CASE STUDIES Z PRŮMYSLOVÉ PRAXE

Zpráva o řešení praktických úloh vycházejících ze zadání průmyslové praxe formou Case studies

CASE STUDY č. 5

Název projektu:	**Zkvalitnění technického vzdělávání strojařů**
Kód projektu:	403401DYG5
Operační program:	Interreg VI-A Slovensko – Česko
Vedoucí partner:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Hlavní přeshraniční partner:	Žilinská univerzita v Žilině
Téma řešené case study:	**Aplikace vysokoposuvového frézování v podmínkách průmyslové výroby**
Mentor za VŠB-TUO:	Roman Pekarčík
Firemní mentor:	Ing. Martin Binder, Ph.D.
Konzultant za ŽU v Žilině:	doc. Ing. Mário Drbúl, PhD.
Zapojení studenti VŠB-TUO:	Vojtěch Vepřek Pavel Fleischmann
Zapojení studenti ŽU v Žilině:	Justín Botur Bc. Lukáš Staš

Popis řešeného problému v praxi:

Vysokoposuvové frézování je progresivní metoda obrábění s malou hloubkou záběru a extrémním posuvem, která zvyšuje efektivitu hrubovacích operací, minimalizuje vibrace a opotřebení nástroje a umožňuje bezpečné obrábění i na méně tuhých strojích. Díky vysoké efektivitě získávají strojírenské podniky na konkurenceschopnosti. Tato technologie je však náročná na zaškolené pracovníky a proto je nutné v této technologii studenty vzdělávat.

Hlavní charakteristiky

- Principem je malá axiální hloubka řezu (typicky pod 2 mm), relativně velká radiální šířka záběru a použití vysokých posuvů na zub.
- Nízká axiální hloubka řezu umožňuje extrémně vysoké posuvy při zachování správné tloušťky třísky a stability procesu.
- Řezné síly směřují převážně do osy nástroje a stroje, což snižuje vibrace a prodlužuje životnost nástroje.
- Metoda je velmi vhodná pro dynamické CNC stroje s nižším výkonem, kde konvenční hrubování není efektivní.

Frézy určené pro vysokoposuvové frézování využívají speciální geometrii čelních břitů s malým úhlem nastavení, což umožňuje efekt ztenčování třísky a bezpečný, stabilní záběr.

Klíčové výhody a využití

- Výrazně rychlejší úběr materiálu a vyšší produktivita ve srovnání s klasickými strategiemi obrábění.
- Zajištění bezpečné a stabilní operace i při dlouhém vyložení nástroje.
- Široké uplatnění: hrubování, frézování kapes, otvorů, tvářecích ploch i šroubová interpolace.
- Dlouhá životnost břitů nástroje a nižší náklady na obrábění.

1 Zadání, kontext a cíl case studie

Předmětem case studie je ověření funkčního chování nástrojů pro vysokoposuvové frézování při obrábění legované nástrojové oceli X38CrMoV5-1. Zadání vychází z potřeby posoudit, zda nově navržené řešení s břitovou destičkou WNMU 080618SR-M-P1 vykazuje dostatečnou stabilitu, kvalitu povrchu a přiměřenou silovou náročnost ve srovnání s nástroji dostupnými od konkurenčních výrobců.

Vysokoposuvové frézování se v praxi používá zejména při hrubovacích operacích, kde je cílem dosáhnout vysokého objemového úběru materiálu při zachování bezpečného zatížení břitu. Metoda využívá malou axiální hloubku řezu a výrazně vyšší posuv na zub. Oproti běžnému čelnímu frézování je proto rozhodující nejen řezná rychlost, ale hlavně kombinace posuvu, geometrie destičky a stability soustavy stroj - nástroj - obrobek.

1.1 Výchozí situace

Společnost Dormer Pramet vyvíjí a dodává nástroje pro třískové obrábění. V rámci vývoje nového nástrojového systému bylo potřeba ověřit, jak se prototypové řešení chová ve skutečných podmínkách obrábění. Pro objektivní vyhodnocení bylo zvoleno porovnání se dvěma konkurenčními variantami.

Důležitým požadavkem bylo zachovat pro všechny varianty shodné testovací podmínky. Použité frézy měly stejný maximální řezný průměr 50 mm a čtyři zuby. Lišily se geometrií břitové destičky, jakostí slinutého karbidu, konstrukčním řešením a detaily, které ovlivňují směr řezných sil, utváření třísky a výslednou kvalitu plochy.

1.2 Hlavní cíl

Hlavním cílem bylo určit, který z testovaných nástrojů poskytuje nejlepší kompromis mezi kvalitou obrobeného povrchu a zatížením vřetene stroje. Pro rozhodnutí byly použity tři parametry: průměrná drsnost Ra, největší výška profilu Rz a zatížení vřetene Pz odečtené z řídicího systému stroje.

1.3 Dílčí otázky

- Jak se mění drsnost povrchu při zvyšování posuvu na zub?
- Který nástroj vykazuje nejvyšší stabilitu při vysokých posuvech?
- Jak výrazně roste zatížení vřetene při zvýšení axiální hloubky řezu?
- Lze určit doporučenou oblast řezných parametrů pro další testování?
- Která geometrie se pro dané podmínky jeví jako nejrizikovější?

1.4 Rozsah hodnocení

Studie se zaměřuje na funkční odezvu nástrojů. Nehodnotí dlouhodobou trvanlivost břitu, detailní charakter opotřebení ani ekonomiku nákladů na jednu součást. Výsledky je proto vhodné chápat jako podklad pro výběr směru dalšího vývoje a pro nastavení navazujících zkoušek.

2 Technologický rámec vysokoposuvového frézování

Vysokoposuvové frézování, označované jako HFM nebo HFC, je technologie založená na malé axiální hloubce řezu a vysokém posuvu na zub. Její význam spočívá v tom, že umožňuje produktivně odebírat materiál i tam, kde by velký záběr vyvolával vysoké radiální síly, vibrace nebo nežádoucí průhyb obrobku.

2.1 Princip ztenčování třísky

Zásadní roli hraje malý úhel nastavení hlavního ostří. U specializovaných vysokoposuvových nástrojů je skutečná tloušťka třísky nižší než naprogramovaný posuv na zub. Díky tomuto jevu lze použít hodnoty posuvu, které by při klasické geometrii vedly k přetížení břitu.

V praxi to znamená, že rozhodující není pouze absolutní hodnota fz. Důležité je, zda konkrétní geometrie dokáže při zvolených podmínkách tvořit stabilní třísku, udržet klidný kontakt s materiálem a současně nevyvolat nadměrné vibrace.

