



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TRVANLIVOSTNÍ TESTOVÁNÍ  
VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK  
PŘI VÁLCOVÉM SOUSTRUŽENÍ UHLÍKOVÉ  
OCELI

DURABILITY TESTING OF REPLACEABLE INSERTS IN CYLINDRICAL TURNING OF  
CARBON STEEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Smolík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2023

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Martin Smolík</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23

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:

## **Trvanlivostní testování vyměnitelných břitových destiček při válcovém soustružení uhlíkové oceli**

### **1 Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Diplomová práce bude zaměřena na analýzu opotřebení vyměnitelných břitových destiček (VBD) vyrobených ze slinutých karbidů při válcovém soustružení uhlíkové oceli. Součástí práce bude analýza procesu obrábění spojená s provedenými řeznými zkouškami, které budou zaměřeny na analýzu obrobeného povrchu. V práci bude provedena rovněž analýza obrobeného materiálu. Práce bude ukončena zpracováním naměřených dat, ze kterých bude patrná trvanlivost testovaných VBD.

### **2 Cíle diplomové práce:**

Teoretický a technický rozbor řešené problematiky.

Provedení řezných zkoušek (návrh metodiky, analýza opotřebení břitů, rozbor třísky a integrity povrchu).

Analýza opotřebení břitů VBD.

Zpracování naměřených dat (vyhodnocení provedených experimentů).

### **3 Seznam doporučené literatury:**

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou z oblasti trvanlivostního testování vyměnitelných břitových destiček pro podélné soustružení oceli.

Hlavním cílem práce je analýza řezného procesu založena na výsledcích provedených řezných zkoušek. Řezné zkoušky budou realizovány komparativně testováním dvojic vzájemně porovnávaných destiček. Pozorování opotřebení probíhá optickou metodou s využitím dílenského mikroskopu a speciálního softwaru, určeného ke zpracování získaných snímků.

Výstupem práce bude ilustrace rozdílného chování standartní a inovované sady řezných destiček za různých konfigurací řezných podmínek. Práce poskytuje ucelený pohled na proces testování řezných nástrojů a kvantifikuje míru vlivu jednotlivých faktorů vstupujících do procesu opotřebení břitu.

### Klíčová slova

trvanlivostní testování, břitové destičky, vyměnitelnost, válcové soustružení, uhlíková ocel, opotřebení, měření opotřebení, kontrola kvality, výrobní proces, materiálové vlastnosti, technické parametry, optimalizace výroby, strojní inženýrství, výzkum a vývoj, hodnocení výkonu

## ABSTRACT

The thesis deals with the problems in the field of durability testing of replaceable inserts for longitudinal steel turning.

The main objective of the thesis is the analysis of the cutting process based on the results of the performed cutting tests. The cutting tests will be carried out comparatively by testing pairs of inserts, compared to each other. Wear observation is carried out by optical method using a workshop microscope and special software designed to process the acquired images.

The output of the work will be an illustration of the different behaviour of the standard and the upgraded set of cutting inserts under different configurations of cutting conditions. The work provides a comprehensive view of the cutting tool testing process and quantifies the degree of influence of the various factors entering into the cutting edge wear process.

### Keywords

durability testing, inserts, replaceability, cylindrical turning, carbon steel, wear, wear measurement, quality control, manufacturing process, material properties, technical parameters, production optimization, mechanical engineering, research and development, performance evaluation

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMOLÍK, Martin. *Trvanlivostní testování vyměnitelných břitových destiček při válcovém soustružení uhlíkové oceli* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149657>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Trvanlivostní testování vyměnitelných břitových destiček při válcovém soustružení uhlíkové oceli vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....  
místo, datum

.....  
Martin Smolík

---

## PODĚKOVÁNÍ

Vážený pane docente Sedláku,

tímto bych chtěl vyjádřit své upřímné díky za Vaši vynikající podporu a vedení během psaní této diplomové práce. Vaše odborné znalosti, nápady a konstruktivní zpětná vazba byly pro mě velkým přínosem a pomohly mi vytvořit kvalitní výslednou práci.

Rovněž bych chtěl poděkovat firmě Dormer Pramet s.r.o. za poskytnutí nezbytných prostředků a podpory v průběhu mého výzkumu. Bez Vaší spolupráce bych nedokázal získat potřebné informace a data, které byly klíčové pro úspěšné dokončení této práce.

Děkuji Vám, výše zmíněným za vynikající profesionální přístup, dále také rodině a přátelům za trpělivost a podporu, bez které bych nemohl dosáhnout tohoto důležitého milníku v mém akademickém vzdělávání.

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	10
1 technologie Soustružení .....	10
1.1 Řezné podmínky .....	11
1.2 Upínání nástrojů .....	12
1.3 Stroje pro průmyslové soustružení .....	13
1.4 Soustružnické nástroje .....	14
1.5 Soustružnické nože .....	15
1.6 Materiály soustružnických nožů .....	16
1.7 Moderní technologie výroby vyměnitelných břitových destiček .....	17
2 Trvanlivost řezných destiček .....	19
2.1 Kritéria opotřebení .....	20
3 Taylorova závislost .....	22
3.1 Taylorova závislost za proměnlivé řezné rychlosti .....	22
3.2 Posuzování trvanlivosti .....	22
3.3 Taylorova závislost za proměnlivého strojního posuvu .....	23
4 Materiálová analýza .....	24
4.2 Analýza struktury materiálu .....	25
4.3 Spektrometrické pozorování .....	26
4.4 Analýza mikrotvrdosti materiálu .....	26
4.4.1 Vědecká laboratoř .....	26
4.4.2 Dílenská laboratoř .....	28
4.4.3 Porovnání výsledků .....	33
5 Proces testování .....	34
5.1 Vstupní parametry .....	35
6 Komparační testování trvanlivosti .....	37
6.1 Princip získání dat .....	37
6.2 Nastavování řezných podmínek .....	38
6.3 Předepsané řezné podmínky .....	38
6.4 Průběh testování .....	39
6.5 Vliv geometrie utvařeče .....	40
7 Analýza jakosti obrobené plochy .....	42
8 Analýza vzorků odebrané třísky .....	44
9 Datová analýza .....	47
9.1 Hodnocení míry vlivu řezné rychlosti a posuvu na trvanlivost .....	47
9.2 Komparační testování břitů s odlišnou geometrií utvařeče třísky .....	51
9.2.1 Hodnocení vlivu geometrie utvařeče třísky .....	52
9.3 Nepřesnost dat v důsledku rozdílného chování totožných břitů .....	54
ZÁVĚR .....	55



---

## ÚVOD

Vývoj nových produktů je dlouhý a komplikovaný proces od prvotní myšlenky k uvedení na trh. Jedním ze závěrečných, a přesto zcela zásadních kroků je testování funkčnosti a spolehlivosti. Testování mívá dvě fáze, interní testování uvnitř firmy a externí testování pro zajištění nezávislých výsledků.

Firma Dormer Pramet s.r.o. vyvinula nový typ povlakovaných řezných destiček určených k podélnému soustružení ocelí. Na základě interních testů nově vyvinuté sady břitů dodavatel určil jejich trvanlivost při konkrétních řezných podmínkách. Předepsaná trvanlivost je poté uvedena u každé destičky jako hodnota umožňující efektivní práci s nástrojem. Z toho důvodu je nutné, aby reálné hodnoty trvanlivosti odpovídaly trvanlivosti naměřené při interním testování.

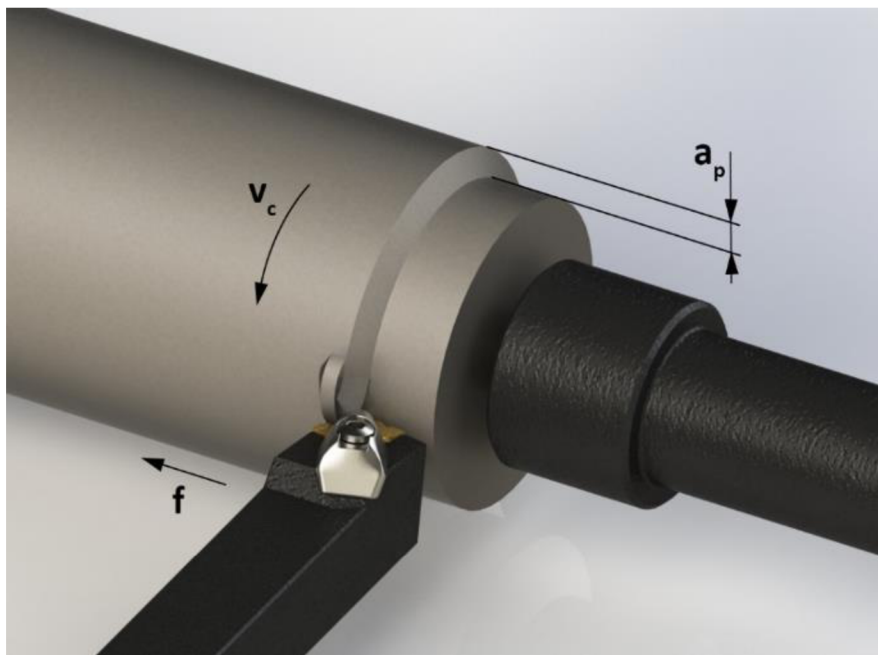
Cílem této práce bylo otestovat nově vyvinutou sadu břitových destiček při zadaných vstupních parametrech (řezné podmínky). Současně s testováním nových břitů budou prováděny testy aktuální sady (standardní) z nabídky Dormer Pramet s.r.o. z důvodu porovnání dosažených výsledků. Testování bude probíhat externě mimo firmu, konkrétně v prostorách Ústavu strojírenské technologie při FSI VUT v Brně. Celý proces testování bude pečlivě dokumentován s využitím mikroskopu. Naměřená data budou analyticky zpracována, s jejich využitím budou sestaveny trvanlivostní závislosti se zahrnutím vlivu řezné rychlosti (T-v) a se zahrnutím vlivu posuvu (T-f). Výsledky budou porovnány s daty z interních testů dodavatele a bude zhodnocena míra dosažení cílů testu. Práce bude také doplněna o rozbor třísky, odebrané při jednom z testů, ze kterého je patrný vývoj charakteru třísky v závislosti na míře opotřebení bříty. S využitím moderních technologií bude také podrobně analyzován obráběný materiál, u kterého bude mezi testy pravidelně měřena tvrdost.

## 1 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je jeden z nejrozšířenějších a zároveň nejjednodušších, ve strojírenské praxi užívaných, procesů třískového obrábění. Úběr materiálu je realizován kontaktem zpravidla jednobřitého řezného nástroje a polotovaru, materiál je z místa řezu odváděn ve formě třísky viz obr. 1.1. Soustružení se využívá zpravidla ke zhotovování rotačně symetrických součástí z válcových polotovarů s vnitřními či vnějšími tvarovými plochami, řezání závitů vnitřních i vnějších, anebo vrtání soustředných děr. Výsledný řezný pohyb má tvar Archimédovy spirály a skládá se z hlavního řezného pohybu, což je rotace polotovaru okolo vlastní osy a vedlejšího translačního pohybu řezného nástroje rovnoběžného s osou polotovaru. [1,2]

Řezný proces je ovlivňován řadou vnějších vlivů. Vstupními činiteli jsou materiál polotovaru, jeho mechanické vlastnosti jako tvrdost či obrobiteľnosť. Optimalizace řezného procesu se provádí nastavováním vzájemně propojené trojice hodnot:

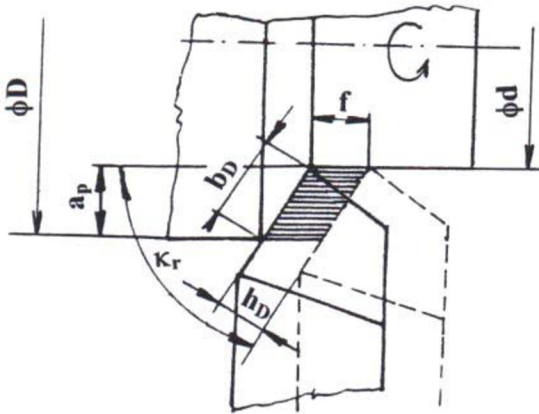
- posuv  $f$  [mm],
- řezná rychlost  $v_c$  [ot/min],
- šířka záběru ostří  $a_p$  [mm].



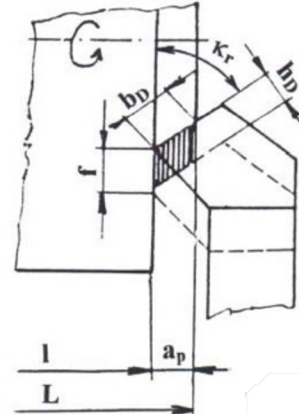
Obr. 1.1 Vstupní veličiny řezného procesu pro soustružení.

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot min^{-1}], \quad (\text{Rov. 1.1})$$

kde: **D** [mm] : průměr obráběné plochy,  
**n** [min<sup>-1</sup>] : otáčky obrobku,  
**f** [mm] : posuv na otáčku obrobku.[1]



Obr. 1.2 Podélné soustružení. [1]



Obr. 1.3 Čelní soustružení. [1]

<b>a<sub>p</sub></b> : šířka záběru ostří,	<b>D</b> : průměr obráběné plochy,
<b>b<sub>D</sub></b> : jmenovitá šířka třísky,	<b>d</b> : průměr obrobené plochy,
<b>h<sub>D</sub></b> : jmenovitá tloušťka třísky,	<b>L</b> : délka obráběné plochy,
<b>κ<sub>r</sub></b> : nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,	<b>l</b> : délka obrobené plochy. [1]

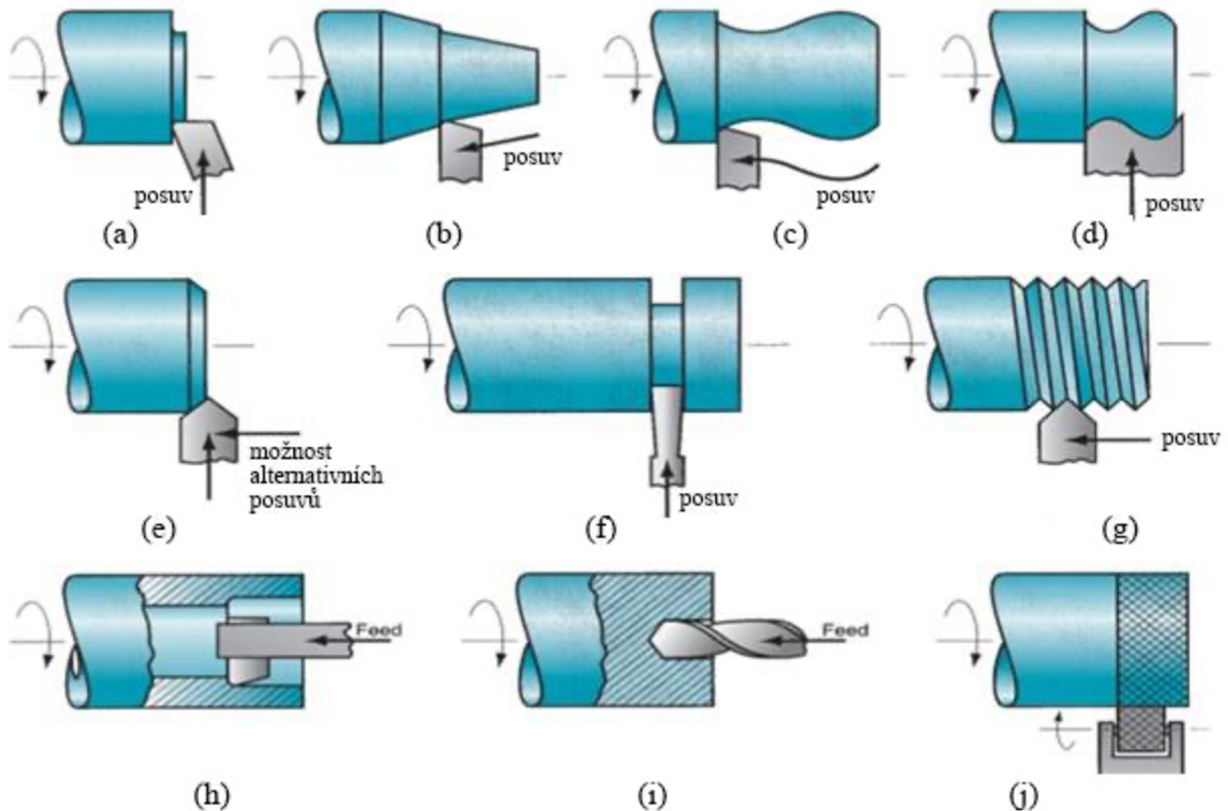
## 1.1 Řezné podmínky

Řezné podmínky, ovlivňují přímo samotný proces utváření třísky, kvalita obrobeného povrchu, množství tepla vneseného do materiálu a trvanlivost nástroje. Řeznou rychlost stanovuje výrobce řezných nástrojů vždy pro daný materiál, posuv a šířku záběru ostří je potřeba zvolit vhodně tak, aby docházelo k tvorbě vhodného typu třísky. Pro ilustraci: za konstantní šířky záběru ostří  $a_p$  a při zvyšování hodnoty posuvu  $f$  dochází k proměně třísky z dlouhých spirál až k drobné elementární tříse.

