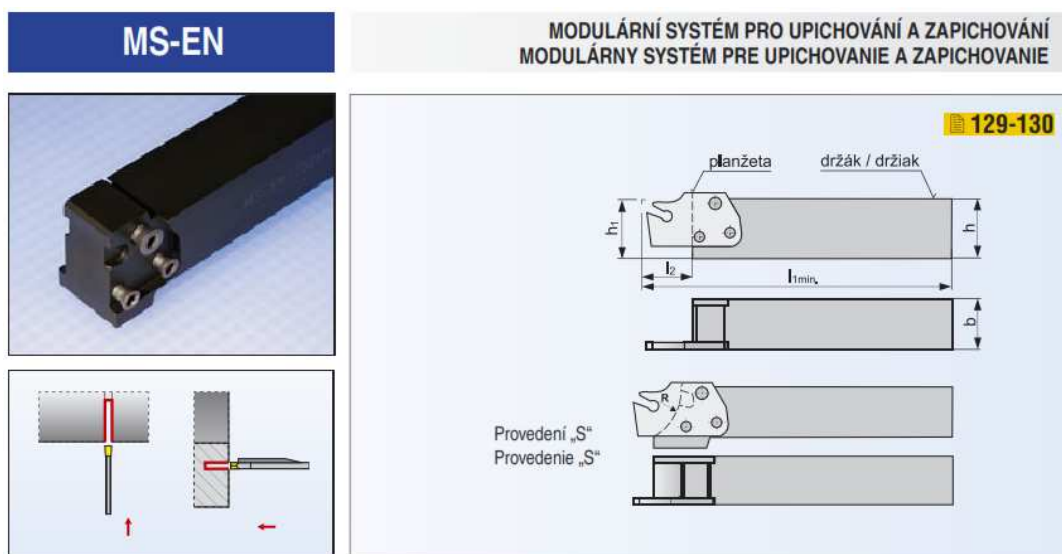
Příloha 1 Technické parametry soustruhu **SU50A – SP**¹⁰

Základní parametry:

- hrotový soustruh SU50A – SP
- výrobce - firma TOS Kuřim
- oběžný průměr nad ložem 500 mm
- oběžný průměr nad suportem 250 mm
- vzdálenost hrotů 1500 mm
- otáčky vřetene 11,2 – 1400 min⁻¹
- výkon motoru 11 kW