2.2 Geometrie nástroje a směr sil

Nástroje pro HFM využívají robustní vyměnitelné břitové destičky, často s výrazně zaoblenou geometrií. Tato konstrukce zlepšuje pevnost břitu a podporuje hladicí účinek na obrobeném povrchu. Významná část zatížení je směrována axiálně do vřetene, zatímco radiální složka sil je proti běžnému frézování nižší.

Takové rozložení sil je výhodné při obrábění tenkostěnných nebo méně tuhých součástí, protože snižuje boční namáhání obrobku. Současně však klade nároky na vřeteno, upnutí a dynamiku stroje.

2.3 Výhody a omezení metody

Mezi hlavní výhody patří vysoká produktivita, nižší radiální namáhání, možnost použití delšího vyložení nástroje a dobrá stabilita při vhodně zvolené dráze. Metoda je vhodná pro hrubování ploch, dutin a tvarově složitých součástí.

Základním omezením je malá axiální hloubka řezu. Při odebírání velmi velkých přídavků může být v některých případech výhodnější klasické výkonné hrubování s větším záběrem. Dalším limitem je dynamika stroje, protože vysoké posuvy vyžadují plynulé dráhy bez rázových přechodů.

2.4 Vztah ke kvalitě povrchu

HFM je primárně hrubovací technologie, a proto nelze očekávat dokončovací kvalitu plochy. Přesto může vhodná geometrie dosahovat nízkých hodnot Ra a Rz. Pokud je však břit nevhodně zatížen nebo proces není stabilní, zhorší se především parametr Rz, který citlivě reaguje na lokální špičky profilu.

2.5 Význam zatížení vřetene

Zatížení vřetene Pz je v této zprávě použito jako praktický ukazatel silové náročnosti procesu. Samotná hodnota nezachycuje všechny řezné síly, ale při srovnání za shodných podmínek poskytuje dobré vodítko. Nástroj, který dosahuje nižšího zatížení při stejné kvalitě povrchu, má větší provozní rezervu.

3 Testované nástroje a porovnávané varianty

Do funkční zkoušky byly zařazeny tři frézovací nástroje určené pro vysokoposuvové obrábění. Všechny sestavy měly maximální řezný průměr 50 mm a čtyři zuby. Použité břitové destičky byly ze slinutého karbidu a opatřené PVD povlakem.

Výrobce	Označení frézy	Označení VBD	Jakost	DCX [mm]	z	Max. ap [mm]
Dormer Pramet	50A04R-SMOWN08-C-P1	WNMU 080618SR-M-P1	M8330	50	4	2,2
TaeguTec	TFMBL 450-22R-13	BLMP 1306R-M	TT9080	50	4	2,0
DIAEDGE / Mitsubishi Materials	WJX14-050A04AR	JOMU 140715ZZER-M	MP6120	50	4	2,0

Tabulka 1 - Přehled porovnávaných nástrojových sestav

3.1 WNMU08 - Dormer Pramet

První varianta představuje nové řešení Dormer Pramet. Fréza 50A04R-SMOWN08-C-P1 je nástrčné těleso s pravostranným směrem řezu, čtyřmi zuby a vnitřním přívodem řezné kapaliny k jednotlivým břitům. Destička WNMU 080618SR-M-P1 je oboustranná trigonová VBD se šesti využitelnými řeznými hranami. Použitá jakost M8330 s PVD povlakem je navržena pro odolnost vůči opotřebení a tepelnému namáhání.

3.2 BLMP13 - TaeguTec

Druhou variantou je fréza TFMBL 450-22R-13 s destičkou BLMP 1306R-M. Sestava patří do kategorie nástrojů pro vysoké posuvy a využívá oboustrannou trigonovou destičku s jakostí TT9080. V testu slouží jako konkurenční varianta pro posouzení kvality povrchu a zatížení stroje.

3.3 JOMU14 - DIAEDGE / Mitsubishi Materials

Třetí variantou je fréza WJX14-050A04AR s destičkou JOMU 140715ZZER-M. Jde o moderní nástroj pro vysokoposuvové frézování, rovněž se čtyřmi zuby a vnitřním přívodem chladicího média. Použitá jakost MP6120 a geometrie destičky v testu vykazují nízké zatížení vřetene.

3.4 Porovnatelnost sestav

Volba nástrojů umožňuje přímé srovnání, protože všechny sestavy pracují se stejným maximálním průměrem a stejným počtem zubů. Drobné konstrukční rozdíly jsou součástí hodnocení, protože právě tyto rozdíly ovlivňují výslednou stabilitu řezu a kvalitu povrchu.

4 Experimentální sestava a metodika měření

Funkční zkoušky byly navrženy jako srovnávací experiment. Pro každou variantu nástroje byly použity shodné řezné podmínky a stejný postup vyhodnocení. Díky tomu lze výsledky interpretovat jako přímé porovnání chování jednotlivých geometrií.

4.1 Obráběcí stroj

Testování proběhlo na tříosém vertikálním obráběcím centru ZPS MCV 1060i. Stroj je vhodný pro široké spektrum operací od silového po vysokorychlostní obrábění. Pro tuto studii byla důležitá především tuhost, výkon vřetene a schopnost realizovat vysoké posuvy.

Parametr stroje	Hodnota
Pojezd osy X	1050 mm
Pojezd osy Y	640 mm
Pojezd osy Z	800 mm
Upínací plocha stolu	1320 x 620 mm
Maximální zatížení stolu	1350 kg
Maximální otáčky vřetene	18 000 min-1
Maximální výkon vřetene	25 / 31 kW
Maximální točivý moment	159 / 197 Nm
Upínací rozhraní	HSK-A63

Tabulka 2 - Vybrané technické parametry centra ZPS MCV 1060i

4.2 Obráběný materiál

Obráběným materiálem byla legovaná nástrojová ocel X38CrMoV5-1, označovaná také jako 1.2343. Materiál byl použit v žíhaném stavu a zkušební polotovar měl rozměry 400 x 300 x 100 mm.

Prvek	Obsah [%]
C	0,36 - 0,42
Mn	0,30 - 0,50
Si	0,90 - 1,20
Cr	4,80 - 5,50
Mo	1,10 - 1,40
V	0,25 - 0,50
S	max. 0,035
P	max. 0,035

Tabulka 3 - Chemické složení oceli X38CrMoV5-1

4.3 Měřicí vybavení

Pro sběr dat byly použity tři typy měřicích zařízení. Drsnost povrchu byla měřena přenosným drsnoměrem MarSurf PS 10. Axiální a radiální házivost sestavených nástrojů byla kontrolována na přístroji ZOLLER smartcheck 450. Tvrdost polotovaru byla ověřena přístrojem Equotip 550 se sondou Leeb D.