Nastavení řezných podmínek závisí na fázi soustružení, hrubovací proces je charakteristický větší hodnotou šířky záběru ostří  $a_p$ , typicky nabývajících hodnot 0,70 až 7,00 mm, strojním posuvem  $f$  s hodnotami řádově 0,20 až 0,50 mm a nižší kvalitou obrobeného povrchu, při dokončování je naopak upřednostňována kvalita povrchu a zredukována míra úběru (prodloužením strojního času). [1,3]

Soustružení nám z důvodu fixovaných os umožňuje omezený počet možných operací:

- podélné tvarové soustružení,
- čelní soustružení,
- zapichování,
- soustružení kuželových ploch apod. viz obr.1.4



Obr. 1.4 Soustružnické operace. [4]

- |                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| (a) čelní soustružení               | (f) zapichování        |
| (b) soustružení kuželové plochy     | (g) soustružení závitů |
| (c) podélné tvarové soustružení     | (h) vyvrtávání         |
| (d) tvarové zapichovací soustružení | (i) vrtání             |
| (e) srážení hrany                   | (j) vroubkování        |

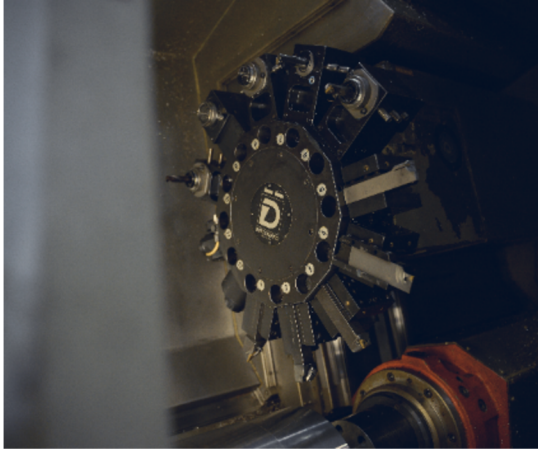
## 1.2 Upínání nástrojů

Proces fixace obrobku k tělu soustruhu je nazýván upínání, to je prováděno nejčastěji pomocí čelistových sklíčidel s možností využití unášče k eliminaci průhybu u dlouhých polotovárů. Parametrem dlouhého polotovaru je překročení poměru délky polotovaru a průměru obráběné plochy 2:3.

Naopak u polotovárů přesahujících svým průměrem maximální upínatelný rozměr je k dosažení stabilního soustředného upnutí obrobku ke stroji využívána upínací deska.

V průběhu rezného procesu působí na nástroj složky rezné síly, jejíž výslednice má za následek jeho ohybové namáhání. S cílem možná co nejvíce toto namáhání eliminovat je kladen při upínání nástroje zřetel na minimalizaci vyložení nástroje a co nejspolehlivější uchycení. K ustavení nožů do pracovní polohy vůči polotovaru je u standartních soustruhů užívána nožová hlava. Otočná nožová hlava na obr. 1.6 umožňuje upnutí až čtyř nožů současně.

U svislých či revolverových soustruhů je uložení nástrojů realizováno s využitím revolverových držáků viz obr. 1.5, či speciálních zásobníků. [1,2]



Obr. 1.5 Revolverový držák nástrojů.



Obr. 1.6 Otočná nožová hlava.

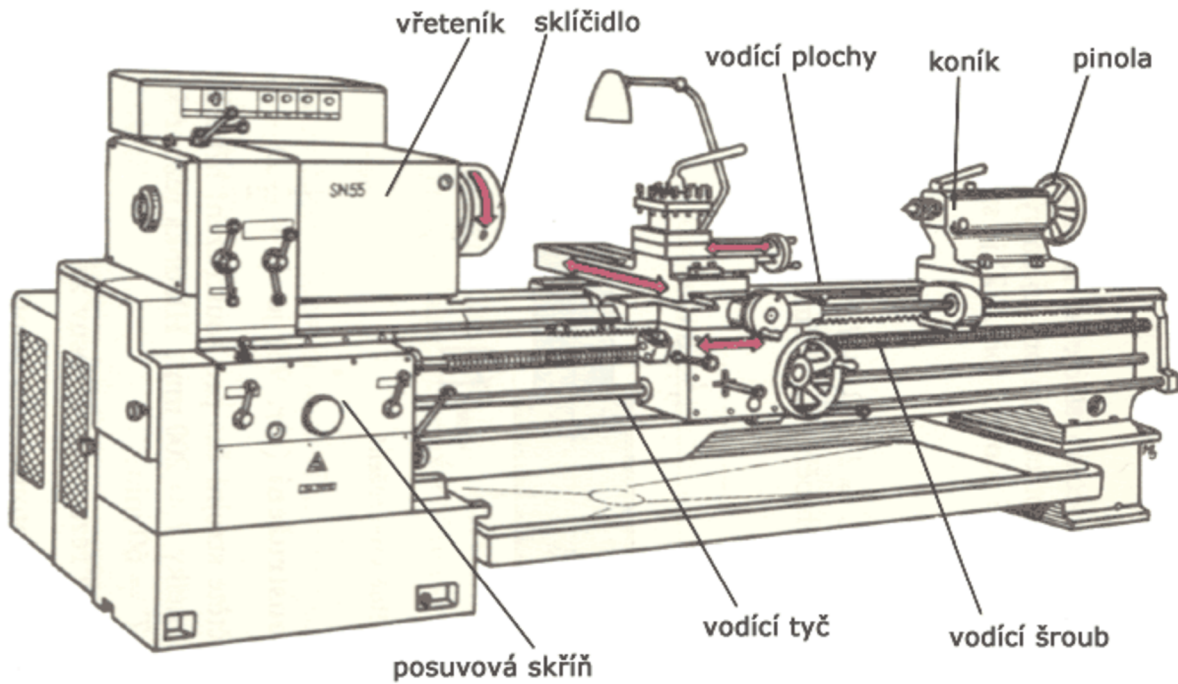
### 1.3 Stroje pro průmyslové soustružení

Soustruh, nacházející se na obr. 1.7, je stroj užívaný pro třískové obrábění a skládá se ze tří základních částí: vřeteníku, lože a koníku. Vřeteník je část soustruhu zajišťující rotační pohyb vřetene, lože zajišťuje naopak vedlejší pohyb. Zásadní vlastností soustruhu je tuhost, vyjadřující schopnost konstrukce tlumit vibrace vzniklé při obrábění, proto bývají těla soustruhů vyrobena z litiny, která má skvělé tlumící vlastnosti.

Nejznámějším zástupcem strojů ke strojový soustruh, který disponuje buď analogovým, či numerickým ovládním posuvů. Tyto soustruhy mají své využití nejčastěji v kusové až hromadné výrobě součástí standardních rozměrů a tolerancí.

K produkci součástí s nestandardními požadavky, k jejichž zhotovení nedostačuje univerzální hrotový soustruh popsany výše jsou používány soustruhy specializované.

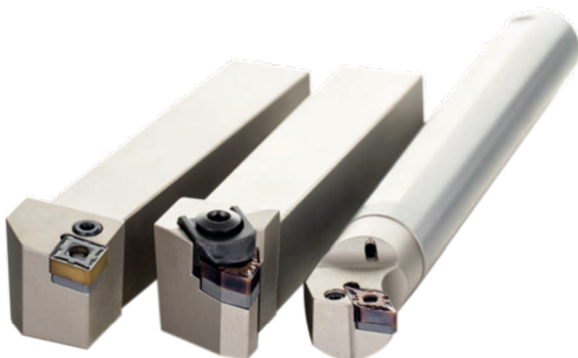
K obrábění polotovarů s příliš velkým průměrem a zejména vysokou hmotností se využívá vertikálních soustruhů, takzvaných karuselů. Nadstandardní velikosti průměrů umožňuje také čelní soustruh, lišící se od univerzálního hrotového soustruhu systémem upínání. Sklíčidlo je nahrazeno upínací deskou. K sériové produkci součástí standardních rozměrů je užíván takzvaný revolverový soustruh, který konstrukcí připomíná univerzální hrotový soustruh doplněný o uzavírací pracovní prostor podobný CNC obráběcím centrům. Název je odvozen od zásobníku nástrojů, které jsou uloženy po obvodu jako náboje revolveru. Rychlá výměna nástrojů umožňuje maximalizovat produktivitu zejména u součástí obráběných velkým počtem rozdílných nožů. [1,3,5]



Obr. 1.7 Univerzální hrotový soustruh s popisem základních komponent. [6]

## 1.4 Soustružnické nástroje

Soustružení je univerzální řezný proces umožňující zhotovovat širokou škálu tvarových ploch. Princip tkví v kontaktu řezného nástroje s válcovým obrobkem rotujícím okolo vlastní osy, při kterém dochází k oddělování vrstev materiálu, odcházejících ve formě třísky. Mezi tyto nástroje se řadí v první řadě soustružnické nože různých tvarů a geometrií na obr. 1.8. Pro vrtání soustředných děr na soustruhu jsou užívány sady destičkových vrtáků a navrtávků viz obr. 1.9. [1]



Obr. 1.8 Soustružnické nože s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). [7]



Obr. 1.9 Destičkový vrták. [8]

## 1.5 Soustružnické nože

Soustružnický nůž je nejběžněji používaný řezný nástroj pro rozličné soustružnické operace. Soustružnické nože se od sebe odlišují konstrukcí. Mezi dnes již v mnoha ohledech překonanou konstrukcí je možno řadit celistvé, neboli monolitní soustružnické nože, na obr. 1.10. Soustružnický nůž tvořilo celistvé tělo, kdy držák i řezná destička byly buď z totožného materiálu, tudíž bylo možné nůž brousit, nebo spojeny nerozebíratelným spojem, nejčastěji pájením. V současné strojírenské praxi se téměř výhradně užívají soustružnické nože s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD), viz obr. 1.11. Destička bývá ke stopce nože připevněna buď mechanicky (šroub), magneticky, nebo zubovým mechanismem. Tato konstrukce umožňuje břitové destičky měnit po skončení jejich životnosti a lze tak dosáhnout maximální produktivity. Cena destičky se pohybuje řádově ve stovkách korun a její trvanlivost v desítkách minut, cena držáku je několik tisíc korun a při dodržování předepsaných postupů není nutná pravidelná výměna. Tímto lze produkci z ekonomického hlediska značně zvýhodnit.

Dalším rozlišujícím kritériem je technologie, pro kterou byly nože navrženy:

- Radiální (nejpoužívanější)
- Tangenciální
- Prismatické
- Kotoučové [1,9]



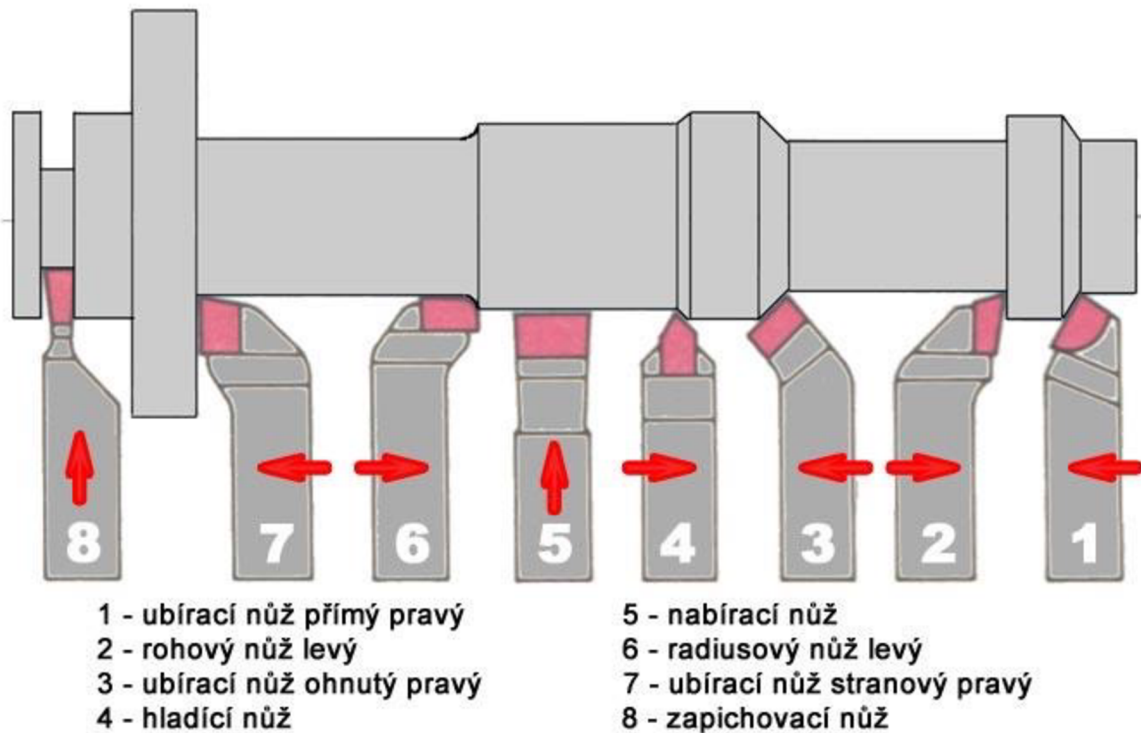
Obr. 1.10 Soustružnický nůž s VBD. [10]



Obr. 1.11 Monolitní soustružnický nůž. [11]

Dle operace je rozlišováno několik základních tvarů soustružnických nožů:

- Pravé
- Levé
- Souměrné
- Vnější
- Vnitřní
- Ubírací
- Zapichovací
- Upichovací
- Tvarové (závitový, rádiusový, speciální) atd.[1]



Obr. 1.52 Základní typy soustružnických nožů. [12]

## 1.6 Materiály soustružnických nožů

### Držák soustružnického nože

Držáky břitových destiček jsou zhotoveny z rozdílného materiálu, než samotný břit.

Nejčastěji užívanou je ocel třídy 15 s možností nitrídaného povrchu. Stopky nožů ze slinutého karbidu dobře tlumí chvění a jsou užívány zejména u nožů s malým průřezem.

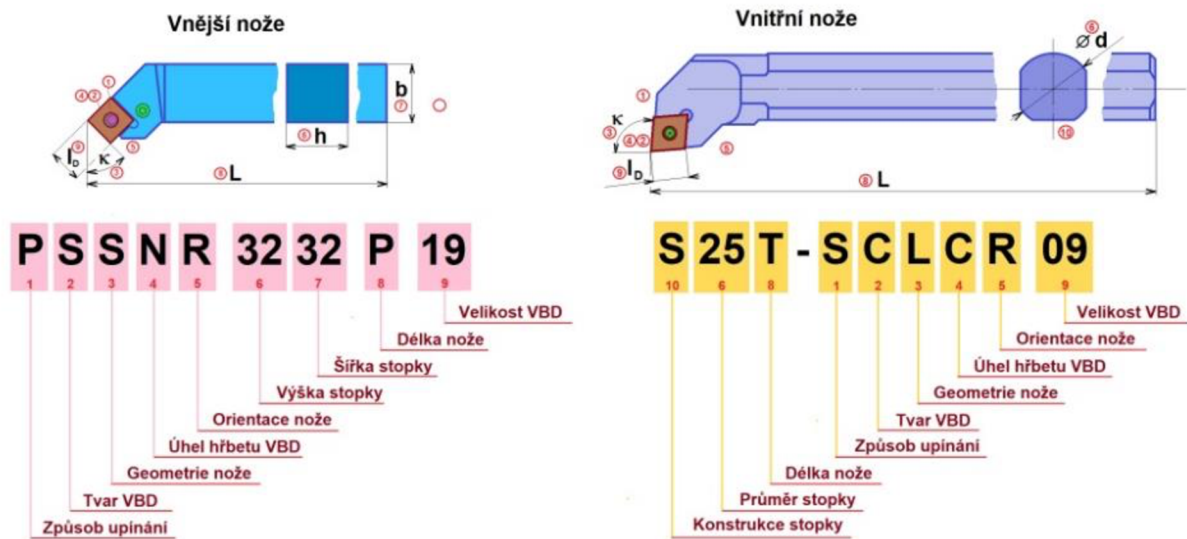
### Břítové destičky

Pro vyměnitelné břitové destičky jsou charakteristické materiály disponující lepšími mechanickými vlastnostmi než jakákoliv produkční ocel, zejména vysokou tvrdostí a dobrou odolností proti otěru. Těmito materiály jsou slinuté karbidy povlakované i nepovlakované, řezná keramika, cermety, polykrystalický nitrid boru (PKNB) nebo polykrystalický diamant (PD).

Tvrdost slinutého karbidu se v závislosti na druhu pohybuje v rozmezí 80 až 92 HRA (odpovídá 850 až 2000 HV), zatímco tvrdost nástrojových ocelí nabývá hodnot tvrdosti pouze v oblasti 50 až 70 HRA. Z hlediska odolnosti proti opotřebení dochází k největšímu odlišení při použití v náročných podmínkách, kdy se mechanické vlastnosti oceli mohou prudce zhoršit. Na druhou stranu vysoká tvrdost slinutého karbidu zvyšuje riziko vylomení břitu anebo vznik prasklin při náhlých zatíženích. Slinutý karbid disponuje nižší tepelnou odolností než nástrojová ocel, proto by pro aplikace s vysokou tepelnou náročností měla dostat přednost spíše nástrojová ocel před SK. [13]

VBD nejen pro soustružení jsou pro lepší přehlednost značeny dle normy ISO. Výsledný popisný kód může mít až 12 znaků a jeho syntaxe je vysvětlena na obr. 1.13. [1]





Obr. 1.63 Značení nožů s VBD dle normy ISO. [14]

Výše zmiňované materiály podléhají neustálému vývoji a zdokonalování jejich mechanických vlastností. Vývoj v oblasti materiálů řezných nástrojů je urychlován neustálým zdokonalováním obráběcích strojů a rostoucích nároků na obrobene povrchy.

## 1.7 Moderní technologie výroby vyměnitelných břitových destiček

Předmětem diplomové práce je testování životnosti řezných destiček vyvinutých firmou Dormer Pramet s.r.o. Historie firmy sahá do devadesátých let minulého století, kdy došlo k fúzi dvou společností po jejich společném odkoupení leaderem v oblasti řezných nástrojů, firmou SANDVIK CZ s.r.o. První, Dormer tools z britského Sheffieldu má dnes již 150 let dlouhou tradici v produkci různorodých řezných nástrojů. Před fúzí byla zaměřením Šumperského Prametů čistě výroba slinutých karbidů. Po již zmiňované fúzi vznikla silná značka zabývající se vývojem a produkcí širokého sortimentu nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami. [15]

Za tuto dobu proběhl zásadní vývoj v přístupu k produkci řezných nástrojů. Dříve nejpožívanější materiál, rychlořeznou ocel, kterou charakterizovaly zejména nízké pořizovací náklady a poměrně vysoká houževnatost vyvážené menší trvanlivostí v dnešní době masivně nahrazuje nasazování slinutých karbidů a cermetů. [30]

### Slinuté karbidy

Slinutý karbid patří mezi nejodolnější materiály vůbec, vyznačuje se zejména vysokou odolností vůči opotřebení, nárazům, fyzickému namáhání, vysokým teplotám a korozi.