Příloha 2 Technické parametry modulárního zapichovacího nože MS-EN⁷



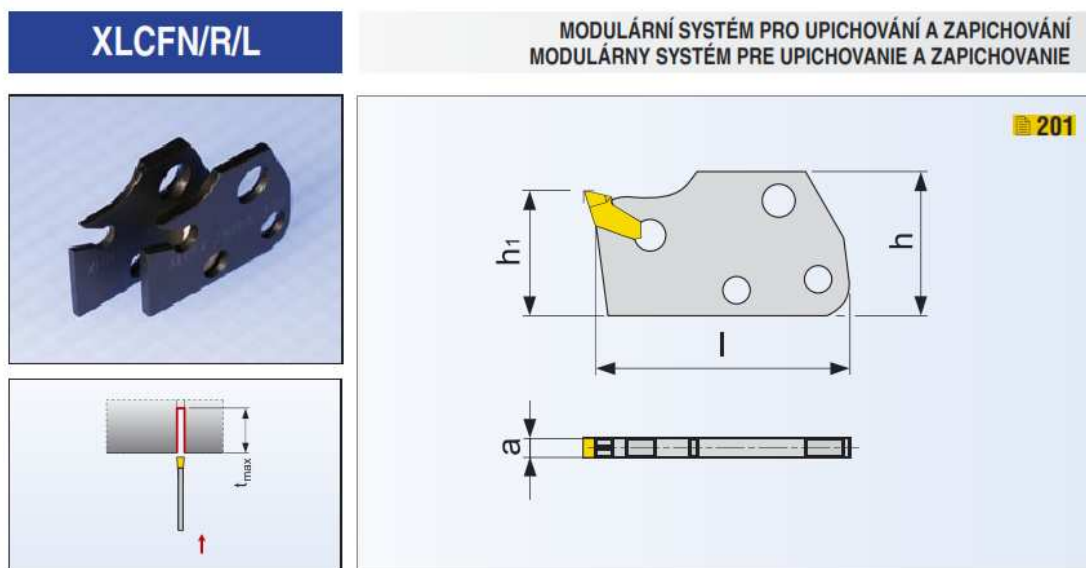
DRŽÁK PRO VNĚJŠÍ SOUSTRUŽENÍ / DRŽIAK PRE VONKAJŠIE SÚSTRUŽENIE

ISO		Rozměry / Rozmery [mm]										kg	ND	planžety
		h	h ₁	b	l _{1min}	l ₂	R							
MS-EN-1212 F	●	12	12	12	90	15	-					0,09	ND4	XLCF. 16..15...
					95	20	-					0,09	ND4	XLCF. 16..20...
MS-EN-1616 H	●	16	16	16	95	15	-					0,19	ND4	XLCF. 16..15...
					100	20	-					0,19	ND4	XLCF. 16..20...
MS-EN-2020 K	●	20	20	20	115	15	-					0,44	ND5	XLCF. 25..15..., XLXFL 25...
					125	25	-					0,44	ND5	XLCF. 25..25...
MS-EN-2525 M	●	25	25	25	140	15	-					0,68	ND5	XLCF. 25..15..., XLXFL 25...
					150	25	-					0,68	ND5	XLCF. 25..25...
MS-EN-3225 P	●	32	32	25	160	15	-					1,05	ND5	XLCF. 25..15..., XLXFL 25...
					170	25	-					1,05	ND5	XLCF. 25..25...
MS-EN-2020 KS	○	20	20	20	115	-	25					0,48	ND5	XLCF. 25..15...
					125	-	25					0,48	ND5	XLCF. 25..25...
MS-EN-2525 MS	●	25	25	25	140	-	25					0,72	ND5	XLCF. 25..15...
					150	-	25					0,72	ND5	XLCF. 25..25...
					170	-	25					1,10	ND5	XLCF. 25..25...

NÁHRADNÍ DÍLY / NÁHRADNÉ DIELY

Typ	Up. šroub Up. skrutka	Up. šroub Up. skrutka	Šroubovák Skrutkovač			
ND4						
ND5	3x US 4011-T15P	US 46017-T20P	SDR T15P			
	2x US 45013-T20P		SDR T20P			

Příloha 3 Technické parametry upínací planžety XLCFN/R/L ⁷



PLANŽETA PRO VNĚJŠÍ SOUSTRUŽENÍ / PLANŽETA PRE VONKAJŠIE SÚSTRUŽENIE

ISO	R/L	Rozměry / Rozmery (mm)										kg	ND	VBD VRD
		h	h ₁	l	a	t _{max}								
XLCFR/L 160115-1.60	●/●	25	12	35	1,60	15						0,01	KV	LFMX 1.60.....
XLCFR/L 160115-2.00	●/●	25	12	35	2,0	15						0,01	KV	LFMX 2.00..., LFMX 2.20...
					2,2									LFMX 2.00..., LFMX 2.20...
XLCFN 160215-3.00	●	25	12	35	3,1	15						0,01	KV	LFMX 3.10.....
XLCFN 160220-3.00	●	25	12	40	3,1	20						0,02	KV	LFMX 3.10.....
XLCFR/L 250115-1.60	●/●	29	24	40	1,6	15						0,01	KV	LFMX 1.60.....
XLCFR/L 250115-2.00	●/●	29	24	40	2,0	15						0,02	KV	LFMX 2.00..., LFMX 2.20...
					2,2									LFMX 2.00..., LFMX 2.20...
XLCFN 250215-3.00	●	29	24	40	3,1	15						0,02	KV	LFMX 3.10.....
XLCFN 250225-3.00	●	29	24	50	3,1	25						0,02	KV	LFMX 3.10.....
XLCFN 250315-4.00	●	29	24	40	4,1	15						0,02	KV	LFMX 4.10.....
XLCFN 250325-4.00	●	29	24	50	4,1	25						0,03	KV	LFMX 4.10.....

Příloha 4 Technické parametry VBD LFMX ⁷

VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY VYMĚNITELNÉ REZNÉ DOŠTIČKY												
LFMX												
Velikost Velkost	a	tol.a	b	r _e								
1.60	1,60	±0,03	1,30	0,16								
2.00	2,00	±0,03	1,60	0,16								
2.20	2,20	±0,03	1,60	0,16								
3.10	3,10	±0,04	2,60	0,20								
4.10	4,10	±0,04	3,60	0,20								
5.10	5,10	±0,04	4,60	0,20								
6.35	6,35	±0,04	5,80	0,20								

Utvařec Utvarač	ISO	ANSI	Materiály / Materiály										κ [°]	Posuv na ot. Posuv na ot.		Hloubka řezu Hĺbka rezu	
			6640	8030										f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
	LFMX 2.00-0.16EN-F1		○	●									0	0,05	0,12	-	-
	LFMX 3.10-0.20EN-F1		○	●									0	0,05	0,15	-	-
	LFMX 4.10-0.20EN-F1		○	○									0	0,05	0,18	-	-
	LFMX 1.60-0.16SN-F2			●									0	0,05	0,10	-	-
	LFMX 2.00-0.16SN-F2		●	●									0	0,05	0,15	-	-
	LFMX 3.10-0.20SN-F2		●	●									0	0,08	0,17	-	-
	LFMX 3.10-0.20TN-F2		●	●									0	0,05	0,17	-	-
	LFMX 4.10-0.20SN-F2		○	●									0	0,08	0,22	-	-
	LFMX 4.10-0.20TN-F2		○	●									0	0,05	0,22	-	-
	LFMX 5.10-0.20SN-F2		●	●									0	0,08	0,25	-	-
	LFMX 6.35-0.20SN-F2		○	○									0	0,08	0,30	-	-
	LFMX 2.00-0.16SN-M2		●	●									0	0,08	0,17	-	-
	LFMX 2.20-0.16SN-M2		●	●									0	0,08	0,17	-	-
	LFMX 3.10-0.20SN-M2		●	●									0	0,08	0,20	-	-
	LFMX 3.10-0.20TN-M2		●	●									0	0,05	0,20	-	-
	LFMX 4.10-0.20SN-M2		●	●									0	0,08	0,25	-	-
	LFMX 4.10-0.20TN-M2		○	●									0	0,05	0,25	-	-
	LFMX 5.10-0.20SN-M2		●	●									0	0,08	0,30	-	-