Oblast měření	Zařízení	Účel použití
Drsnost povrchu	MarSurf PS 10	Měření Ra a Rz po dokončení obrobené plochy
Házivost nástrojů	ZOLLER smartcheck 450	Kontrola přesnosti osazení břitových destiček
Tvrdost materiálu	Equotip 550 Leeb D	Ověření vstupního stavu zkušebního polotovaru

Tabulka 4 - Měřicí vybavení použité ve studii

4.4 Řezné podmínky

Parametr	Hodnota	Poznámka
Řezná rychlost vc	180 m/min	konstantní pro všechny testy
Radiální hloubka řezu ae	30 mm	konstantní pro všechny testy
Axiální hloubka řezu ap	0,25 / 0,5 / 1,0 mm	hlavní zatěžovací úroveň
Posuv na zub fz	0,5 / 1,0 / 1,5 / 2,0 mm	sledovaný vliv na drsnost a zatížení
Otáčky vřetene n	1849 min-1	odvozeno z řezné rychlosti a průměru nástroje
Chlazení	stlačený vzduch	bez procesní kapaliny

Tabulka 5 - Přehled řezných podmínek

4.5 Postup zkoušky

1. Ověření tvrdosti polotovaru na deseti místech.
2. Upnutí nástrojů do rozhraní HSK-A63 a kontrola axiální i radiální házivosti.
3. Obrobení ploch pro jednotlivé kombinace ap a fz.
4. Zaznamenání zatížení vřetene z řídicího systému stroje.
5. Měření parametrů Ra a Rz po dokončení jednotlivých ploch.
6. Zpracování průměrných hodnot a porovnání trendů mezi variantami.

4.6 Logika vyhodnocení

Vyhodnocení se neopírá pouze o jednu nejlepší hodnotu. Důležitý je celkový trend, stabilita při zvyšování posuvu a vztah mezi kvalitou povrchu a zatížením vřetene. Za nejvhodnější je považována varianta, která při rostoucím posuvu nezpůsobuje prudké zhoršení Ra a Rz a současně nevyžaduje nadměrné zatížení stroje.

5 Vstupní kontrolní měření

Před vlastním obráběním byla provedena kontrola materiálu a sestavených nástrojů. Účelem bylo vyloučit zjevné vstupní odchylky, které by mohly zkreslit porovnání jednotlivých nástrojových variant.

5.1 Tvrdost materiálu

Tvrdost materiálu X38CrMoV5-1 byla ověřena na deseti místech. Průměrná hodnota dosáhla 309,1 HB, minimum bylo 298,5 HB a maximum 314,5 HB. Materiál tedy odpovídal předpokládanému rozmezí a byl vhodný pro realizaci zkoušek.

Měření	Tvrdost [HB]	Měření	Tvrdost [HB]
1	314,5	6	313,1
2	310,7	7	314,5
3	308,5	8	298,5
4	308,9	9	303,8
5	304,1	10	314,3
Průměr	309,1	Rozsah	298,5 - 314,5

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty tvrdosti

5.2 Axiální a radiální házivost

Pro radiální házivost byl stanoven limit 0,025 mm a pro axiální házivost 0,050 mm. Všechny sestavy tyto limity splnily. Nejvyšší radiální hodnota byla naměřena u BLMP13, a to 0,020 mm, což stále odpovídá požadované toleranci.

Varianta	Radiální házivost [mm]	Axiální házivost [mm]	Vyhodnocení
WNMU08	0,014	0,008	splněno
BLMP13	0,020	0,011	splněno
JOMU14	0,013	0,007	splněno

Tabulka 7 - Kontrola házivosti testovaných nástrojů

5.3 Dopad vstupních měření

Protože materiál splnil předpokládanou tvrdost a nástroje byly osazeny v toleranci, lze rozdíly v následujících výsledcích spojovat především s geometrií a řeznou odezvou jednotlivých sestav. Vstupní kontrola tím podporuje objektivitu dalšího hodnocení.

6 Výsledky funkční zkoušky při ap = 0,25 mm

Nejnižší testovaná axiální hloubka řezu představuje lehčí zatížení procesu. Rozdíly mezi nástroji se proto projevují hlavně v parametrech drsnosti, zatímco zatížení vřetene zůstává relativně nízké.

Nástroj	Metrika	fz 0,5	fz 1,0	fz 1,5	fz 2,0
WNMU08	Ra [µm]	1,02	1,838	2,367	5,012
WNMU08	Rz [µm]	5,3	9,178	10,505	19,76

WNMU08	Pz [%]	5,5	9,5	13,5	17,5
BLMP13	Ra [µm]	3,251	4,014	8,161	8,68
BLMP13	Rz [µm]	14,79	17,09	36,913	40,9
BLMP13	Pz [%]	6,5	11	14,5	18,5
JOMU14	Ra [µm]	2,695	2,786	4,045	6,831
JOMU14	Rz [µm]	13,845	13,2	24,105	26,845
JOMU14	Pz [%]	5,5	9,5	13	16,5

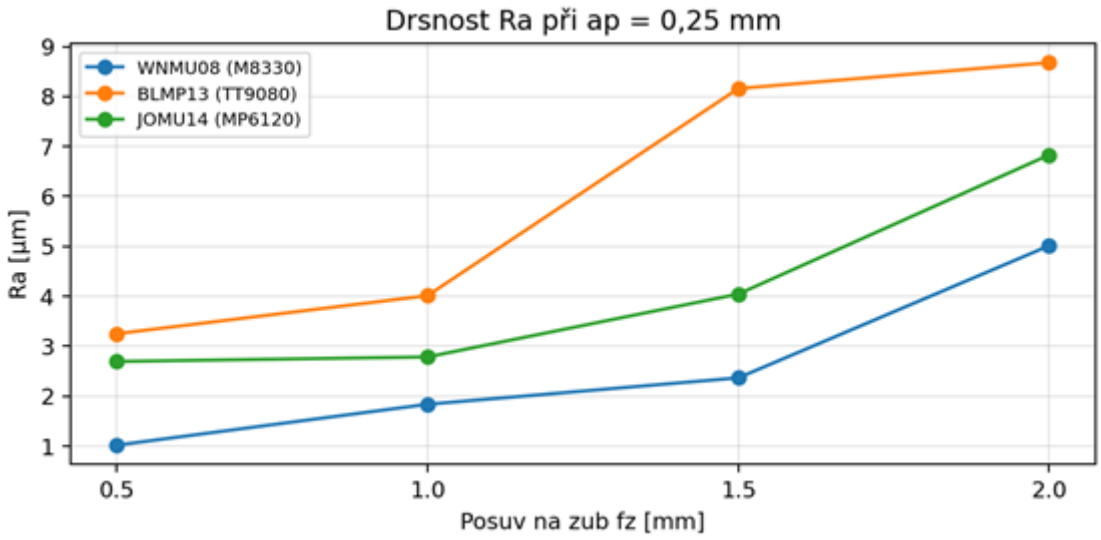
Tabulka 8 - Průměrné hodnoty při ap = 0,25 mm