Slinutý karbid je složen z více složek, základem je vždy karbid wolframu doplněný o karbidy dalších kovů: titanu, tantalu, niobu, nebo chromu. Jako pojivo jednotlivých složek je nejčastěji užíván kobalt. Destičky ze slinutých karbidů jsou k tělu nástroje mechanicky připojeny nebo napájeny. [16,17,18]

### Povlakování slinutých karbidů

Mechanickou odolnost břitových destiček vyrobených ze slinutých karbidů lze zvýšit užitím povlaků. Povlak je souhrnný název pro mnohavrstvou oblast nacházející se na povrchu břitové destičky, navzdory vysokému počtu vrstev, kterými je povlak tvořen dosahuje tloušťky pouze v jednotkách  $\mu\text{m}$ . Povlak disponuje zejména díky absenci pojiva výrazně lepšími mechanickými vlastnostmi než materiál podkladu. Proces deponace povlaku je posledním krokem při výrobě břitové destičky. Z hlediska metody použité při nanášení povlaku rozlišujeme dva základní druhy povlaků CVD a PVD. [16]

## MTCVD

Jedná se o odnož slinutých karbidů povlakovaných technologií CVD (Chemical Vapour Deposition), u které nanášení povlaku probíhá na základě chemické reakce v plazmě, reakční složky jsou přiváděny v plynné fázi. Tato metoda závisí na velmi vysoké teplotě (řádově až 1000 °C), která může mít za následek degradaci substrátu. „MT“ v označení technologie vyjadřuje Middle Temperature, z čehož je patrné, že od mateřské technologie se tato liší možností povlakování za řádově nižších teplot a to konkrétně 750 °C. [16,18]

## PVD

Povlakování metodou PVD (Physical Vapour Deposition) bylo zprvu užívána k povlakování řezných nástrojů vyrobených z rychlořezných ocelí. V současnosti je mnohem častěji používána k povrchovému ošetření nástrojů ze slinutých karbidů. Název metody napovídá, že na rozdíl od CVD, je k vytvoření ochranné vrstvy na povrchu nástroje užíván fyzikální mechanismus. Za působení nízkého tlaku 0,1 až 1 Pa a teplot v rozmezí 150 až 500 °C vzniká na povrchu karbidu kondenzací přilnavá vrstva chemických sloučenin inertní směsi plynu a částic kovu. Používané mechanismy při tvorbě této vrstvy jsou napařování a naprašování.

PVD povlaky jsou typické svou velkou tvrdostí, nízkým koeficientem tření a možností povlakovat i ostré hrany. [16,18]

## Cermety

Název vznikl spojením anglických názvů pro keramiku a kov – CERamics a METal. Jak název napovídá, při vývoji cermetů bylo cílem dosáhnout materiálu mající tvrdost keramiky avšak zachovávající si houževnatost kovu. Výchozí materiály pro výrobu cermetů jsou wolfram, titan, tantal, hrom, vanad a molybden. Funkci pojiva zastávají kobalt a nikl. Při výrobě cermetů je nejdříve připravena směs, která je formována a následně slinována. Cermety lze stejně jako slinuté karbidy a ocel povlakovat s využitím výše zmíněných technologií. Cermety jsou typické vysokou tvrdostí ale zároveň houževnatostí, chemickou stálostí a odolností proti opotřebení. [19]

## Řezná keramika

Nástroje z řezné keramiky se používají pro vysoké řezné rychlosti řádově 1500 ot/min. Vyznačují se vysokou tvrdostí, avšak křehkostí a s ní spojenou nízkou houževnatostí. Keramické destičky mají dlouhou trvanlivost a jsou odolné proti vlivům vysokých teplot. Příklady značení keramických řezných nástrojů: CM, CN, CA, CC. [16,18]

## Polykrystalický diamant a PKNB

Tyto dva materiály lze řadit do skupiny super tvrdých řezných materiálů. Polykrystalický diamant je kompozitní řezný materiál, který získal svůj název na základě své tvrdosti, velmi se blíží hodnotě tvrdosti přírodního diamantu. Polykrystalický diamant je vyráběn procesem zvaným slinování za vysokých teplot.

PKNB, neboli polykrystalický nitrid boru, se také řadí mezi super tvrdé řezné materiály a vyniká zejména dobrou abrazivní odolností, tvrdostí a chemickou stálostí, to i za vysokých teplot. Své využití má při obrábění nekovových slitin. Svou tvrdostí několikanásobně převyšuje tvrdost konvenčních materiálů řezných nástrojů, konkrétně se hodnoty tvrdosti pohybují až do výše 5 000 HV. V technické praxi se setkáváme buď z kompaktními vyměnitelnými břitovými destičkami anebo v kombinaci se slinutým karbidem, v podobě substrátu, kdy je na jeho povrch deponována vrstva PKNB o tloušťce do 5 μm. [20]

## 2 TRVANLIVOST ŘEZNÝCH DESTIČEK

V průběhu řezného procesu dochází vlivem opotřebení nástroje k jeho otupování, což má za následek pokles jeho řezivosti. S tím přímo souvisí nárůst řezného odporu, tudíž i nutného příkonu stroje. S degradací břitu dochází ke zvyšování řezného odporu, což má za následek lehké vyosení polotovaru. Vzniklý mírně kmitavý pohyb polotovaru způsobuje vibrace, které negativně ovlivňují kvalitu povrchu a nižší rozměrovou i geometrickou přesnost výrobku. V určité fázi opotřebení je nutné řezný nástroj přestříhat, či zcela vyměnit. Časový úsek mezi upnutím nového nástroje a jeho výměnou či přestřikem, udávaný v minutách, je v technické praxi známý jako trvanlivost. [21]

Trvanlivost bývá často a nesprávně zaměňována s životností, přestože se jedná o termíny s odlišnými významy. Pojem trvanlivost vyjadřuje dobu, po kterou si řezná destička uchovává funkční vlastnosti. Životnost implikuje trvanlivost, zahrnuje navíc ale i čas od momentu ztráty funkčních vlastností po její destrukci. Použití VBD po konci životnosti negativně ovlivňuje kvalitu obrobku a může dojít k poškození obráběcího stroje. Lze tedy říci, že životnost vyjadřuje dobu, po kterou je možno břitovou destičku používat ukončenou její výměnou.

### **Opotřebení břitu**

Opotřebení nástroje je komplexní proces degradace způsobený kombinací základních fyzikálních vlivů: množstvím tepla vneseného do těla nástroje a mechanickým kontaktem všech vzájemně se pohybujících těles. V průběhu řezného procesu se nástroj relativně pohybuje vůči obrobku a zároveň tříске. Kontakt s obráběným materiálem je realizován na hlavním hřbetu, vedlejším hřbetu a také na špičce nástroje. Odcházející tříska se formuje o čelo nástroje, respektive o utvařecí.

Opotřebení je ovlivňováno všemi činiteli, vstupujícími přímo i nepřímo do samotného řezného procesu, závisí na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, řezných podmínkách, stavu stroje či teplotě na pracovišti.

Na funkčních plochách nástroje dochází k degradaci kombinací několika mechanismů opotřebení zároveň. [21]

### **Abrazivní opotřebení**

Abraze je proces mechanického opotřebení spočívající ve vzájemném otěru částic dvou materiálů. Podstata abrazivního opotřebení při řezném procesu je analogií k procesu broušení. K otěru na povrchu nástroje dochází třením tvrdých mikročástic materiálu rozptýlených mezi třískou a povrchem nástroje, které se mezi sebou vzájemně pohybují. Odolnost proti abrazivnímu opotřebení roste přímo s rostoucí tvrdostí materiálu nástroje. [21]

### **Adhezivní opotřebení**

Adheze ve zkratce vyjadřuje schopnost přilnutí dvou (velmi často rozdílných) materiálů. Tento mechanismus degradace břitu spočívá ve vzniku dočasných mikrosvarů mezi výstupky na povrchu nástroje i třísky. Po zániku mikrosvaru zůstávají na povrchu nástroje nárůstky třísky, které způsobují další degradaci povrchu vydrolením, či vylomením. Tento typ opotřebení je typický pro obrábění za nízkých teplot a řezných rychlostí, dochází k němu výhradně na čele nástroje. [19,21]

### Difuzní opotřebení

Difuze je tepelně aktivovaný, samostatný proces pronikání částic jedné látky do druhé. K tomuto typu opotřebení dochází vlivem chemických reakcí mezi řezným nástrojem a materiálem obrobku. Míra difuzního poškození závisí na chemických vlastnostech jednotlivých materiálů a také vzájemné afinitě. Princip spočívá ve vzniku tuhých roztoků a chemických sloučenin jako výsledku vzájemné difuze atomů materiálu obrobku a řezného nástroje. Vzniklé sloučeniny mají odlišné (nežádoucí) vlastnosti než materiál řezného nástroje.

### Oxidace

Vlivem působení velkého tepla a okolní atmosféry dochází ke tvorbě chemických sloučenin na povrchu břitů, zejména v místě konce kontaktu s třískou. Vznikají tak typické žlábků.

Výše uvedené mechanismy opotřebení mají průběžný charakter a jejich závažnost v průběhu času roste, níže uvedené typy opotřebení nastávají náhle, bez předchozí indikace:

### Plastická deformace

Vyskytuje se při použití příliš houževnatého materiálu břitů se současně nedostatečnou tvrdostí. Řešení spočívá ve volbě otěruvzdornějšího materiálu.

### Křehký lom

Je nejčastěji způsoben prudkými změnami teplot v průběhu řezného procesu, nebo nelineárním průběhem velikosti řezných sil. Výsledkem je vylomení části břitů a jeho znehodnocení pro další užívání.

### Tvorba nárůstku, výmolu

Vlivem volby materiálu nástroje s nízkou otěruvzdorností může docházet k otěru materiálu na špičce nástroje, či k tvorbě nárůstku tvořeného z navařených atomů obráběného materiálu.

Ke konci pracovního cyklu nástroje může dojít také na základě mechanické či tepelné únavy materiálu. [21]

## 2.1 Kritéria opotřebení

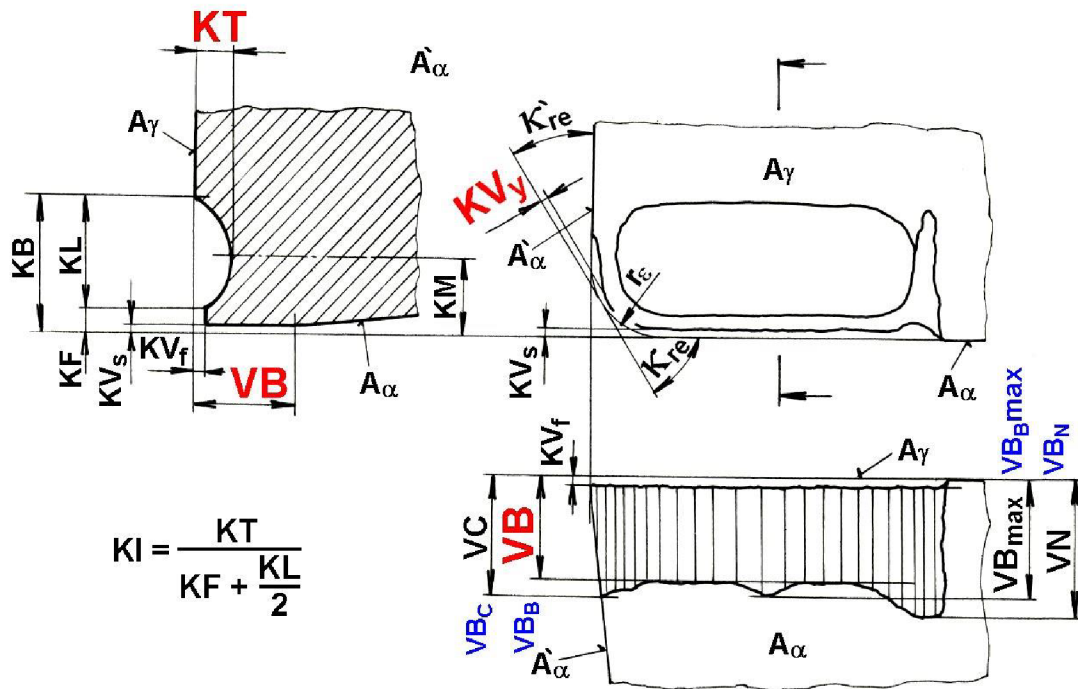
Znalost hodnoty trvanlivosti je zásadní pro dodržení požadavku na kvalitu obráběného povrchu. V momentu ztráty funkčních vlastností řezného nástroje začíná poškozený břit obráběný povrch poškozovat, klesá přesnost obrábění a zároveň roste hodnota střední aritmetické odchylky profilu Ra/hodnota nerovnosti profilu Rz.

K určení stádia pracovního cyklu řezného nástroje jsou v technické praxi užívána kritéria opotřebení, vyznačená na geometrii nože na obr. 2.1. Tato kritéria se určují na všech funkčních plochách nástroje, které jsou v kontaktu s obráběným materiálem. Na čele je zkoumána hloubka výmolu KT a na hlavním a vedlejším hřbetu šířka opotřebení VB. Dále je možno pozorovat radiální opotřebení špičky břitů KV<sub>y</sub>.

kde: **VB** : šířka opotřebení na hřbetě,  
**KT** : hloubka výmolu na čele,  
**KV<sub>y</sub>** : radiální opotřebení špičky.

### Vlivy

Na míru opotřebení břitů nástroje mají vliv následující faktory: okolní prostředí, obráběný polotovar, řezné podmínky definované v předchozí kapitole, druh operace (hrubování, dokončování) a také geometrie samotného břitů. Míra opotřebení je také kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů. [21]



Obr. 2.1 Kritéria opotřebení na funkčních plochách břitu. [22]

### Kvantifikace opotřebení

Experimentální zkoumání opotřebení a trvanlivosti řezných nástrojů má fundamentální význam pro následné nastavování řezných podmínek. Studium opotřebení lze provádět buď přímo, kdy jsou v průběhu času sledovány změny na funkčních plochách nástroje, anebo nepřímo, kdy jsou zkoumány změny doprovodných znaků řezného procesu, výsledky nepřímých metod jsou vždy pouze přibližné. [21]

#### Přímé metody

- metoda váhová
- metoda radioaktivních izotopů
- metoda mikrometrická
- metoda optická
- metoda nanosené odporové vrstvy
- metoda pneumatická

#### Znaky zkoumané nepřímou metodou

- tvorba lesklého proužku po obvodu polotovaru
- nárůst řezné síly
- nárůst potřebného výkonu
- nárůst teploty
- výskyt nežádoucích zvuků nebo zvýšených vibrací stroje
- změna charakteru třísky
- změna rozměrů obrobku
- zhoršení kvality povrchu [14]

#### Mikrometrická metoda

S využitím dílenského mikroskopu s nejčastěji křížovým stolem je na nástroji v průběhu času měřena velikost opotřebení pomocí lineárních rozměrů, hloubku výmolu na čele nástroje lze určit s využitím úchylkometru. Přesnost této metody, stejně tak jako ostatních přímých metod zkoumání klesá s nutností odepínání nástroje a manipulací s ním za účelem měření. Tato, experimentálně získaná data, lze využít např. k sestavení Taylorovy trvanlivostní závislosti. [21]

### 3 TAYLOROVA ZÁVISLOST

Trvanlivost nástroje závisí zejména na metodě obrábění, vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách.

#### 3.1 Taylorova závislost za proměnlivé řezné rychlosti

F. W. Taylor zjistil, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin, známý také pod zkratkou T- $v_c$  závislost (někdy též "Taylorův vztah") a je užíván ve tvaru:

$$T = \frac{c_T}{v_c^m} [\text{min}][1] \quad (\text{Rov. 3.1})$$

kde:  $c_T$  [-] : konstanta,  
 $v_c$  [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ] : řezná rychlost,  
 $m$  [-] : exponent (míra závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti).

Z důvodu vysokých hodnot konstanty  $c_T$  je častěji nahrazována nově definovanou konstantou  $c_V$ , kdy vztah mezi oběma konstantami je:

$$c_V = c_T^{\frac{1}{m}} \quad (\text{Rov. 3.2})$$

Potom:

$$v_c = \frac{c_V}{T^{\frac{1}{m}}} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] [1] \quad (\text{Rov. 3.3})$$

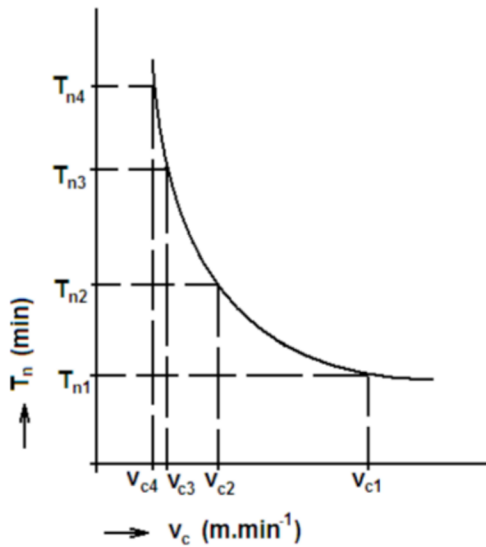
Sestavování T- $v_c$  závislosti pro daný řezný nástroj, která sleduje vliv proměnlivé velikosti řezné rychlosti  $v_c$  na hodnotu celkové trvanlivosti bříty v minutách, probíhá s konstantními ostatními veličinami řezných podmínek. Pro sestavení spolehlivé T- $v_c$  závislosti je zapotřebí naměřit měnící se trvanlivost při třech až čtyřech různých velikostech řezné rychlosti. Minimální hodnoty trvanlivosti naměřené při nejvyšší řezné rychlosti nesmí klesnout pod 5 minut při obrábění standardních materiálů a při obrábění ušlechtilých materiálů pod 2 minuty. [1]

#### 3.2 Posuzování trvanlivosti

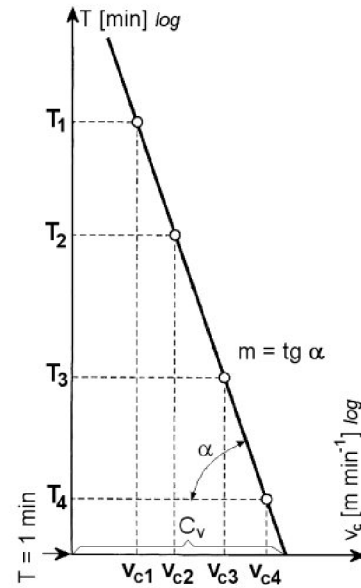
Zásadní vlastností bříty, kterou lze na základě trvanlivostních zkoušek kvantifikovat je řezivost. Řezivost je zjednodušeně schopnost řezného nástroje oddělovat vrstvy materiálu a utvářet třísku. Tato vlastnost je opět ovlivněna mnoha faktory vstupujícími, jak přímo, tak nepřímo do řezného procesu.