Interpretace výsledků

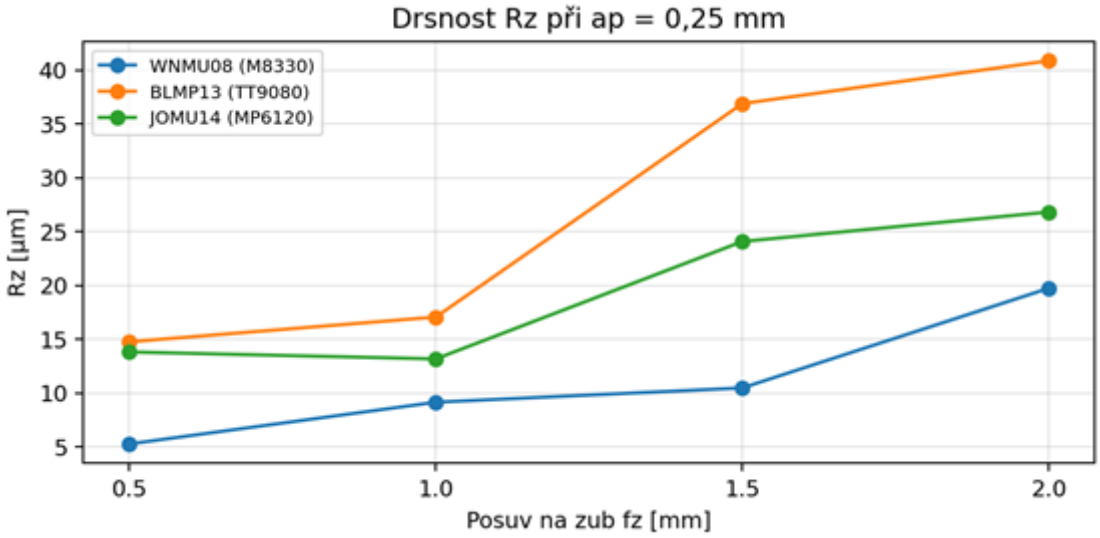
Nejstabilnější průběh vykázala varianta WNMU08. Do posuvu fz = 1,5 mm zůstala hodnota Ra pod 2,5 µm a Rz pod 11 µm. Výraznější zhoršení nastalo až při fz = 2,0 mm.

BLMP13 dosahovala vyšších hodnot drsnosti již od nejnižšího posuvu. Při fz = 1,5 mm překročilo Rz hodnotu 36 µm, což naznačuje horší utváření třísky nebo nižší stabilitu řezu.

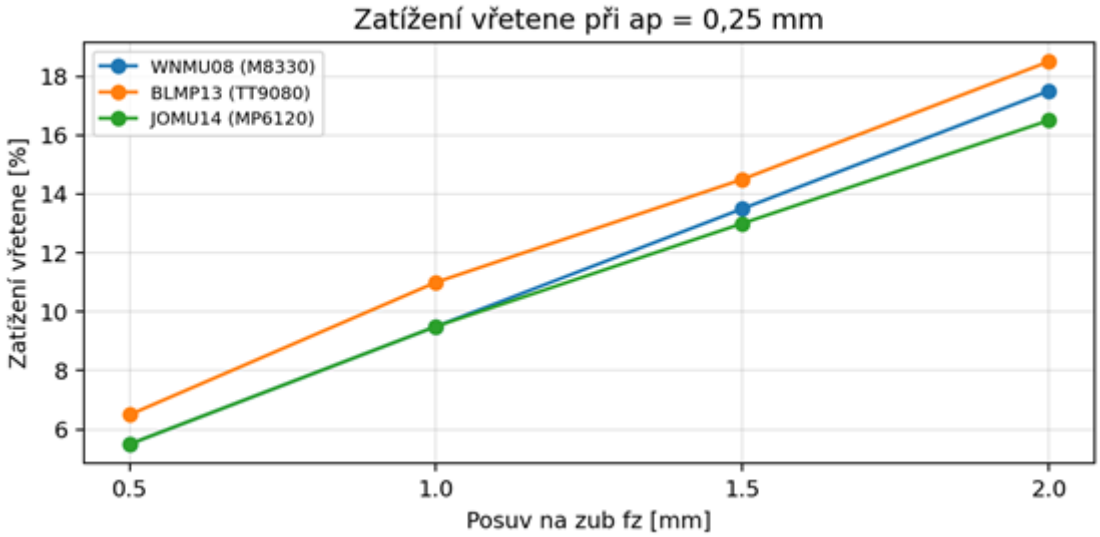
Zatížení vřetene bylo u WNMU08 a JOMU14 velmi blízké. BLMP13 zatěžovala vřeteno mírně více, a současně poskytla horší kvalitu povrchu.



Graf 6.1 - Vliv posuvu na zub na Ra při ap = 0,25 mm



Graf 6.2 - Vliv posuvu na zub na Rz při ap = 0,25 mm



Graf 6.3 - Vliv posuvu na zub na zatížení vřetene při ap = 0,25 mm

7 Výsledky funkční zkoušky při ap = 0,5 mm

Střední axiální hloubka řezu přibližuje test reálnějšímu hrubovacímu nastavení. Při této úrovni lze lépe sledovat, zda se drsnost zhoršuje plynule, nebo zda některá geometrie reaguje skokovým nárůstem hodnot.

Nástroj	Metrika	fz 0,5	fz 1,0	fz 1,5	fz 2,0
WNMU08	Ra [µm]	2,803	2,447	4,343	5,672
WNMU 08	R z [µm]	11,9 97	11,1 31	17,1 85	22,1 43

WNMU08	Pz [%]	11	19	25,5	33
BLMP13	Ra [µm]	3,608	3,69	6,822	8,734
BLMP13	Rz [µm]	14,145	17,13	28,228	35,105
BLMP13	Pz [%]	12	20	27	34,5
JOMU14	Ra [µm]	2,008	1,984	3,523	5,542
JOMU14	Rz [µm]	9,302	9,901	22,821	24,172
JOMU14	Pz [%]	10	18	24	31,5

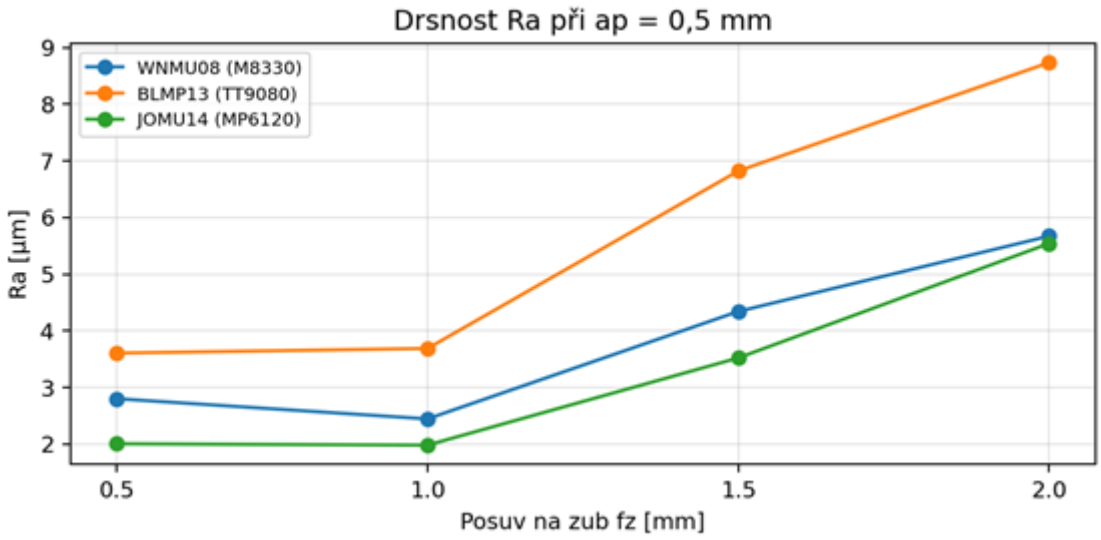
Tabulka 9 - Průměrné hodnoty při ap = 0,5 mm

Interpretace výsledků

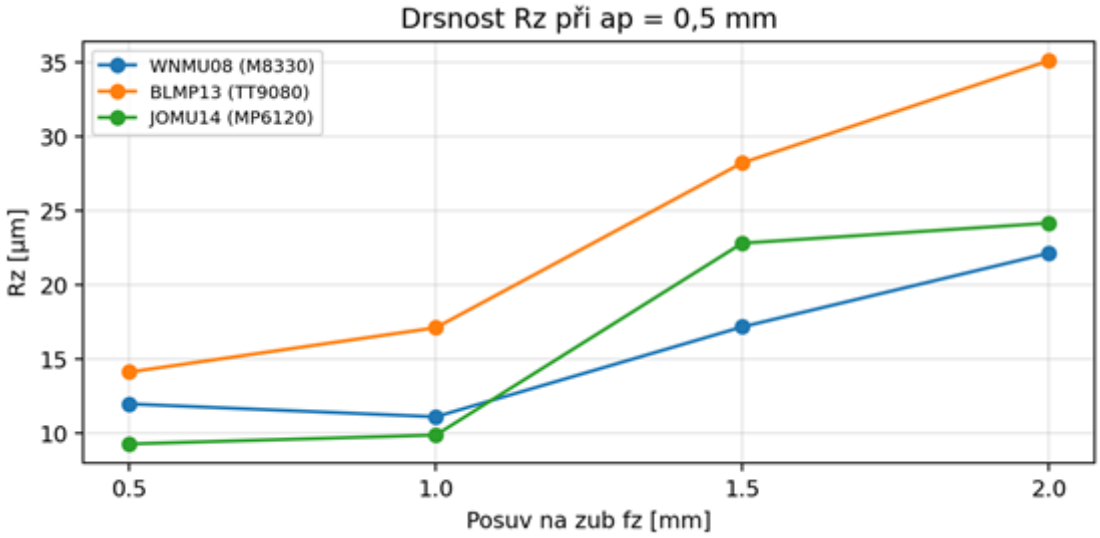
U WNMU08 i JOMU14 se mezi fz = 0,5 mm a fz = 1,0 mm projevil stabilní průběh. U WNMU08 došlo dokonce k mírnému zlepšení Ra i Rz, což ukazuje na vhodné utváření třísky v této oblasti.

JOMU14 dosáhla při nižších posuvech nejnižší drsnosti, ale při vyšších posuvech se její hodnoty přiblížily WNMU08. BLMP13 znovu vykázala nejvyšší Ra i Rz.

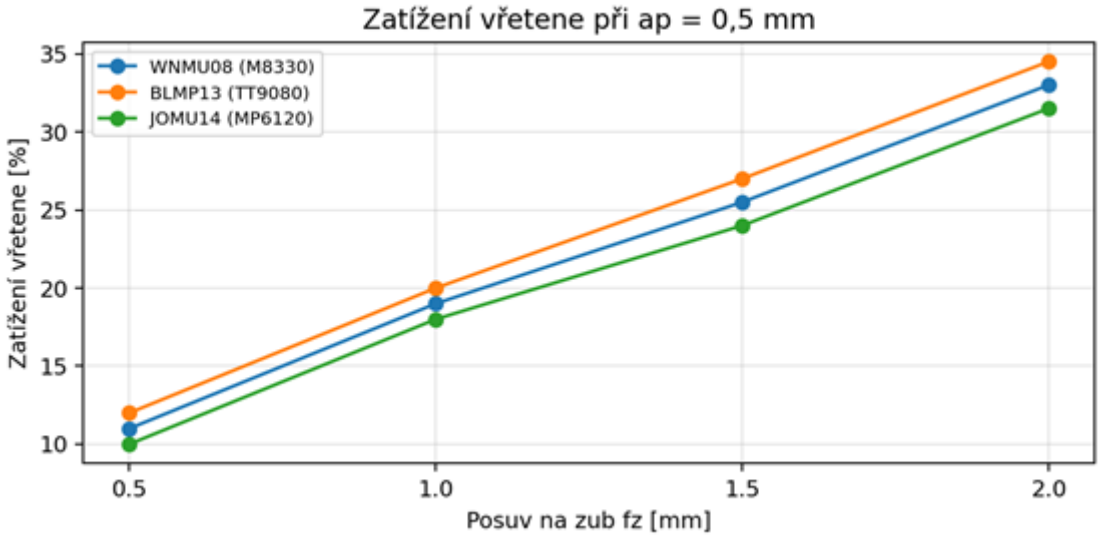
Zatížení vřetene rostlo u všech variant téměř lineárně. Nejnižší hodnoty si udržela JOMU14, nejvyšší BLMP13. Rozdíly v zatížení jsou však menší než rozdíly v kvalitě povrchu.