Obrobitelnost je souhrn vlastností materiálu na průběh řezání. Lze ji hodnotit jako faktor ovlivňující proces obrábění.

Tyto dvě vlastnosti jsou obecně hodnoceny z hlediska intenzity opotřebení bříty. Nejvýznamnějším kritériem při tomto hodnocení je právě Taylorův vztah. Zanesením naměřených hodnot do grafu je získána exponenciální křivka podobná té na obr. 3.1, pro získání lineární trvanlivostní závislosti je nezbytné obě osy grafu zlogaritmovat a získat tak závislost na obr. 3.2. [21,1]



Obr. 3.1 Původní tvar Taylorovy závislosti. [21]



Obr. 3.2 Zlogaritmovaný tvar Taylorovy závislosti. [21]

Jednotlivé body jsou aproximovány přímkou s polynomem vhodného stupně. Takto je získán úhel sklonu přímky a také exponent  $m$ . Teoreticky určené hodnoty koeficientů pro různé materiály řezných destiček se nacházejí v tab.3.1.

Materiál	Nástrojové oceli	Rychlořezné oceli	Slinuté karbidy	Řezná keramika
$m$ [-]	10 až 8 (až 6)	8 až 5 (až 3)	5 až 2,5 (až 2)	2,5 až 1,5 (až 1,2)
$\alpha$ [°]	84 až 83	83 až 79	79 až 68	68 až 56

[1]

### 3.3 Taylorova závislost za proměnlivého strojního posuvu

Analogií k hodnocení vlivu velikosti řezné rychlosti na trvanlivost nástroje je sestavení závislosti vlivu měnící se hodnoty strojního posuvu na délce technického života břitu.

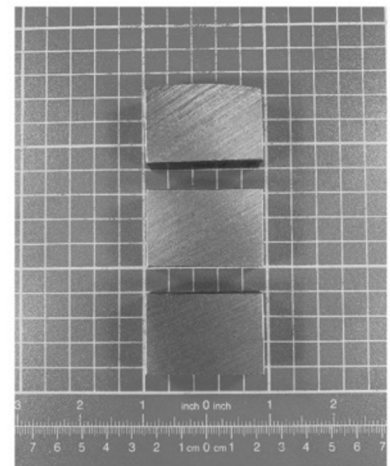
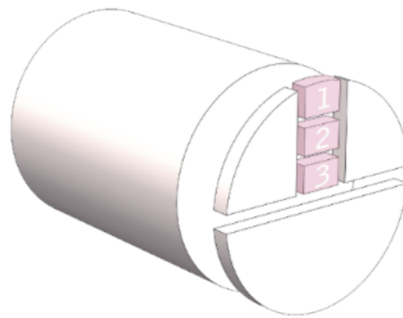
Vliv velikosti strojního posuvu  $f$  na trvanlivost  $T$  je středně velký, je menší než vliv řezné rychlosti, avšak větší než proměnlivá šířka záběru ostří  $a_p$ .

## 4 MATERIÁLOVÁ ANALÝZA

Největší vliv na průběh řezného procesu, chování bříty, jeho stabilitu a výslednou trvanlivost má materiál polotovaru určeného pro testování. Pro plánovaný test byla zvolena uhlíková ocel vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení: 12050.9. Praxí ověřený fakt je, že nehomogenní chování materiálu může mít za následek nepredikovatelný průběh opotřebení vedoucí k náhodnému vylomení bříty a vysokému rozptylu hodnot trvanlivostí jednotlivých destiček. Pro zajištění vhodných podmínek (co nejbližším ideálu) pro testování je nezbytné vzorek polotovaru podrobit materiálové analýze v certifikované laboratoři a tím potvrdit, že jeho chemické i mechanické vlastnosti odpovídají požadavkům. Pro účely tohoto testování byla zvolena metalografická laboratoř partnerské Univerzity obrany. Vzorky budou podrobeny testům tvrdosti dle Vickerse, zkoumání chemického složení a analýze mikrostruktury.

Před započítím procesu materiálové analýzy bylo nutné z polotovarů o výchozí hmotnosti téměř 150 kilogramů oddělit vzorek rozumných rozměrů. K tomu byla použita dílenská pásová pila typu BS-229HV na obr. 4.1, ta za neustálého chlazení emulzí oddělila segment o tloušťce přibližně 15 mm. Zmiňovaný segment byl rozdělen na poloviny. Ze středu vzorku byla oddělena krychle o šířce 50 mm, která reprezentuje vzorek materiálu osy až ke slupce.

Rozdělením na tři díly byly získány sondy do materiálu polotovaru ve třech bodech rovnoměrně rozložených po úsečce spojující přímo střed a povrch válce. Takto připravené vzorky byly dodány do materiálové laboratoře ke zpracování viz obr. 4.2 a 4.3.



Obr. 4.1 Dělení materiálu. Obr. 4.2 Poloha vzorků na polotovaru. Obr. 4.3 Vzorky předané k testování.

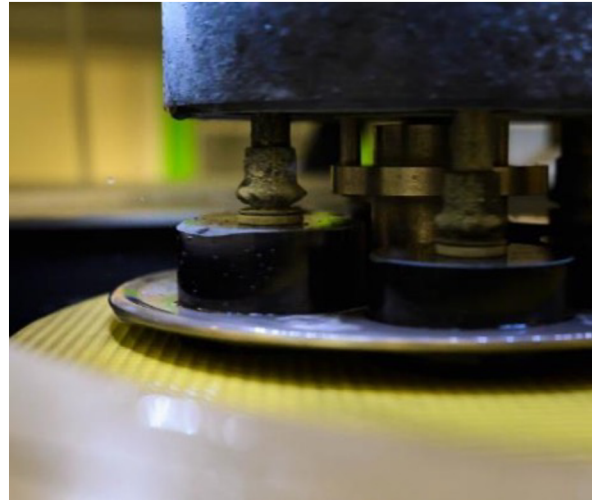
### 4.1 Chronologický postup přípravy vzorku

Přípravný proces, jinými slovy preparace vzorku začíná úpravou materiálu s využitím metalografické dělicí pily (obr. 4.4) na vhodný rozměr a tvar. Dělení materiálu tímto typem zařízení probíhá za neustálého chlazení s využitím emulzní chladicí kapaliny, která eliminuje jakékoli tepelné ovlivnění struktury zkoumané plochy. Takto rozměrově upravené vzorky je následně nutno zalisovat do válcového obalu (tvar puku), který obepíná vzorek po obvodu a zajišťuje jednoduchou manipulaci bez nutnosti doteku se zkoumaným povrchem. Ochranná vrstva vzniká lisováním prášku při určité teplotě za použití specializovaného zařízení. Výsledný produkt je vložen do metalografické brusky, zde je vzorek v několika krocích broušen abrazivy o specifické drsnosti zrn a nakonec leštěn do lesku, viz obr. 4.5. Na takto upraveném povrchu nelze zřetelně vidět mikrostrukturu, navíc je pravděpodobné, že se na povrchu vyskytuje zbytek abraziv z brusného procesu. Posledním krokem před samotným zkoumáním mikrostruktury je leptání vzorku specifickou kyselinou. Nejpoužívanějším leptadlem pro konstrukční oceli je sloučenina Nital. Jedná se o univerzální leptadlo složené ze dvou až pěti procentního koncentrátu kyseliny dusičné na alkoholové bázi ředěného etylalkoholem.





Obr. 4.4 Dělicí pila LECO MSX205.



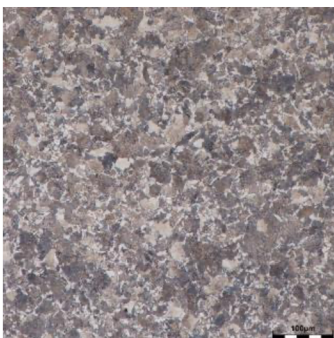
Obr. 4.5 Automatická bruska a leštička Leco PX500.

## 4.2 Analýza struktury materiálu

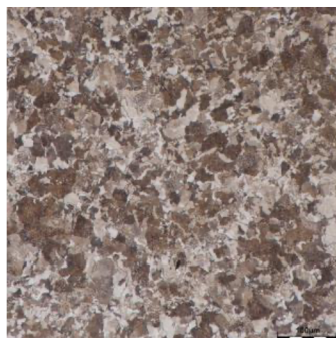
Jedním z hlavních výstupů metalografického zkoumání vzorků materiálu polotovaru bude analýza mikrostruktury pod mikroskopem. Na základě takto získaných dat bude možno s jistotou určit, zda se struktura testovaných vzorků shoduje se strukturou materiálu ČSN 12 050.9 požadovaného pro test. Pozorování také odhalí přítomnost vměstků a jiných strukturálních vad, či jiných nežádoucích činitelů jako například zpevněná skovaná vrstva.

Pozorovací zařízení pro tento test byl zvolen digitální mikroskop Olympus DSX500 na obr 4.9. Jedná se o stolní mikroskop s normálním optickým uspořádáním a disponujícím až pětisetnásobným přiblížením. Mezi přednosti tohoto mikroskopu patří nižší pořizovací cena, menší rozměry a obecně lepší manipulace. Tento typ mikroskopů je vhodný pro zkoumání menších vzorků materiálu, je určen k pozorování struktur a dosahuje maximálního zvětšení až 12000x.

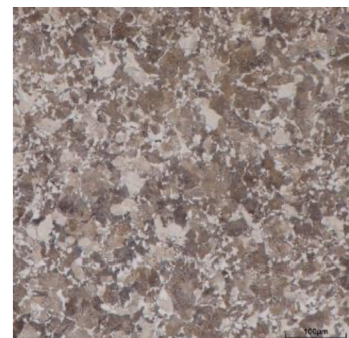
Na základě výsledků pozorování, reprezentovaných snímky z mikroskopu (obr. 4.6, 4.7 a 4.8), lze prohlásit, že polotovar používaný pro test odpovídá strukturálně uhlíkové oceli ČSN 12 050. Materiál nevykazuje v žádném zkoumaném místě výraznější výskyt strukturálních vad. Struktura je u všech tří vzorků shodná, rozdílná velikost jednotlivých zrn nemá vliv na homogenitu materiálu. Při porovnání struktur vzorků s ideální strukturou pro ocel s obsahem 0,5 % uhlíku je při bližším pohledu přípustná jeho lehce vyšší koncentrace, avšak ne do takové míry, aby mohla být řazena do třídy ČSN 12 060. [23]



Obr. 4.6 Struktura vzorku 1.



Obr. 4.7 Struktura vzorku 2.



Obr. 4.8 Struktura vzorku 3.

### 4.3 Spektrometrické pozorování

Ověření chemického složení materiálu bylo provedeno s využitím metody spektrometrie. Optická spektrometrie je vědní obor zabývající se interakcí záření s povrchem zkoumaného materiálu. Spektrometry zjednodušeně určují množství světla nesených na jednotlivých vlnových délkách. Spektrometr umožňuje měřit chemické zastoupení v daném materiálu, a to pozorováním odrazu nebo absorpce světla, vzniklého jiskrou nebo plazmou, ve struktuře zkoumaného vzorku v porovnání s kalibry ocelí a jejich slitin. Pro měření byl využit jiskrový spektrometr BAS TASMAN Q4 na obr. 4.10. [23]



Obr. 4.9 Digitální mikroskop DSX500.



Obr. 4.10 Jiskrový spektrometr Tasman Q4.

Z analýzy chemického složení materiálu ČSN 12 050 pomocí optického spektrometru vyplývá, že testovaný vzorek je shodný s daty uvedenými na materiálovém listu. Výsledky této analýzy jsou k dispozici v příloze číslo 10. To znamená, že materiál je vhodný pro zamýšlené účely a může být použit v souladu s požadavky specifikací.

### 4.4 Analýza mikrotvrdomosti materiálu

Tvrdomost je jedna ze základních mechanických vlastností materiálu, můžeme ji definovat jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Tvrdomost lze kvantifikovat s využitím normalizovaných metod pro měření tvrdosti. Princip všech těchto metod je shodný, do zkoušeného vzorku je vtlačováno zkušební tělísko přesně danou silou. Velikost této síly rozlišuje tvrdost a mikrotvrdomost. Mikrotvrdomost se měří při zatížení od 1 g do 1000 g, jakékoliv měření s vyšším zatížením udává tvrdost. Tvrdomost a mikrotvrdomost se poté odečítá na základě parametrů, plastickou deformací vytvořeného, obtisku odpovídajícímu tvaru zkušebního tělíska. Jednotlivé metody mají vlastní metody, mezi kterými lze s využitím převodních tabulek spolehlivě převádět.

Pro získání průkazných výsledků bylo měření provedeno v rámci dílny s využitím základních měřidel a poté hodnoty ověřeny ve vědecké laboratoři Univerzity obrany.

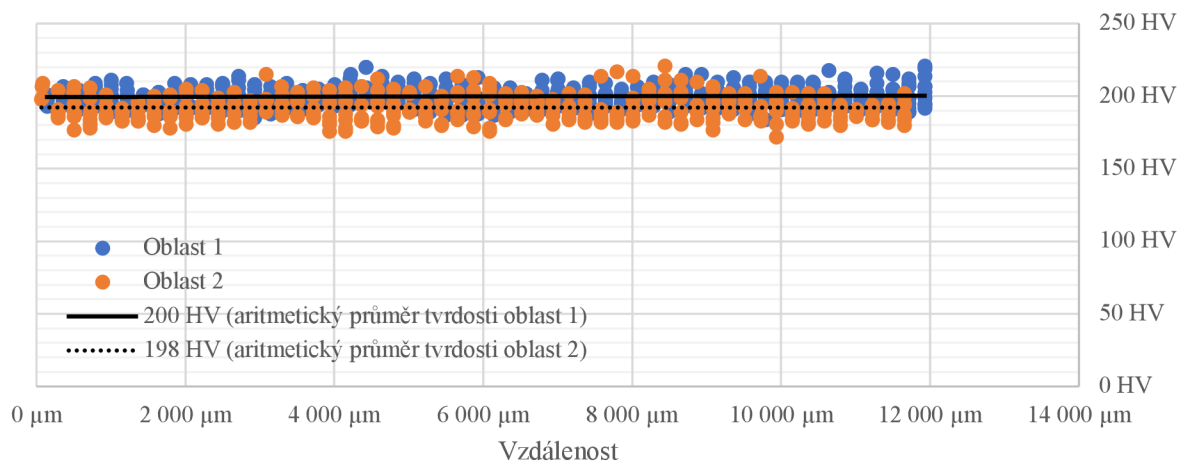
#### 4.4.1 Vědecká laboratoř

Pro měření mikrotvrdomosti vzorku byla zvolena metoda měření dle Vickerse. Jedná se o statickou zkoušku tvrdosti, při které je do zkušebního vzorku vtlačován intendor ve tvaru rovnoměrného jehlanu o vrcholovém úhlu  $136^\circ$ . Měřítkem tvrdosti jsou délky obou úhlopříček vzniklého čtvercového půdorysu obtisku. Zkouška je univerzální a značí se zkratkou HV. Velikost zatěžující síly byla nastavena na 500 gramů. Měření probíhalo s využitím speciálního softwaru, který provádí sérii vpichů po přímce, či v poli a jejich výsledek následně vyhodnotí. Průběh zkoušky je zobrazen na obr. 4.11.

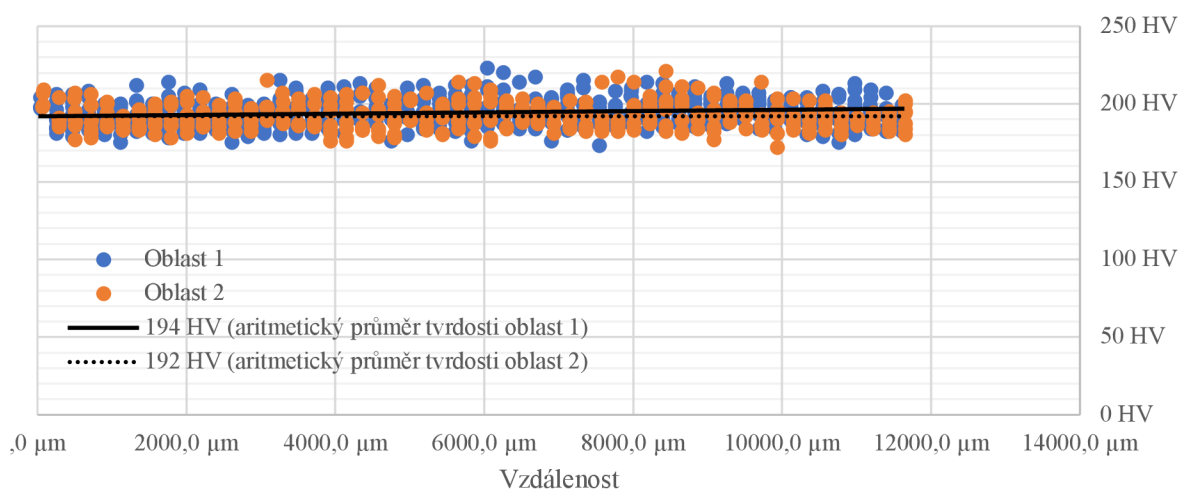


Obr. 4.11 Zařízení pro měření mikrotvrdomsti.