Graf 7.1 - Vliv posuvu na zub na Ra při ap = 0,5 mm



Graf 7.2 - Vliv posuvu na zub na Rz při ap = 0,5 mm



Graf 7.3 - Vliv posuvu na zub na zatížení vřetene při ap = 0,5 mm

8 Výsledky funkční zkoušky při ap = 1 mm

Maximální testovaná axiální hloubka řezu představuje nejvyšší zatížení soustavy v rámci studie. Tato část ukazuje, které geometrie dokážou udržet stabilní řez při současně vyšším posuvu a vyšším úběru materiálu.

Nástroj	Metrika	fz 0,5	fz 1,0	fz 1,5	fz 2,0
WNMU08	Ra [µm]	3,3 11	2,4 76	3,7 95	4,5 21

WNM U08	Rz [µm]	14, 108	11, 728	16, 332	19, 888
WNM U08	Pz [%]	20	36	51, 5	66
BLMP 13	Ra [µm]	4,0 6	3,8 18	7,2 88	6,7 64
BLMP 13	Rz [µm]	16, 14	17, 585	28, 052	28, 026
BLMP 13	Pz [%]	21, 5	37, 5	53	68
JOMU 14	Ra [µm]	2,0 93	2,8 64	4,4 7	6,2 6
JOMU 14	Rz [µm]	9,3 73	12, 632	20, 119	25, 252
JOMU 14	Pz [%]	20	34	48	63

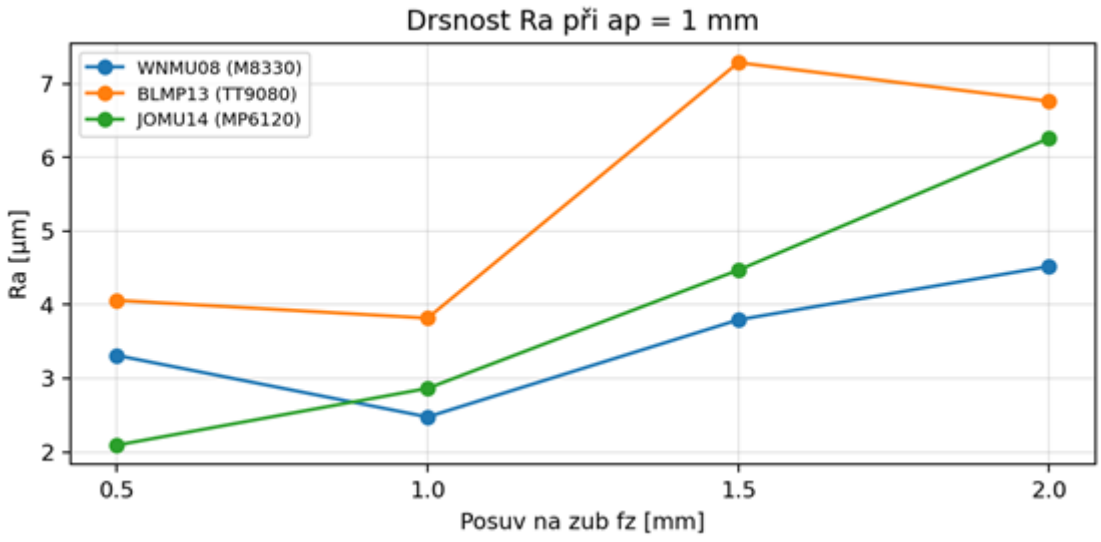
Tabulka 10 - Průměrné hodnoty při ap = 1 mm

Interpretace výsledků

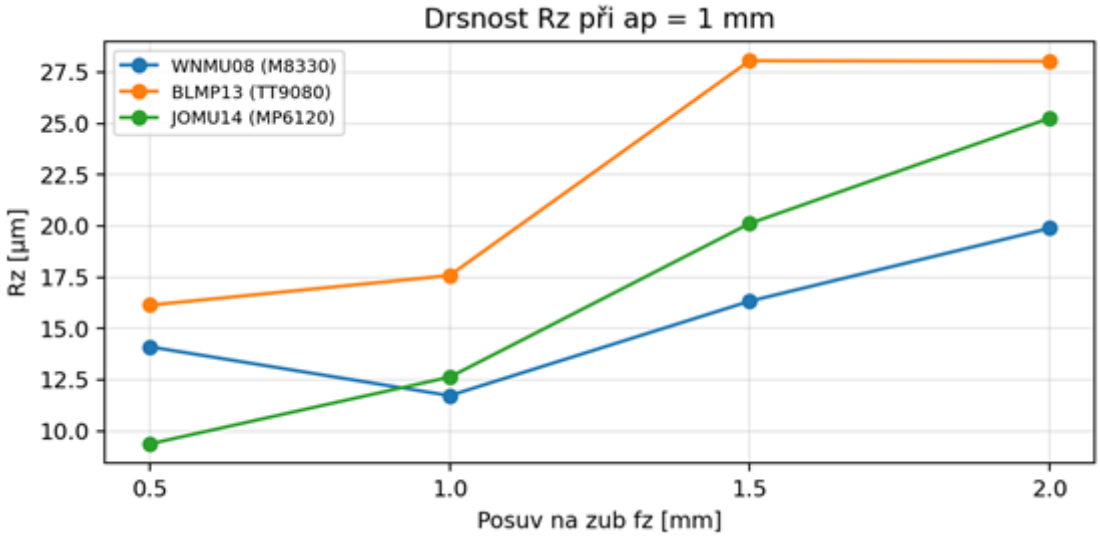
WNMU08 znovu prokázala velmi dobré chování v oblasti fz = 1,0 mm. Ra kleslo z 3,311 µm na 2,476 µm a Rz z 14,108 µm na 11,728 µm, což potvrzuje stabilní pracovní oblast této geometrie.

Při fz = 2,0 mm dosáhla WNMU08 nejlepších hodnot z hlediska kvality povrchu. JOMU14 měla nižší zatížení vřetene, ale při vysokých posuvech rostla drsnost rychleji.

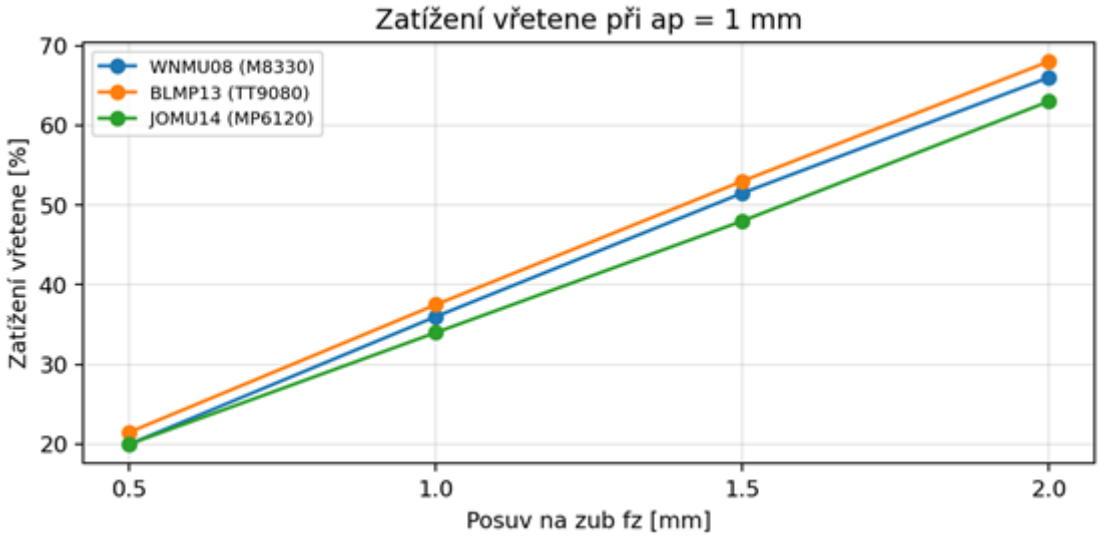
BLMP13 opět vykázala nejméně příznivou kombinaci ukazatelů. Při nejvyšším úběru zatížila vřeteno na 68 % a současně nedosáhla kvality povrchu srovnatelné s WNMU08.



Graf 8.1 - Vliv posuvu na zub na Ra při ap = 1 mm



Graf 8.2 - Vliv posuvu na zub na Rz při ap = 1 mm



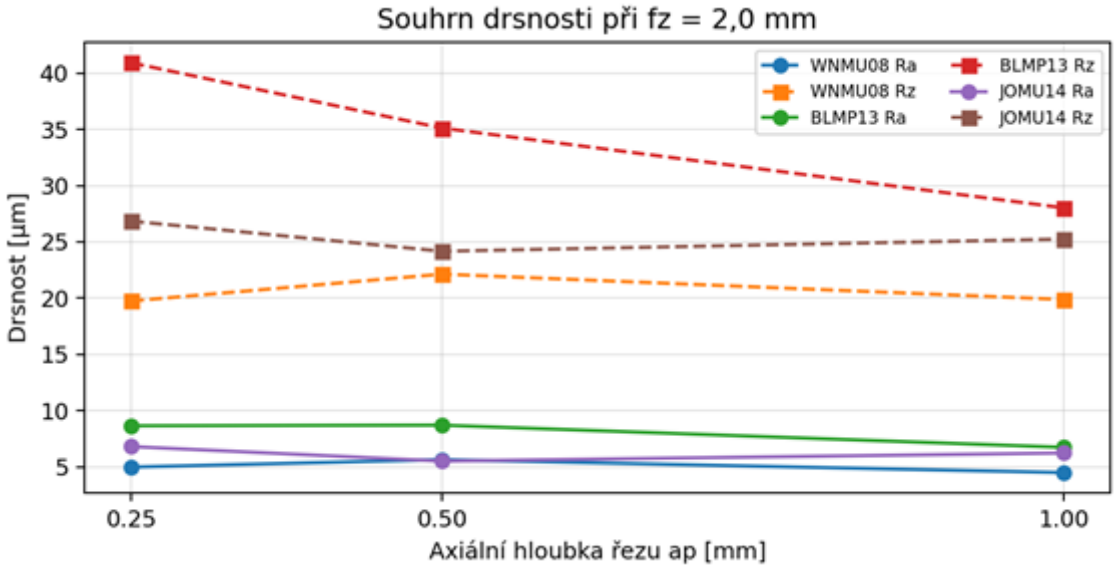
Graf 8.3 - Vliv posuvu na zub na zatížení vřetene při ap = 1 mm

9 Souhrnné porovnání a interpretace

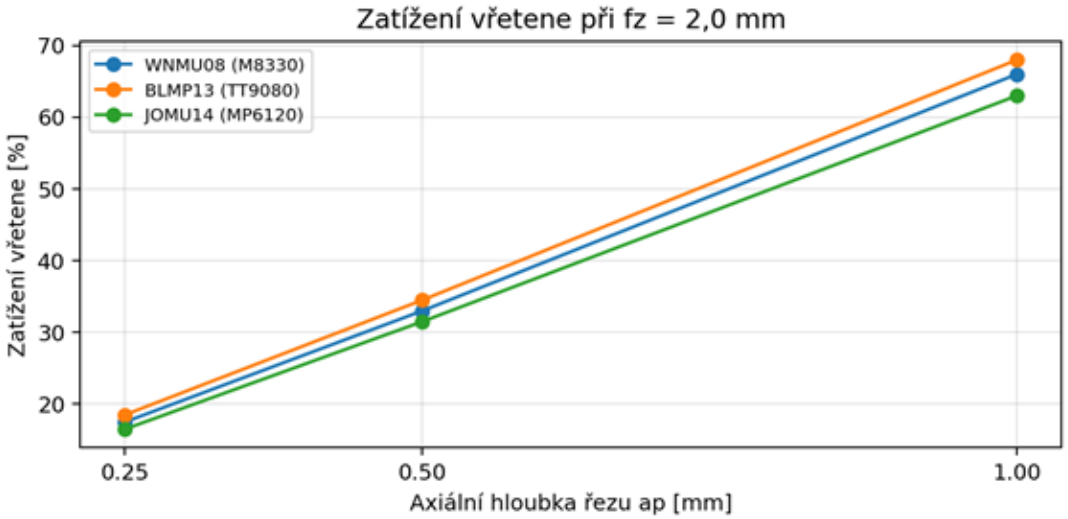
Souhrnné porovnání spojuje výsledky ze všech tří hloubek řezu. Pro praktické rozhodování je důležité posoudit nejen absolutní minimum drsnosti, ale také trend při zvyšování posuvu a vztah mezi kvalitou povrchu a zatížením stroje.