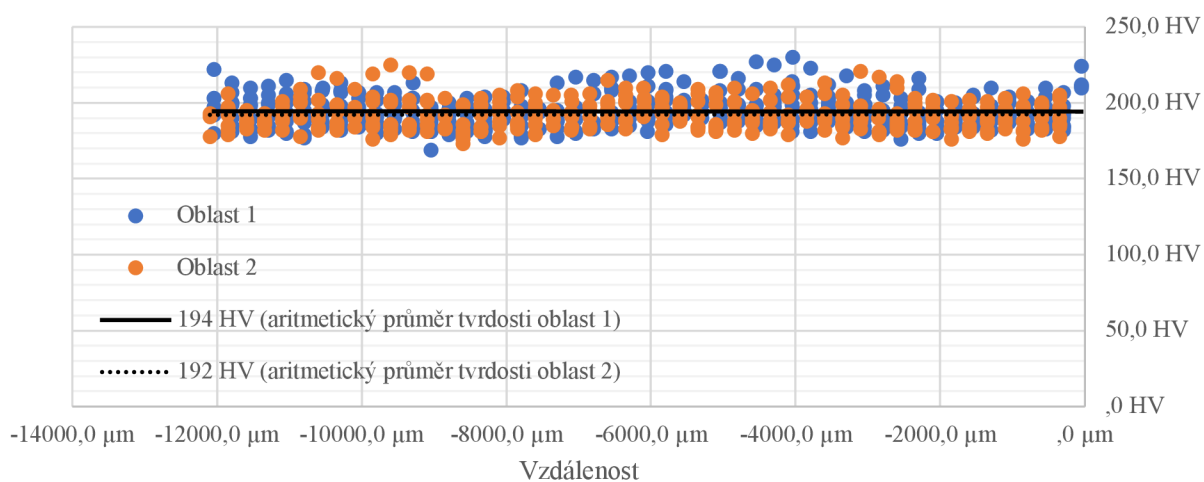
Data hodnot tvrdosti byla měřena ve dvou oblastech tří dodaných vzorků materiálu polotovaru. Množiny dat naměřené tvrdosti pro každý ze tří vzorků byly uspořádány do grafů 4.1, 4.2, 4.3 a sloužily k vypočtení aritmetických průměrů tvrdostí v jednotlivých oblastech. Tvrdost nabývala průměrných hodnot v rozmezí 192 až 200 HV.



Graf 4.1 Hodnoty mikrotvrdomsti naměřené na ploše vzorku 1.



Graf 4.2 Hodnoty mikrotvrdosti naměřené na ploše vzorku 2.



Graf 4.3 Hodnoty mikrotvrdosti naměřené na ploše vzorku 3.

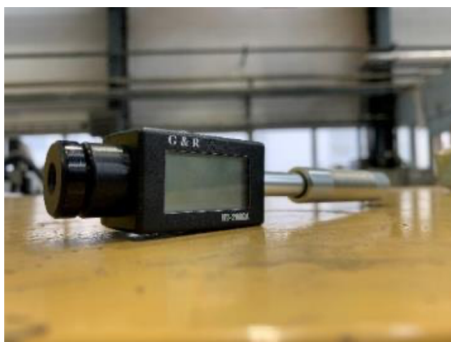
#### 4.4.2 Dílenská laboratoř

Měření tvrdosti bylo prováděno za konstantních podmínek okolí s teplotou 23 °C ve dvou fázích pomocí přenosných přístrojů HT-2000 A (obr. 4.12 a 4.13) a EQUOTIP (obr. 4.14) později na nepřenosném komparačním měřidle Zwick/Roell ZHR (obr. 4.15).

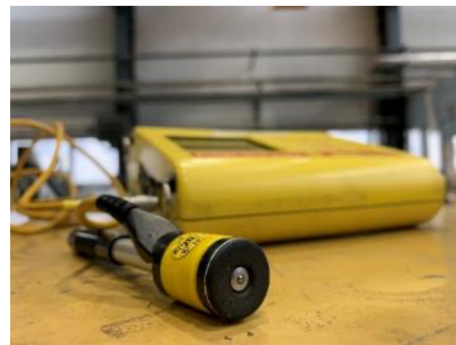
**HT-2000 A** – měřidlo vyhodnocuje tvrdost na základě dopadu zkušebního tělíska a hodnoty tvrdosti jsou uvedeny ve stupnici Leeb (převedeny do HB)



Obr. 4.12 Měření přístrojem HT-2000 A.

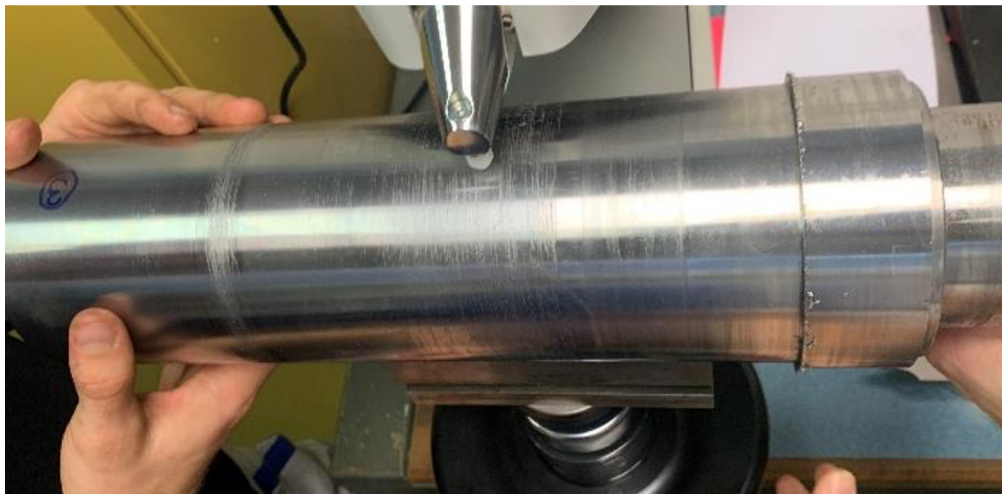


Obr. 4.13 Měřidlo HT-2000 A.



Obr. 4.14 Měřidlo EQUOTIP

**Zwick/Roell ZHR** – zařízení měřící implicitně v jednotkách HB (Brinell)

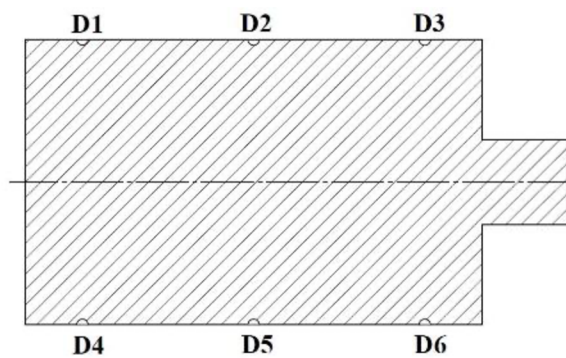


Obr. 4.15 Měřidlo Zwick/Roell.

Pro přesné vyjádření Taylorových závislostí je stěžejní zachování konstantních podmínek po celou dobu testování. Důležitým faktorem jsou vlastnosti samotného polotovaru. Jelikož probíhá více testů, které jsou časově náročné, dochází několikrát k výměně materiálu. Tvrdost je vlastnost, výrazně ovlivňující řezný odpor. Před začátkem testování je odstraněna povrchová vrstva a s pomocí ručního tvrdoměru jsou určeny třemi měřeními na krajích a uprostřed hodnoty tvrdosti dle HRB (Obr. 4.16). Po dokončení obrábění se na povrchu zbytku materiálu, se kterým je již možno manipulovat, změní znovu tvrdost, tentokrát na přesnějším nepřenosném přístroji (Obr. 4.17).

Hodnoty naměřené v průběhu testování se nacházejí v tab. 4.1 a 4.2. Tab. 4.1 obsahuje hodnoty naměřené před započítáním testování s využitím přenosného měřidla HT-2000 A a náčrt znázorňuje místa, na kterých byla měření provedena. V tab. 2, ve stupnici HB se nacházejí hodnoty tvrdostí naměřené na větším průměru zbytku po testování. V druhé polovině tab. 4.3 hodnoty z malého průměru, za který byl polotovar upnut ve sklíčidle soustruhu. Data byla naměřena měřicím přístrojem Zwick/Roell ZHR.

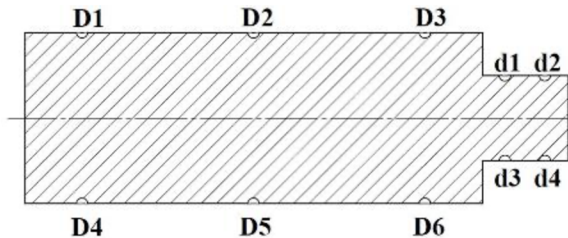
Tab. 4.1 Hodnoty tvrdosti pro celý válec.



Obr. 4.16 Body měření na celém válci.

HB	1	2	3	4	Celý válec - D
D1	205,00	210,00	190,00	201,00	
D2	196,00	204,00	187,00	196,00	
D3	201,00	218,00	195,00	202,00	
D4	197,00	216,00	194,00	202,00	
D5	194,00	204,00	203,00	194,00	
D6	189,00	208,00	201,00	199,00	
	197,00	210,00	195,00	199,00	

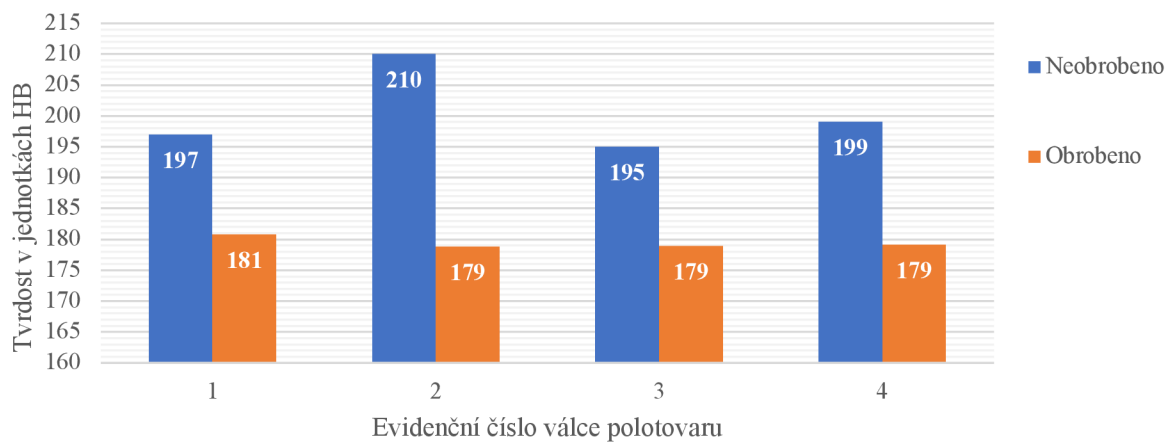
Tab. 4.2 Hodnoty tvrdosti pro zbytek válce.



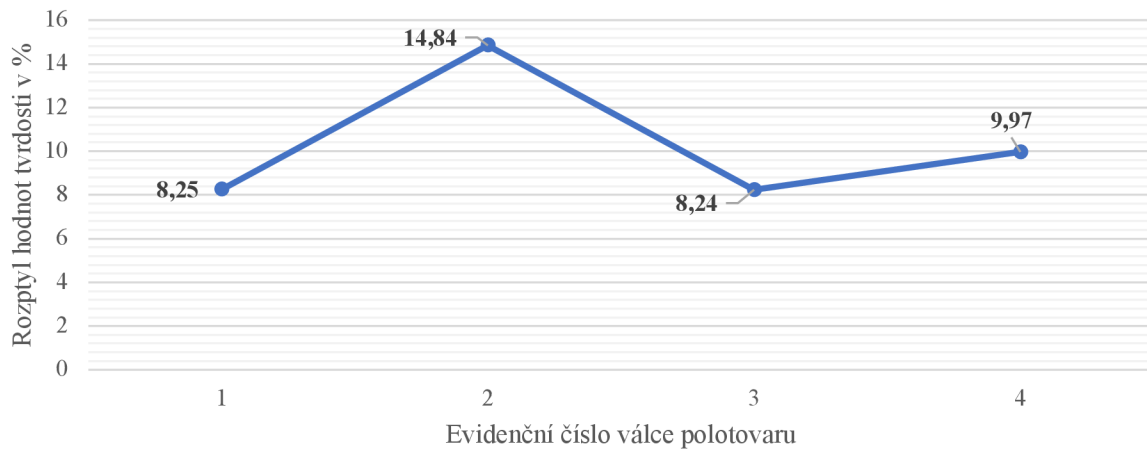
Obr. 4.17 Body měření na zbytku válce.

<b>HB</b>	1	2	3	4	<b>Zbytek - D</b>
D1	179,76	179,43	184,05	183,39	
D2	179,10	173,50	158,33	167,23	
D3	183,06	182,40	181,08	181,74	
D4	180,42	176,80	181,74	178,44	
D5	180,42	180,75	186,69	183,39	
D6	181,74	180,09	181,74	180,75	
	180,75	178,83	178,94	179,16	
<b>HB</b>	1	2	3	4	<b>Zbytek - d</b>
d1	176,80	184,38	181,74	183,39	
d2	179,10	178,44	182,73	180,09	
d3	181,08	215,04	190,31	199,87	
d4	181,08	218,34	200,53	190,31	
	179,52	199,05	188,83	188,42	

Na základě dat získaných měření bylo provedeno zhodnocení stálosti tvrdosti materiálu po jeho délce a průřezu. Tvrdost všech čtyř válcových polotovarů se pohybovala v rozmezí 158 až 218 jednotek HB. Skutečná hodnota tvrdosti oceli polotovaru se tedy nachází přibližně 200 HB viz graf 4.4. Odchytky mezi tvrdostmi naměřenými ručním měřidlem na neobrobeném polotovaru a tvrdost zbytku válce měřeném na nepřenosném měřicím přístroji nabyly hodnot 8,25 % pro první válec, 14,84 % pro druhý, 8,25 % pro třetí a u čtvrtého válce odchytky činila 9,97 %. Takto výrazná nepřesnost měření mohla být způsobena odlišnou metodou vyhodnocování tvrdosti a následným převodem, či nesprávným nastavením ručního měřidla do ne zcela kolmé polohy k ose válce. Obecně ale v průběhu rezného procesu materiál vykazoval lineární chování a z toho důvodu není třeba brát vliv tvrdosti jako faktor výrazně znehodnocující výsledky testování.



Graf 4.4 Proměnlivost tvrdosti v průřezu.



Graf 4.5 Rozptyl tvrdosti.

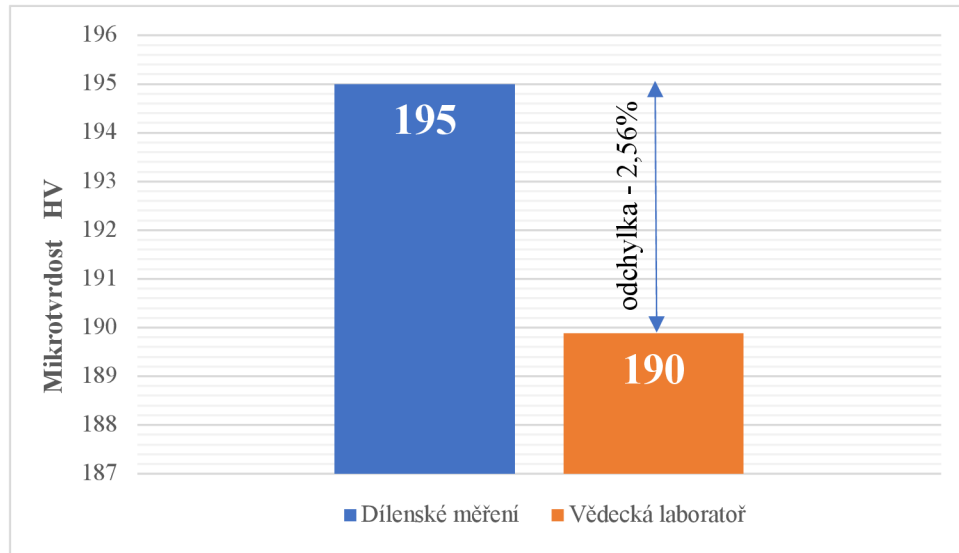


#### 4.4.3 Porovnání výsledků

V kap. 4.4.1 a 4.4.2 byly podrobně hodnoceny výsledky testování tvrdosti materiálu polotovaru v obou typech laboratoří, jak dílenské, tak vědecké. V tab. 4.3 se nacházejí průměrné hodnoty výsledků získaných z měření jednotlivých vzorků měřené ve dvou oblastech po průřezu polotovaru. Hodnota v pravém dolním rohu tab. 4.3 vyjadřuje průměrnou hodnotu tvrdosti polotovaru pro oba druhy laboratoří, v grafu 4.6 jsou tyto hodnoty porovnány a rozdíl vyjádřen v procentech.

Tab. 4.3 Data získaná měřeními ve vědecké i dílenské laboratoři.

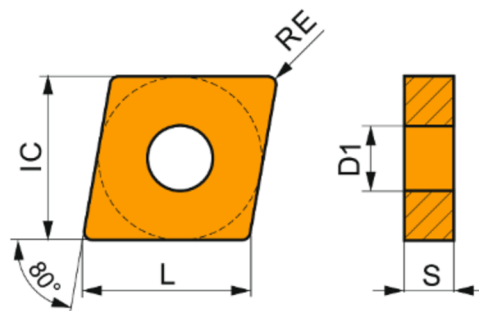
Dílenské měření			
	Oblast 1	Oblast 2	
Vzorek 1	200	198	HV
Vzorek 2	194	192	
Vzorek 3	194	192	
Průměr:	196	194	195
Vědecká laboratoř			
Válec 1	197	181	HV
Válec 2	210	179	
Válec 3	195	179	
Válec 4	199	179	
Průměr:	200.25	179.5	190



Graf 4.6 Porovnání průměrných dat tvrdosti materiálu k určení odchylky.

## 5 PROCES TESTOVÁNÍ

Firma Dormer Pramet s.r.o. uvádí na trh nový typ řezných destiček. Aktuálně nabízené destičky má v jejich sortimentu doplnit nová varianta odlišující se od stávajících produktů nově použitou konstrukcí a povlakováním. Pro přehlednost budou ve zbytku práce používány zkratky, pod označením sada A (obr. 5.2) bude figurovat standardní sada destiček ze stávající nabídky a jako sada B (obr. 5.3) destičky vyrobené s využitím nově vyvinuté technologie. Celý proces testování je prováděn za účelem ověření již získaných dat trvanlivosti z interního testování dodavatele. Předpokládané chování jednotlivých testovaných sad by se mělo odlišovat zejména při horších řezných podmínkách, vyšších řezných rychlostech a strojních posuvech, delší trvanlivostí nových břitových destiček. Geometrie břitu na obr. 5.1 a vlastnosti obou sad jsou porovnány níže.



Obr. 5.1 Geometrie břitu. [15]



Obr. 5.2 Břit sady A.



Obr. 5.3 Břit sady B.

<b>Výrobce</b>	: PRAMET
<b>Destička</b>	: CNMG 120408E - SF
<b>Geometrie</b>	: negativní
<b>Utvařec</b>	: SF
<b>Materiál</b>	: T8315
<b>Povlak</b>	: PVD
<b>IC</b>	: 12,7 mm
<b>S</b>	: 4,76 mm
<b>L</b>	: 12,9 mm
<b>D1</b>	: 5,16 mm
<b>Re</b>	: 0,8 mm

<b>Výrobce</b>	: PRAMET
<b>Destička</b>	: CNMG 120408E - SF
<b>Geometrie</b>	: negativní
<b>Utvařec</b>	: SF
<b>Materiál</b>	: Sada B
<b>Povlak</b>	: PVD
<b>IC</b>	: 12,7 mm
<b>S</b>	: 4,76 mm
<b>L</b>	: 12,9 mm
<b>D1</b>	: 5,16 mm
<b>Re</b>	: 0,8 mm

[15]

Tab. 5.1 Předepsané řezné podmínky pro bříty sady A (CNMG 120408E - SF).

		$a_p$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f$ [mm]
<b>Ocel a ocelolitina – P (legury <math>\leq 10</math> %; <math>&lt;45</math> HRC)</b>		1 až 7	145 až 215	0,2 až 0,5
<b>Korozivzdorná ocel – M (obsah chromu <math>\geq 11</math> %)</b>		1 až 7	85 až 125	0,22 až 0,45
<b>Litina – K (FeC s obsahem C <math>&gt; 2</math> %)</b>		1 až 7	135 až 200	0,2 až 0,5

[15]

### Kontrola geometrie na přístroji Alicona

Testování vyměnitelných břitových destiček na přístroji Alicona je důležitým krokem v procesu kontroly geometrie nástrojů. Tento test umožňuje získat informace o přesnosti geometrie břitových destiček a případně je upravit, aby byly v souladu s požadavky specifikací.

Pro testování geometrie břitových destiček byl použit přístroj Alicona InfiniteFocus. Tento přístroj umožňuje snadné a přesné měření povrchu v různých oblastech, což je klíčové pro ověření geometrie břitových destiček. Přístroj využívá technologii konfokálního mikroskopu a umožňuje získat 3D obraz povrchu s vysokým rozlišením.

Získané snímky byly následně analyzovány pomocí softwaru dodávaného s přístrojem. Tento software umožňuje vyhodnotit geometrii destiček a porovnat ji s požadavky specifikací.

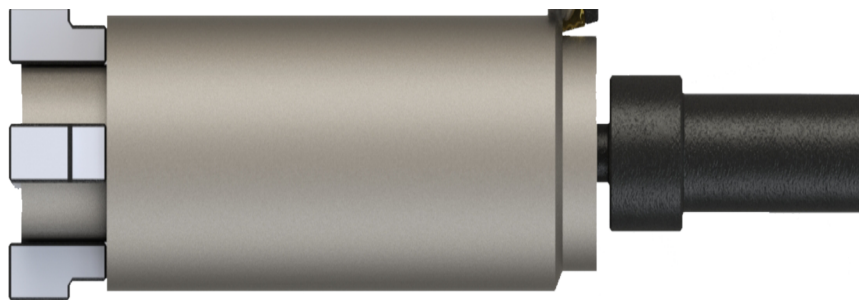
Výsledky testování břitových destiček ukázaly, že geometrie destiček je v souladu s požadavky specifikací. Byly zjištěny jen malé odchylky, které byly snadno korigovatelné. Všechny informace o testování břitových destiček a výsledky měření jsou k dispozici v příloze 11.

## 5.1 Vstupní parametry

### Polotovary

Testování bylo provedeno na shodných válcových polotovarech o původním průměru 250 mm a délce 400 mm o váze 150 kg na obr. 5.5. Z důvodu vysoké hmotnosti bylo k manipulaci ze skladu do stroje použit portálový jeřáb. Vysoká váha také způsobuje při nesouosém silovém působení od řezného nástroje kmitání polotovaru a obecně zvyšuje vibrace stroje, to vše se později projevuje na zhoršení kvality povrchu, či vylomením ostří nástroje. Vliv váhy polotovaru byl eliminován navrtáním středicího důlku pro umístění otočného hrotu, v našem případě upnutého do druhého sklíčidla, ne koníku. Správnost navrtání středicího důlku a obecně souosost polotovaru byla pečlivě ověřena s využitím vhodného měřidla. Sestava S-N-O-P v průběhu testování odpovídala rozložení na obr. 5.4.

Podrobnější rozbor materiálu z hlediska materiálografie se nachází v kapitole 4: Materiálová analýza.



Obr. 5.4 Sestava S-N-O-P pro trvanlivostní testování.



Obr. 5.5 Polotovar určený k testování.

### Stroj

Podélné soustružení polotovarů bylo prováděno na CNC soustruhu SP 280 SY MC na obr. 5.6 z produkce firmy KOVOSVIT MAS Machine Tools, a.s. Jedná se o obráběcí stroj v majetku Ústavu strojírenské technologie VUT v Brně umístěného v hale C2, primárně sloužící k výukovým účelům, díky tomu je v dobrém technickém stavu.

Nožová hlava revolverového typu umožňuje upnutí zároveň až 12 nástrojů. Maximální frekvence otáčení nástrojového vřetena je 4000 min<sup>-1</sup>, jeho výkon je 8 kW. Hlavní řezný výkon stroje je 27 kW s krouticím momentem 257 Nm, protivřeteno disponuje výkonem 9 kW a krouticím momentem 57 Nm. Stabilitu soustruhu zajišťuje váha 7,9 t. Zástavná plocha stroje je 3875 mm x 2122 mm s výškou stroje 2345 mm. [24]



Obr. 5.6 CNC soustruh SP 280 SY MC.



Obr. 5.7 stereo-mikroskop ZEISS.

### Pozorovací soustava

Ke zkoumání degradace funkčních ploch nástroje bylo zapotřebí použít optickou soustavu, kterou nám poskytnul stereo-mikroskop ZEISS doplněný o zařízení AxioCam na obr. 5.7, umožňující živý přenos snímků z mikroskopu na obrazovku PC, kde bylo možné snímky analyzovat a měřit hodnoty opotřebení.

## 6 KOMPARAČNÍ TESTOVÁNÍ TRVANLIVOSTI

Hlavním výstupem práce bude grafické vyjádření vlivu proměnlivé řezné rychlosti a posuvu na trvanlivost břitových destiček. Pro věrohodnost tohoto měření je nezbytné nasbírat dostatek dat trvanlivostí.

### 6.1 Princip získání dat

Naměřená data budou později použita k sestavování Taylorovy závislosti.

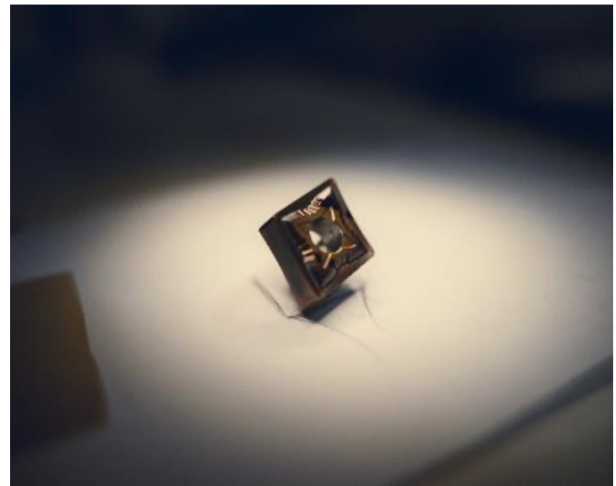
Proces testování je zajištěn dvěma osobami, obsluha stroje má za úkol zajistit spolehlivé upnutí polotovaru a nástroje, dále dle pokynů pro daný protokol výrobce nastaví řezné podmínky, upne nástroj do nožové hlavy a započne řezný proces, po intervalu určeném taktéž požadavky protokolu (nejčastěji 2 min) dochází k výměně nástroje, v mezičase měření dochází k měření drsnosti povrchu a vše se opakuje cyklicky až do ukončení technického života všech destiček předepsaných pro daný protokol.

Druhá osoba má za úkol obsluhu mikroskopu a zpracování dat na pracovišti viz obr.6.1. Přebírá si od obsluhy soustruhu právě vyměněný břit, pod mikroskopem (obr.6.2) nasnímkuje čelo, hlavní a vedlejší hřbet destičky. Pořízené fotografie jsou uloženy s potřebnými metadaty do složek pro pozdější zkoumání, na hřbetech je také v nativním programu mikroskopu obsluhovaného přes počítač měřena hodnota opotřebení v mm a porovnávána s kritérii.

O vyřazení břitu z řezného procesu může rozhodnout obsluha soustruhu na základě zvýšeného výskytu jisker, či rapidního poklesu jakosti kvality anebo obsluha mikroskopu na základě vysoké míry poškození dle pořízených snímků.



Obr. 6.1 Pracoviště pro mikroskopické pozorování.



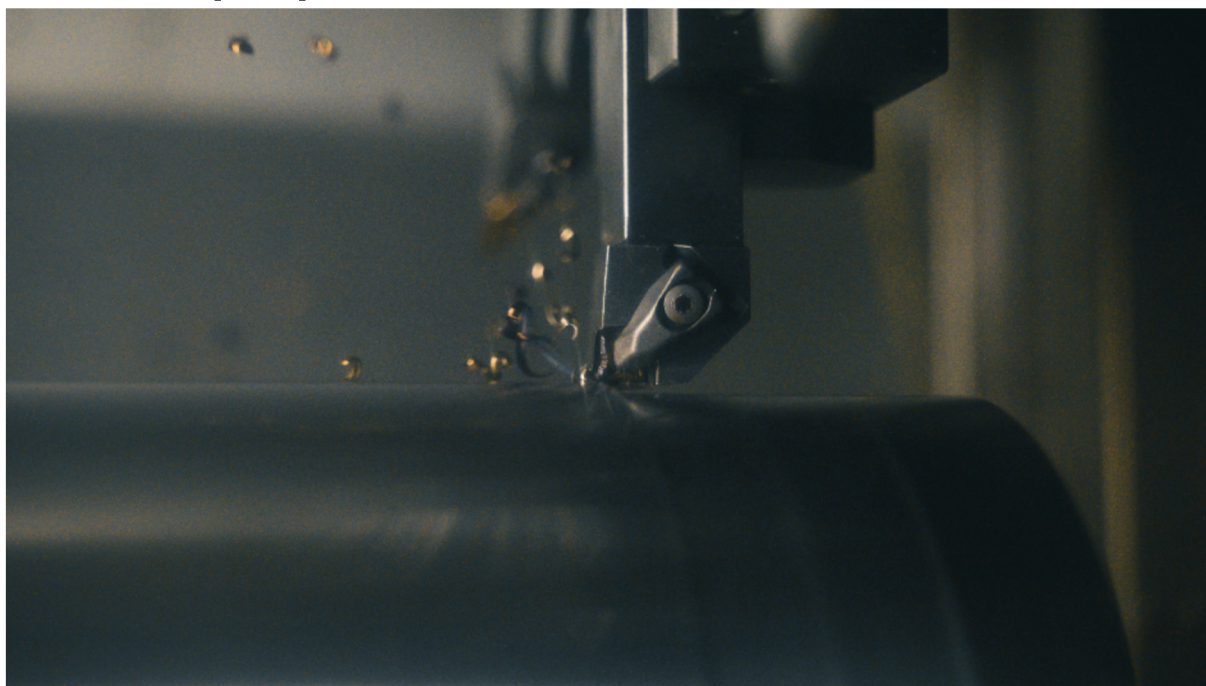
Obr. 6.2 Nástroj umístěný pod objektiv mikroskopu.

## 6.2 Nastavování řezných podmínek

Před začátkem samotného testování je nutné zaznamenat všechna data o činitelích vstupujících do procesu. Do CNC soustruhu MAS 280 SY byl upnut polotovár válcového tvaru o průměru 250 mm z materiálu ČSN 12050.9. Pro nastavení řezných podmínek byla použita referenční destička upnutá do revolverové nožové hlavy soustruhu. Referenční destička prováděla podélné soustružení za sucha (obr. 6.3) a při zachování konstantních řezných podmínek po dobu pěti minut. Jmenovitá tloušťka třísky byla nastavena na 2 mm, posuv 0,25 mm a řezná rychlost 240 m/min.

Po dokončení prvního cyklu bylo zjevné pouze tepelné ovlivnění povlaku a to zejména v oblasti čela nástroje. Proces byl z toho důvodu opakován za stejných podmínek. Po druhém pokusu v celkovém čase 11 minut se zejména na čele nástroje projevilo výraznější opotřebení a to v podobě výmolů. Z důvodu tohoto poškození, ve snaze prodloužit životnost nástroje na další cyklus byla destička otočena a snížena rychlost  $v_c$  na 220 m/min. Po prvních pěti minutách byla i tato destička tepelně ovlivněna. Po deseti minutách se i v tomto případě objevil zřejmý výmol, avšak znatelně menší. Po patnácti minutách se výmol opět rozšířil a již došlo téměř ke znehodnocení nástroje. V čase 16:10 došlo ke vzniku rýhy na hřbetě a obrábění bylo přerušeno. K vylomení došlo v čase 17 minut.

Jelikož vhodná trvanlivost destičky pro toto testování je 15 minut, byla řezná rychlost změněna na 250 m/min a posuv ponechán na hodnotě 0,25 mm.



Obr. 6.3 Břitová destička sady B uprostřed řezného procesu.

## 6.3 Předepsané řezné podmínky

Tab. 6.1 Soupis základních předepsaných řezných podmínek.

Pořadové číslo testu	materiál	chlazení	$a_p$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f$ [mm]
1	12 050.9	ne	2	220	0,25
2	12 050.9	ne	2	250	0,25
3	12 050.9	ne	2	190	0,25
4	12 050.9	ne	2	220	0,17
5	12 050.9	ne	2	220	0,35

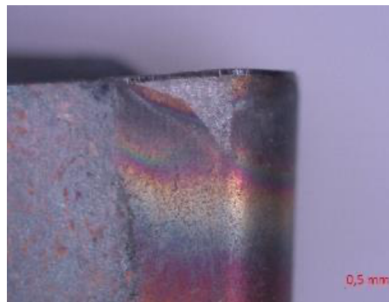
## 6.4 Průběh testování

První sada destiček k testování se skládá ze dvou dvojic označených pracovně A8 a A10 pro standardně nabízené destičky a B2II a B4II pro nově testovanou technologii výroby nástrojů. Řezné podmínky byly nastaveny dle požadavků zákazníka viz tab. 6.1 na řeznou rychlost 230 m/min, posuv  $f$  0,25 mm a šířka záběru ostří  $a_p$  2,0 mm. Očekávaná trvanlivost od výrobce byla určena na čas přibližně 15 minut. U všech čtyř destiček docházelo k postupné degradaci a rozdílné chování se objevilo až v intervalu mezi 10 až 12 minutou. Destičky typu A přestaly plnit svoji funkci již v polovině tohoto intervalu, oproti tomu destičky typu B interval dokončily vcelku, avšak s poškozením neslučujícím se s dalším používáním viditelným na obr. 6.4, obr. 6.5 a obr. 6.6.

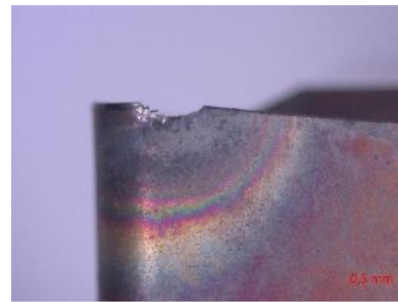
Z důvodu nedostatečné trvanlivosti bylo nutné změnit řezné podmínky a to konkrétně řeznou rychlost na snížit na hodnotu  $v_c$  220 m/min. Za těchto řezných podmínek byl celý test zopakován. Destičky se při druhém testu chovaly stabilněji, jak sada A, tak B dosáhly trvanlivosti přes 12 minut a postupně selhaly v průběhu dalšího dvouminutového cyklu. Nejdelší trvanlivosti dosáhla destička s kódovým označením B4II, která se dostala přes 14 minut a ke ztrátě řezivosti došlo před šestnáctou minutou. Z pohledu zadavatele byl proto tento test označen za úspěšný.



Obr. 6.4 Čelo nástroje.



Obr. 6.5 Hlavní hřbet.



Obr. 6.6 Vedlejší hřbet.

Druhá testovací sada opět obsahovala čtyři různé destičky složené do dvojic a to A3 proti B4 a A6 vs B5. V zadávacím listu protokolu byla určena řezná rychlost 260 m/min, která byla s ohledem na předchozí test zredukována o 10 m/min. Ostatní parametry, jako strojní posuv a šířka záběru ostří  $a_p$  byly zachovány shodně s úvodním testem. Očekávaná trvanlivost se u těchto destiček pohybovala mezi pátou a desátou minutou. Z důvodu takto krátké doby byl test rozdělen na kratší dvouminutové intervaly. Vysoká řezná rychlost měla za následek značné opotřebení na čele nástroje již po prvním intervalu a to ve větší míře na sadě A. Všechny testované destičky byly po šesté minutě testu bez závazných poškození hřbetu s výrazným výmolem na čele, který v tento moment však ani u jedné z destiček nepokročil až ke hřbetu. Během sedmé minuty testování odešly postupně obě destičky ze sady A. Destička B5 vydržela do konce osmé minuty a z důvodu viditelného poškození hřbetu nebyla dále nasazena. Nejlépe si vedla sada s označením B4, která byla jako jediná testována nad osm minut a k vylomení břitů došlo v čase 9:49. Z hlediska skutečné trvanlivosti ve srovnání s očekáváním byl tento test úspěšný.