9.1 Chování při nejvyšším testovaném posuvu

Posuv fz = 2,0 mm představuje horní hranici zvoleného rozsahu. V této oblasti se nejvýrazněji projevuje rozdíl mezi jednotlivými geometriemi. WNMU08 poskytla nejlepší kvalitu povrchu, JOMU14 nejnižší zatížení vřetene a BLMP13 zůstala nejslabší z hlediska kombinace obou ukazatelů.



Graf 9.1 - Souhrn drsnosti při fz = 2,0 mm



Graf 9.2 - Souhrn zatížení vřetene při fz = 2,0 mm

9.2 Rozhodovací matice

Následující matice shrnuje technické hodnocení. Hodnota 1 znamená nejpříznivější výsledek ve sledované oblasti, hodnota 3 nejslabší výsledek. Hodnocení vychází z celkového trendu naměřených dat.

Varianta	Kvalita povrchu	Zatížení vřetene	Stabilita trendu	Interpretace
WNMU08	1	2	1	nejlepší kompromis pro další vývoj a provozní ověření
JOMU14	2	1	2	nejnižší zatížení, vhodné při omezené rezervě stroje
BLMP13	3	3	3	nejméně vhodná varianta ve zvolených podmínkách

Tabulka 11 - Rozhodovací matice pro technické vyhodnocení

9.3 Optimální oblast posuvu

U WNMU08 se opakovaně projevila stabilizace nebo zlepšení drsnosti v oblasti fz = 1,0 mm. Stejný jev se částečně objevil také u JOMU14. Lze předpokládat, že při příliš nízkém posuvu nemusí být geometrie v optimálním režimu utváření třísky. Po dosažení vhodné tloušťky třísky začne břit pracovat stabilněji.

Pro další testování se proto doporučuje zaměřit se na interval fz = 1,0 až 2,0 mm a doplnit jemnější odstupňování hodnot, například 1,2, 1,4, 1,6 a 1,8 mm. Takový postup by umožnil přesněji určit hranici, při které se začne kvalita povrchu zhoršovat.

10 Doporučení pro praxi

Doporučení jsou vztažena ke konkrétním podmínkám studie: materiál X38CrMoV5-1, řezná rychlost 180 m/min, radiální hloubka řezu 30 mm, chlazení stlačeným vzduchem a frézy o průměru 50 mm. Při změně těchto podmínek je vhodné výsledky ověřit doplňujícím testem.

10.1 Doporučení pro WNMU08

- Považovat WNMU08 za hlavní variantu pro další provozní ověření.
- Jako výchozí stabilní nastavení použít oblast fz = 1,0 mm.
- Pro produktivní hrubování dále testovat fz = 1,5 až 2,0 mm, zejména při ap = 1,0 mm.
- Doplnit dlouhodobější zkoušku trvanlivosti a sledovat charakter opotřebení břitů.

10.2 Doporučení pro JOMU14

- Vhodná varianta pro situace, kde je hlavním limitem zatížení vřetene.
- Při nižších a středních posuvech poskytuje velmi dobrou kvalitu povrchu.
- Při posuvech nad fz = 1,0 mm je nutné sledovat rychlejší nárůst drsnosti.
- Může sloužit jako šetrnější alternativa pro stroje s menší výkonovou rezervou.

10.3 Doporučení pro BLMP13

- Ve zvolených podmínkách ji nepovažovat za preferovanou volbu pro nízkou drsnost povrchu.
- Při vyšších posuvech počítat s výrazným nárůstem Rz a vyšším zatížením vřetene.
- Před nasazením ověřit jiné řezné podmínky, odlišnou strategii dráhy nebo způsob chlazení.

10.5 Rizika při interpretaci

Výsledky jsou jednoznačné pro použité podmínky, ale nelze je automaticky přenést na všechny stroje, materiály a strategie. Jiná tuhost upnutí, odlišný NC program, jiné vyložení nástroje nebo jiný stav materiálu mohou změnit absolutní hodnoty. Relativní pořadí variant je však dobrým vodítkem pro další rozhodování.

11 Závěr

Případová studie prokázala, že nový nástrojový systém Dormer Pramet s destičkou WNMU 080618SR-M-P1 je ve sledovaných podmínkách velmi konkurenceschopný. Z hlediska celkového poměru kvality povrchu a zatížení stroje představuje nejvýhodnější řešení. Nejdůležitějším poznatkem je stabilní chování WNMU08 při vyšších posuvech, kde si varianta udržela nejlepší hodnoty Ra a Rz.

JOMU14 byla silným konkurentem zejména kvůli nízkému zatížení vřetene. Tato vlastnost může být rozhodující u strojů s menší výkonovou rezervou nebo u aplikací citlivých na zatížení soustavy. Při vysokých posuvech však JOMU14 nedosáhla tak příznivé kvality povrchu jako WNMU08.

BLMP13 se v rámci testu ukázala jako nejméně vhodná. Ve většině sledovaných bodů měla nejvyšší drsnost a současně nejvyšší zatížení vřetene. Pro stejnou operaci neposkytla zřetelnou výhodu, která by horší hodnoty Ra, Rz a Pz kompenzovala.

Za prakticky důležitou lze považovat opakovanou stabilizaci kvality povrchu kolem fz = 1,0 mm. Tento bod by měl být využit jako výchozí nastavení pro další testy. Pro produktivní režim je naopak zajímavá oblast fz = 2,0 mm, v níž se WNMU08 jeví jako nejperspektivnější varianta.

Stručné shrnutí

- Nejlepší celkové hodnocení: WNMU08.
- Nejnižší zatížení vřetene: JOMU14.
- Nejméně vhodná varianta ve zvolených podmínkách: BLMP13.
- Doporučený výchozí bod pro stabilní řez: fz = 1,0 mm.
- Doporučená oblast pro další produktivní ověřování: fz = 1,5 až 2,0 mm s důrazem na WNMU08.