Předmětem třetího testu bude srovnávání destiček při řezné rychlosti 190 m/min, která byla opět snížena z důvodu předchozího neúspěšného testu. Ostatní řezné podmínky zůstávají neměnné. Výrobce očekává trvanlivost jednotlivých břitů mezi 30 až 45 minutami. Po prvním pětiminutovém cyklu je znát při takovýchto podmínkách pouze drobné opotřebení. Po deseti minutách válcového soustružení bez chlazení se zejména na čele břitů A začíná vytvářet patrný výmol. Mezi patnáctou a dvacátou minutou začaly oba břity ze sady A a břit B10 při soustružení

jiskřit a zejména u prvně zmíněné sady se výmol na čele značně prohloubil a rozšířil až ke hřbetu. V čase 25 minut došlo k ulomení celé špičky břitů A7, ve stejném čase byla z testování vyřazena také destička B3 a to z důvodu vylomení hlavního hřbetu. Ze stejného důvodu nebyla do řezného procesu znovu nasazena ani B10. Největší trvanlivosti dosáhla destička A9, po 27 minutách obrábění došlo k ulomení celé špičky nože. Výsledný čas trvání testu nedosáhl očekávaných hodnot, avšak s ohledem na obtížné řezné podmínky byl test prohlášen za úspěšný.

V předposledním testu byly břity A2, A5 a B2, B8 vystaveny řezným podmínkám s řeznou rychlostí 220 m/min a doposud nejvyšším posuvem  $f = 0,35$  mm. Za takto náročných podmínek je již po dvou minutách znatelný vznikající výmol na čele všech čtyř nástrojů.

Po čtyřech minutách v řezu lze na základě rozsahu výmolu u břitových destiček ze sady A soudit blížící se konec její životnosti. Po šesti minutách je rozsah výmolu na čelech destiček B2 a B8 srovnatelný s opotřebením břitů sady A po čtyřech minutách, u kterých se v tuto chvíli výmol přiblížil oběma hřbetům a u destičky A5 způsobil vylomení vedlejšího hřbetu. Trvanlivost zbývající „zlaté“ destičky ukončilo na hodnotě 6,2 min vylomení hlavního ostří.

Břítové destičky ze sady B v tomto případě vydržely v průměru o necelých 20 % déle, ztráta funkčních vlastností nastala u obou testovaných břitů z důvodu vylomení vedlejšího hřbetu, u B2 po 7,2 minutách a B8 vydržela rovných 8 min.

Závěrečný test obnášel shodný postup testování jako v předešlých případech, řezná rychlost zůstala od minulého testu nezměněna na hodnotě 220 m/min. Strojní posuv byl snížen na 0,17 mm a tříska konstantní 2 mm. Při kombinaci takto vysokého strojního posuvu a řezné rychlosti začaly být na čele všech břitů vidět již po dvou minutách známky opotřebenění a zárodek výmolu.

## 6.5 Vliv geometrie utvařeče

### Nastavování řezných podmínek

S ohledem na výsledky vycházející z první fáze testování se zástupci firmy Dormer Pramet s.r.o. rozhodli některá měření zopakovat za pozměněných podmínek za účelem získání průkaznějších dat, potažmo výsledků. Opakovaný test bude probíhat opět na materiálu: ocel ČSN 12 050, řezné podmínky budou voleny shodně s jedním z již provedených testů. Vybrán byl test se středně náročnými řeznými podmínkami, konkrétně s řeznou rychlostí  $v_c = 220$  m/min, posuvem  $f = 0,25$  mm a o jmenovité tloušťce třísky  $a_p = 2$  mm.

K testování byla dodána další sada řezných nástrojů se zcela novou geometrií, která by měla zajistit lepší trvanlivost. Očekávaná trvanlivost nové geometrie by se měla pohybovat ideálně v rozmezí deseti až dvaceti minut.

Pro nastavení řezných podmínek byla vybrána dvojice destiček a na stroji nastaveny požadované hodnoty řezných podmínek. Chování obou destiček bylo velmi nestandardní, již po dvou minutách vykazovaly výrazné opotřebenění v podobě výmolu na čele nástroje. V celkovém porovnání trvanlivosti obráběla standardní destička pouze 3,5 minuty a nově vyvinutý břit ztratil funkční vlastnosti kolem šesti minuty. Po důkladném zkoumání všech aspektů řezného procesu bylo zjištěno, že problémem byl špatně navrtaný středící důlek v čele válcového polotovaru. Tato skutečnost neumožňovala pinole koníku dostatečně dosednout a zajistit tak souosost téměř stokilového polotovaru. Tím vzniklá nesouosost způsobila kmitání válce, což vedlo k nerovnoměrnému namáhání nože. Za účelem eliminace těchto vlivů byl pro samotný test použit nový polotovar se správně zhotoveným středícím důlkem.

Jednou z hypotéz při zkoumání činitelů ovlivňujících předčasný konec životaschopnosti nástroje byla místy nedostatečná tloušťka PVD povlaku, která by mohla mít za následek přílišné tepelné ovlivnění těla nástroje.



### Dodatečné testování

Po vyhodnocení výsledků z první série testů bylo rozhodnuto, že pro zvýraznění předností nově zaváděných destiček bude měření opakováno s novou sadou destiček s rozdílným utvařečem třísky. K největším odchylkám v trvanlivosti dvou rozdílných destiček by mělo docházet při vysokých hodnotách posuvu a řezné rychlosti. Z tohoto důvodu budou prováděny dva testy se shodnou velikostí řezné rychlosti  $v_c = 220$  m/min a strojním posuvem při prvním testu 0,25 mm a při druhém 0,35 mm.

První sada břitových destiček obsahuje 6 kusů, A11, A12, A13 zastupujících destičky z aktuální nabídky a nově vyvinuté B11, B12, B13. Řezné podmínky pro tento test byly nastaveny následovně:  $v_c = 220$  m/min,  $f = 0,25$  mm a  $a_p = 2$  mm. Trvanlivost bude testována při podélném soustružení ve dvou minutových cyklech.

Vzhledem k poměrně malému posuvu nedocházelo v průběhu prvních dvou cyklů k výraznému růstu opotřebení, výmol tvořící se na čele nástroje je výraznější u destiček ze sady A. Po šesti minutách testování se na čele břitů sady A začal tvořit výrazný výmol, který se zvětšoval až dosáhl řezné hrany a ukončil tak provozuschopnost nástroje. Tento moment nastal mezi devátou a dvanáctou minutou testování. V tento moment byly na druhé testované sadě znatelné pouze drobné známky opotřebení na obou hřbetech a rostoucí výmol, který ukončil jejich provoz mezi čtrnáctou a šestnáctou minutou. Z porovnání trvanlivostí je zřejmý 50% nárůst oproti současně nabízené sadě.

Druhá sada destiček se skládá ze dvou dvojic, dvě pro stávající technologii (A21, A22) a dvě pro nově testovanou (B21, B22). Dodavatel očekává nárůst trvanlivosti za daných podmínek ve srovnání stávající a nově vyvinuté technologie přibližně o 100 %. Na CNC soustruhu byly nastaveny hodnoty řezných podmínek  $v_c = 220$  m/min,  $f = 0,35$  a  $a_p = 2$  mm.

Po prvních dvou minutách je zcela zřejmý rozdíl v opotřebení jednotlivých destiček a to zejména na čele. U destiček sady A je viditelný výrazný výmol, oproti tomu sada B je téměř netknutá. Po čtyřech minutách dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení u obou sad. Mezi čtvrtou a šestou minutou dojde k vylomení břitu u obou destiček ze sady A. Mezi čtvrtou a šestou minutou obrábění destičkou B21 došlo vlivem tepelné roztažnosti k odskočení koníku, což mělo za důsledek vylomení břitu a bylo nutné měření opakovat od začátku. Ve stejném časovém okně destičky B22 se již výrazně změnilo utváření třísky a skokově vzrostla hodnota střední aritmetické úchyly povrchu.

Po šesti minutách se u obou destiček značně rozšířil výmol rovnoměrně po celém čele u B21 a výrazně směrem k vedlejšímu hřbetu u B22.

Po necelých osmi minutách došlo k vylomení špičky břitu B22 a nejdelší trvanlivosti dosáhla destička B21 s časem 9 minut, po kterém došlo k vylomení vedlejšího hřbetu. Z výsledků je zřejmý evidentní nárůst trvanlivosti o přibližně očekávaných 100 %.

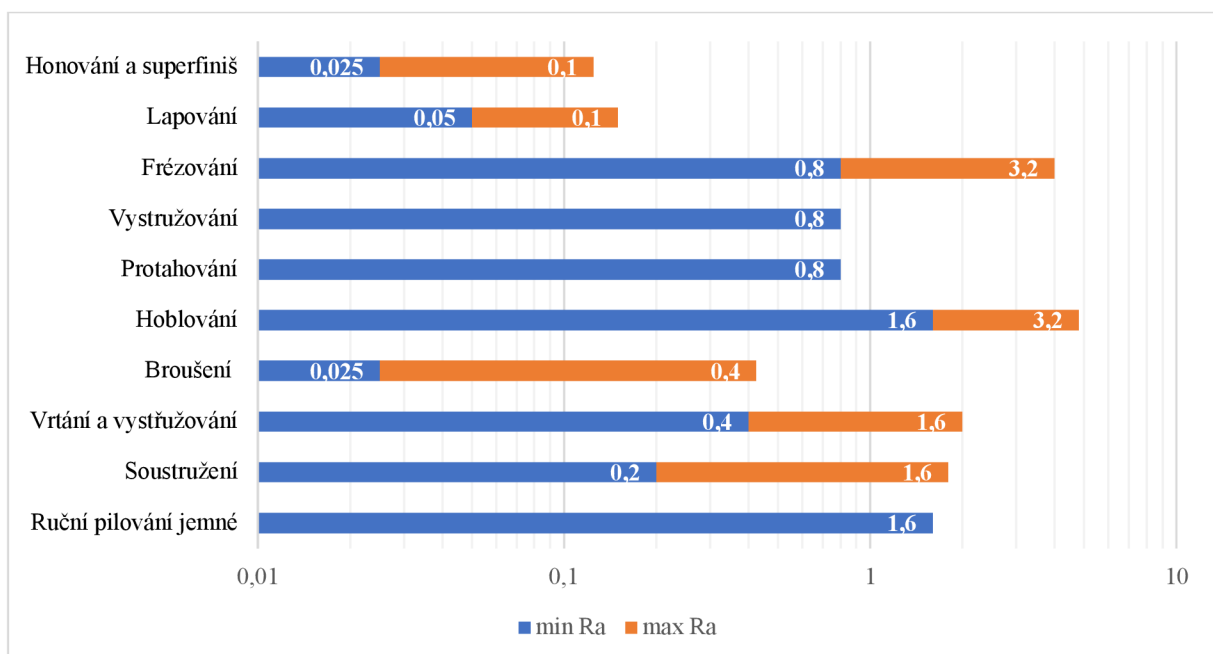


Obr. 6.7 Pozorovaná břitová destička s viditelným tepelným ovlivněním hřbetu.

## 7 ANALÝZA JAKOSTI OBROBENÉ PLOCHY

Z pohledu požadavků na tolerance a funkčnost součásti je možné jakost obrobených ploch kvantifikovat na základě hodnotících znaků. Jedním z nejběžnějších hodnotících znaků kvality obrobených ploch je drsnost. Drsnost povrchu přímo ovlivňují chyby vnášené do řezného procesu, mohou být náhodné, či systémové. Horší kvalitu povrchu může mít za následek odchylka nastavení řezného nástroje, házení polotovaru vlivem špatného upnutí, degradace řezného nástroje vlivem řezného procesu, nebo nelinearitou mechanických vlastností materiálu po průřezu a další vlivy.

Parametrem pro hodnocení drsnosti povrchu je v běžné strojírenské praxi používaná střední aritmetická úchylka povrchu  $R_a$  udávaná v  $\mu\text{m}$  potažmo  $R_y$  a  $R_z$ . Vztah mezi velikostí hodnoty parametru drsnosti a jakostí obrobené plochy je nepřímo úměrný, vyšší  $R_a$  znamená v praxi horší kvalitu povrchu. Kvalita povrchu odpovídá zvolené metodě obrábění, hodnoty dosahované kvality povrchu se u různých metod značně liší viz graf 7.1.

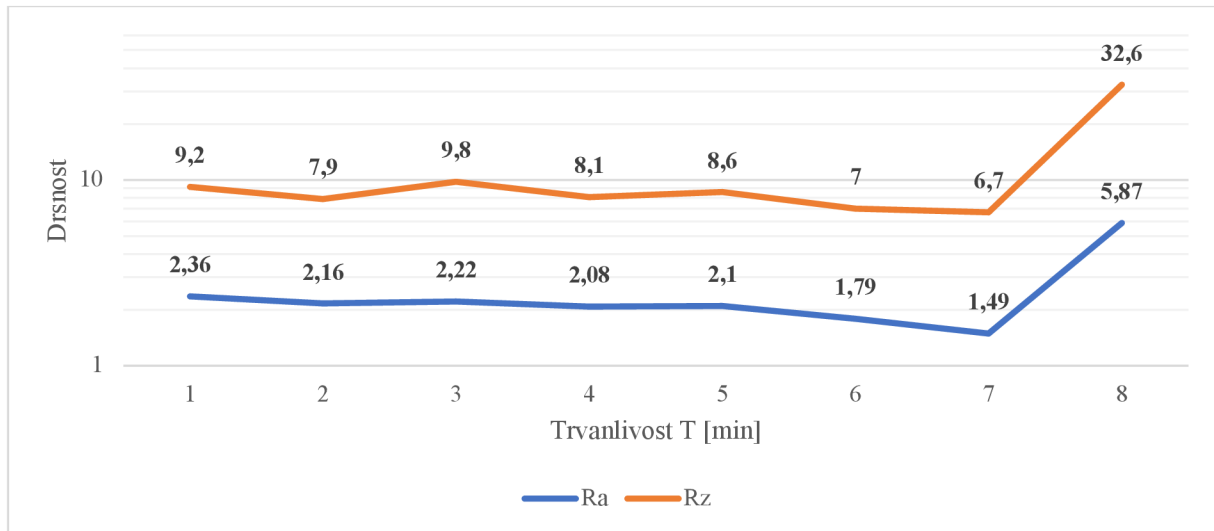


Graf 7.1 Dosahované hodnoty střední aritmetické úchylky profilu  $R_a$ . [25]

Měření drsnosti povrchu probíhá nejčastěji s využitím mobilních drsnoměrů, ty jsou nejčastěji dotykové (kontaktní) nebo optické. Získaná data lze statisticky zpracovávat.

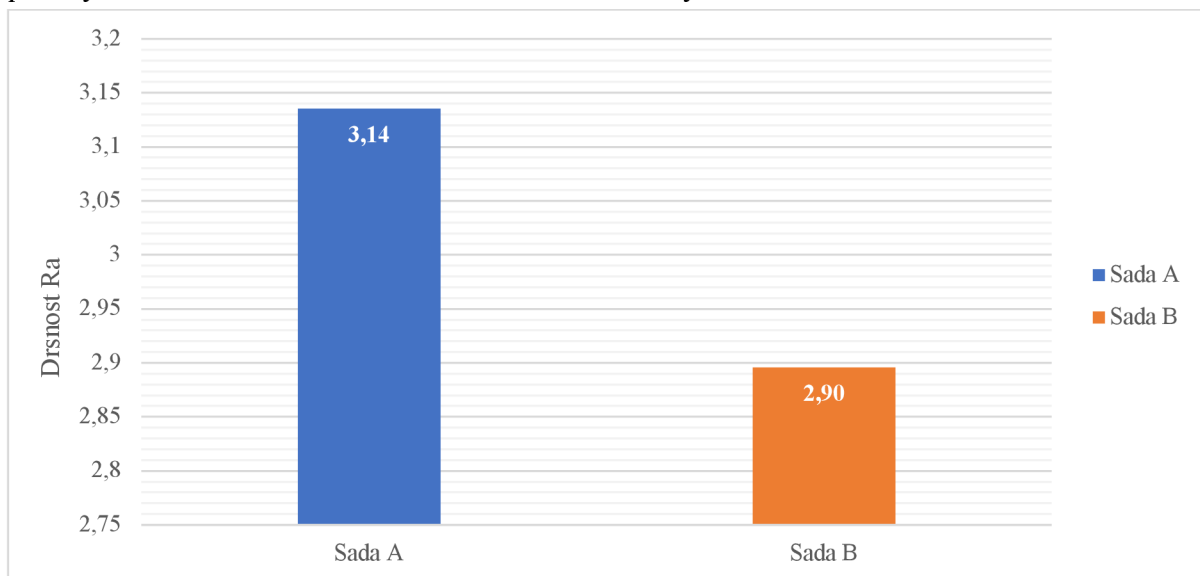
V průběhu testování byla drsnost měřena na obrobených plochách v pravidelných intervalech závislých svou délkou na řezných podmínkách, nejčastěji dvě minuty. K nedestruktivnímu měření byl použit přenosný drsnoměr složený ze sondy a samotného zařízení spojených kabelem. Drsnost byla měřena pro větší objektivitu souběžně, jak na stupnici  $R_a$ , i  $R_z$ .

Naměřená data drsnosti byla zpracována a jejich vzájemné závislosti graficky vyjádřeny s pomocí grafů 7.2 a 7.3.



Graf 7.2 Vývoj drsnosti povrchu v závislosti na čase (Test č.10/B13).

Grafické vyjádření vývoje jakosti povrchu v závislosti na délce technického života bříty má z počátku konstantní průběh drsnosti se směrodatnou odchylkou  $\sigma = 0,272$  následovaný prudkým nárůstem v oblasti konce životnosti destičky.



Graf 7.3 Průměrná hodnota střední aritmetickou úchylkou profilu Ra.

Pro porovnání dosahované jakosti povrchu mezi dvěma srovnávanými sadami břitových destiček byla získaná data drsností v jednotlivých řezech, se zanedbáním vlivu utvařeče, roztržena a byl určen jejich aritmetický průměr.

Na základě analýzy jakosti povrchu lze říct, že „sada A“ dosahovala za svého technického života v průměru drsnosti, charakterizované střední aritmetickou úchylkou profilu  $Ra = 3,14 \mu\text{m}$ .

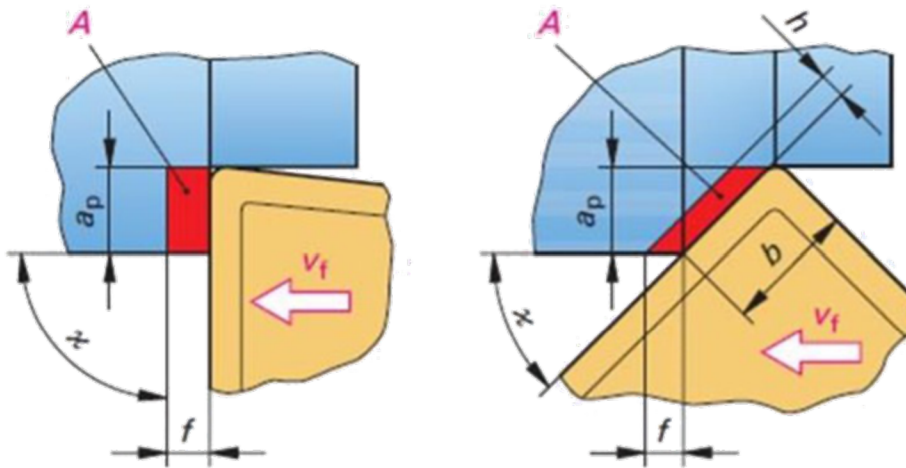
Nově vyvinutá „sada B“ díky svým obecně vhodnějším technologickým vlastnostem pro dané parametry řezného procesu dosahovala za shodných podmínek o 37,9 % vyšší jakosti povrchu, a to o průměrné hodnotě střední aritmetické úchylky profilu  $Ra = 2,90 \mu\text{m}$ .

## 8 ANALÝZA VZORKŮ ODEBRANÉ TŘÍSKY

Princip třískového obrábění spočívá v postupném oddělování jednotlivých vrstev o určité tloušťce odpovídající šířce záběru ostří  $a_p$  a posuvu nástroje  $f$  v milimetrech na otáčku vřetena, odpadní materiál z místa řezu odchází v podobě třísky s parametry průřezu definovanými výše uvedenými veličinami a zřetelnými z obr. 8.1.

$$A = a_p \cdot f \text{ [mm}^2\text{]} \quad [1] \quad (\text{Rov. 8.1})$$

kde:  $A \text{ [mm}^2\text{]}$  : průřez třísky,  
 $a_p \text{ [mm]}$  : šířka záběru ostří,  
 $f \text{ [mm]}$  : posuv na otáčku.



Obr. 8.1 Oblast tvorby třísky. [26]

Charakter třísky ovlivňuje jakost obráběné plochy a také objem potřebný k uskladnění určitého množství třísky. Pro regulaci délky třísky se na čele nástrojů zpravidla nachází utvařeč, který má za úkol předcházet tvoření stuhovitých dlouhých třísek. Charakter třísky je také přímo ovlivňován nastavenými reznými podmínkami. Základní typy třísky jsou:

- **drobná tříška**, není zcela žádoucí, vzniká při obrábění křehkých materiálů či hlubokém řezu, výsledkem je špatná jakost povrchu způsobená vytrháváním materiálu,
- **elementární (článekovitá) tříška** je typická pro obrábění ocelí, tvoří se velmi krátké až středně dlouhé šroubovice,
- **plynulá tříška** je typická pro kombinaci velmi houževnatých materiálů a vysokých rezných rychlostí, charakterizuje ji vysoká jakost obrobeného povrchu avšak tendence namotávat se na polotovar, povrch škrábat, také je nejméně skladná. [27]

K popsání charakteru třísky je zaveden koeficient přechování třísky:

$$\Lambda = \frac{A_c}{A} [-][1] \quad (\text{Rov. 8.2})$$

kde:  $A_c \text{ [mm}^2\text{]}$  : plocha průřezu vzniklé třísky,  
 $A \text{ [mm}^2\text{]}$  : jmenovitá plocha.

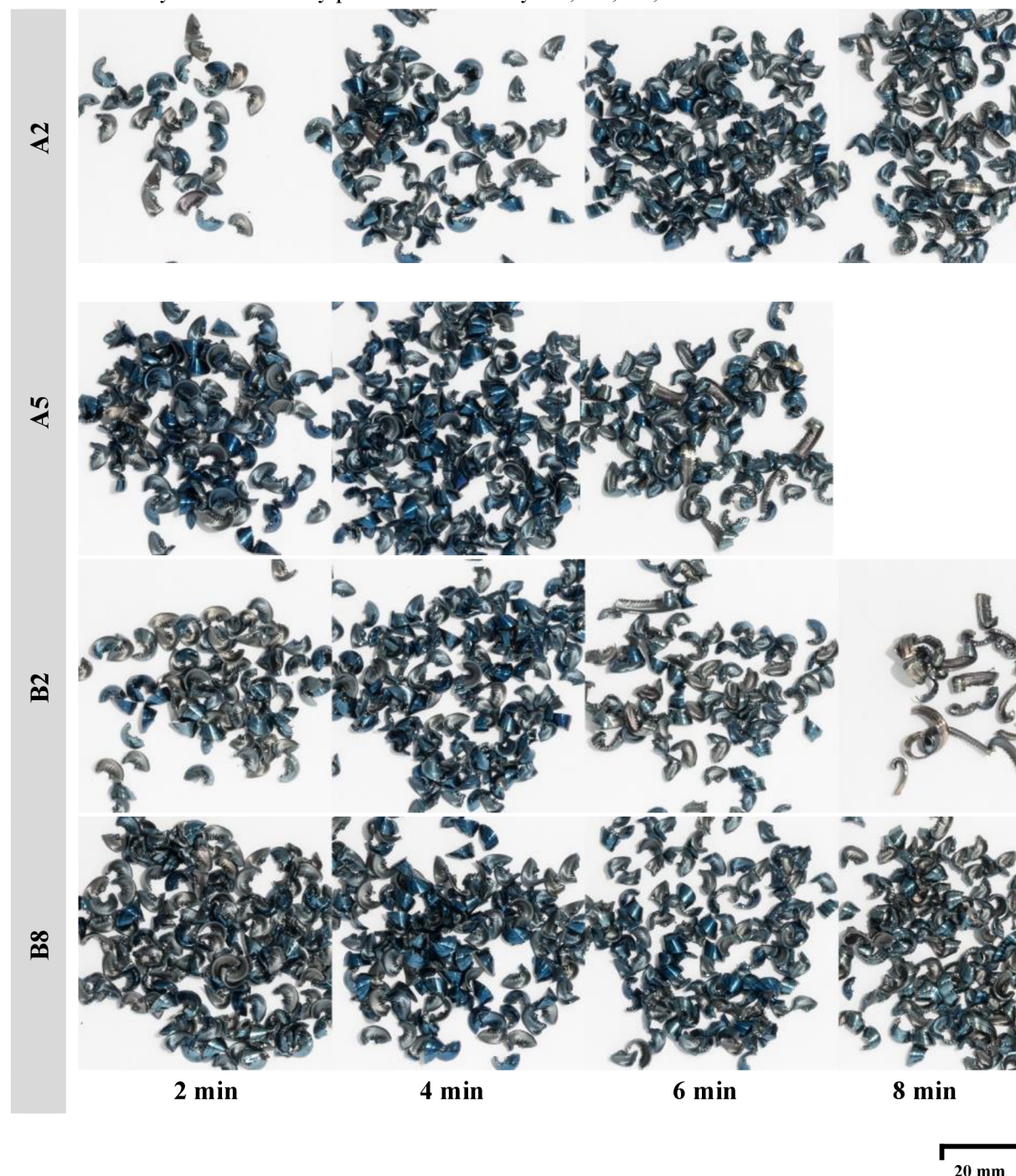
Hloubka $a_p$ [mm]	VBD: CNM 20404-F	Druh SK: HF7/S580 Povlak: PVD	Rezní rych.: 180 m/min	Materiál: 12.050.1	$\kappa_r = 95^\circ$	Poznámka:									
3,0															
2,5															
2,0															
1,0															
0,5															
0,3															
0,2															
0,1															
Posuv f [mm/ot]	0,060	0,067	0,082	0,090	0,105	0,120	0,135	0,150	0,167	0,180	0,210	0,240	0,270	0,330	0,360

Obr. 8.2 Oblasti utváření třísky. [28]

Pro ucelenější vhléd do procesu obrábění byl v mezičase určeném pro výměnu nástroje odebrán v průběhu testu za konstantní řezné rychlosti  $v_c = 220$  m/min vzorek třísky z aktuálního cyklu pro jednotlivé destičky.

V tab. 8.1 jsou fotografie seřazeny vzestupně na základě trvanlivosti.

Tab. 8.1 Vzorky odebrané třísky pro břitové destičky A2, A8, B2, B8.



## 9 DATOVÁ ANALÝZA

Na základě dat získaných z komparačního testování trvanlivosti popsaného v kap. 6 byly hodnoty délek životních cyklů jednotlivých břitů uspořádány do tabulek. Data byla získávána v rámci dvou separátních testů, které se vzájemně odlišovaly rozdílnou geometrií utvařeče třísky.

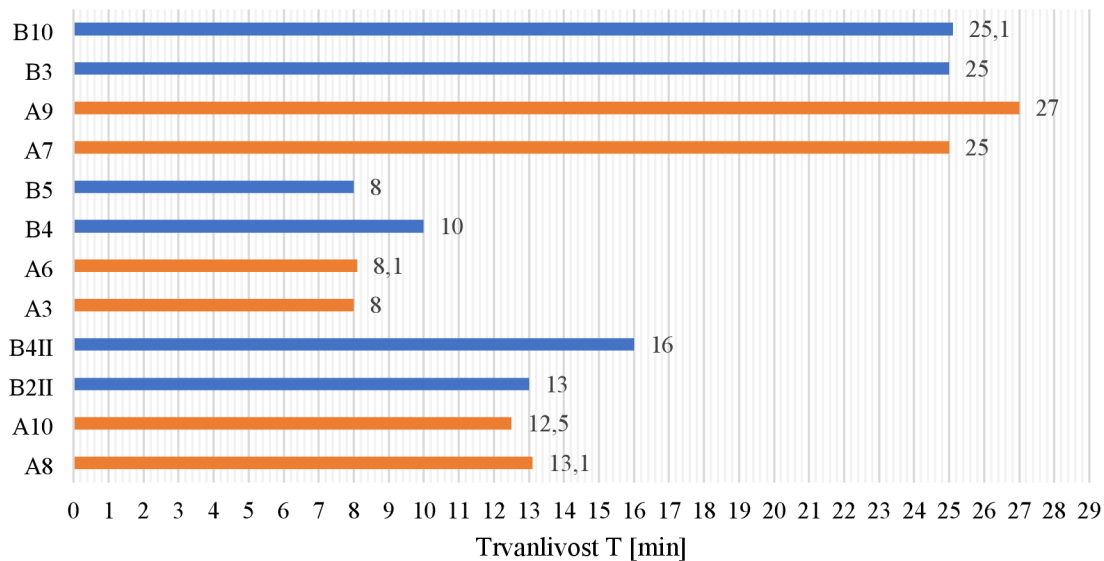
### 9.1 Hodnocení míry vlivu řezné rychlosti a posuvu na trvanlivost

Předmětem první testovací fáze byla kvantifikace vlivu proměnných řezných podmínek na dvojici geometricky shodných řezných destiček s rozdílnou technologií povlakování. Metodika provádění hodnoceného testu je podrobně popsána v kap. 6.

Do tab. 1 byla zaznamenána data pro prvních šest dvojic břitů, testovaných za konstantního posuvu a šířky záběru při různých velikostech řezné rychlosti. Trvanlivosti všech testovaných kusů jsou bez ohledu na různost řezných podmínek porovnány v grafu 1.

Tab. 2 Hodnoty trvanlivosti destiček testovaných za konstantního posuvu.

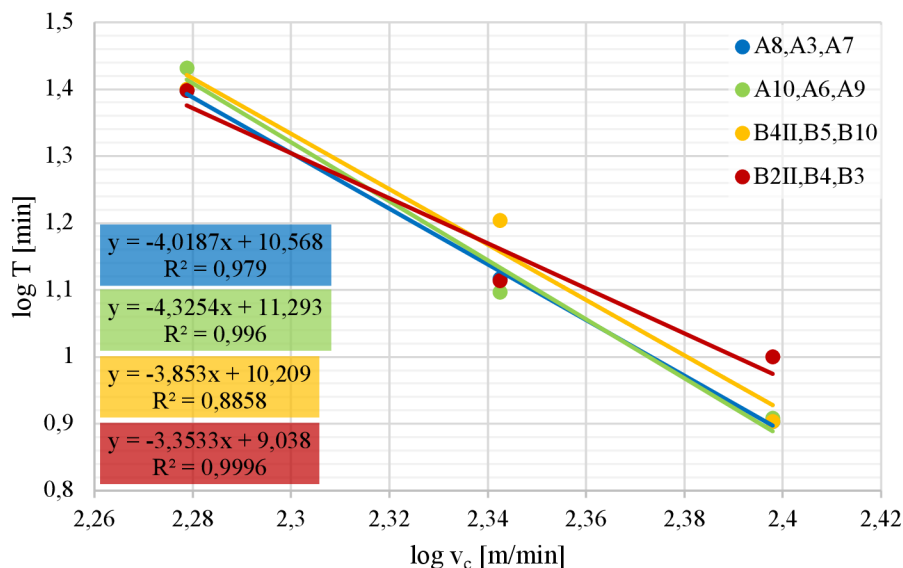
	<b>A8</b>	<b>A10</b>	<b>B2II</b>	<b>B4II</b>	<b>A3</b>	<b>A6</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>A7</b>	<b>A9</b>	<b>B3</b>	<b>B10</b>
<b>v<sub>c</sub></b>	220	220	220	220	250	250	250	250	190	190	190	190
<b>a<sub>p</sub></b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>f</b>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>T</b>	<b>13,1</b>	<b>12,5</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>8,1</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>25,1</b>



Graf 4 Trvanlivost řezných destiček pro soustružení s konstantním posuvem.

Experimentálně získaná data z tab. 1 bylo možné využít k sestavení trvanlivostní závislosti popsané podrobněji v kap. 3. K sestavení zmiňované závislosti pro variantu s konstantní hodnotou strojního posuvu jsou důležitá data trvanlivosti  $T$  a řezné rychlosti  $v_c$ . Hodnoty z příslušných řádků tab. bylo nutné nejprve upravit pomocí logaritmu a následně závislost vyjádřit formou bodového grafu. Množina bodů byla aproximována polynomem vhodného stupně za účelem získání lineární závislosti. Zmiňovaná lineární závislost velikosti řezné rychlosti na trvanlivosti řezného nástroje se nachází na grafu 2.

Při pohledu na grafické vyjádření závislosti je jasný trend poklesu trvanlivosti s rostoucí velikostí řezné rychlosti. Mezi hlavní numerické výstupy této analytické metody patří určení hodnoty koeficientu  $m$  a úhlu  $\alpha$ , který svírá směrnice s vodorovnou osou. K určení těchto hodnot je nezbytné znát rovnici trendové přímky ve tvaru  $ax + b = y$ , ze které je s využitím Pythagorovy věty vypočtena tangenta úhlu  $\alpha$ , jež odpovídá v absolutní hodnotě hledanému koeficientu  $m$ .



Graf 5 Závislost trvanlivosti na velikosti řezné rychlosti ( $T-v_c$ ).

Tab. 3 Hodnoty koeficientu  $m$  a úhlu směrnice s vodorovnou osou pro testované nástroje.

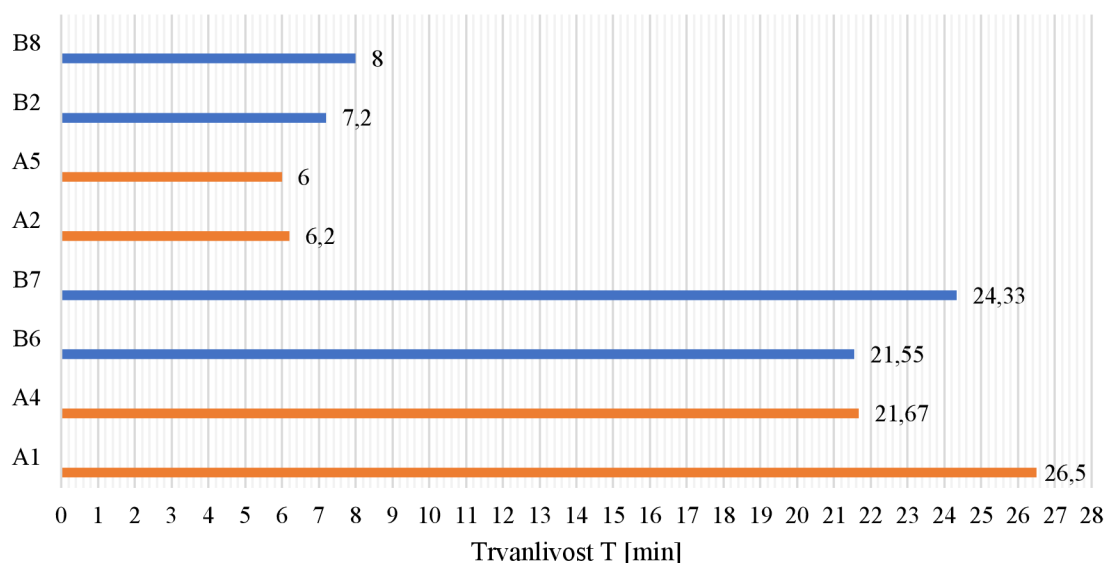
$y/x =$	-3,8530	-	B4II, B5, B10	$y/x =$	-4,0187	-	A8, A3, A7
$\tan\alpha =$	-3,8530	-		$\tan\alpha =$	-4,0187	-	
$\alpha =$	14,5 °			$\alpha =$	14,0 °		
$m =$	3,9	-		$m =$	4,0	-	
$y/x =$	-3,3533	-	B2II, B4, B3	$y/x =$	-4,3254	-	A10, A6, A9
$\tan\alpha =$	-3,3533	-		$\tan\alpha =$	-4,3254	-	
$\alpha =$	16,6 °			$\alpha =$	13,0 °		
$m =$	3,4	-		$m =$	4,3	-	



V tab. 3 se nacházejí data trvanlivosti čtyř dvojic destiček zapojených do řezného procesu v tomto případě za konstantní rychlosti a šířky záběru, s proměnlivou hodnotou strojního posuvu. Graf 3 znázorňuje trvanlivosti jednotlivých břitů se zanedbáním proměnlivosti posuvu.

Tab. 4 Hodnoty trvanlivosti destiček testovaných za konstantní řezné rychlosti.

	A1	A4	B6	B7	A2	A5	B2	B8
$v_c$	220	220	220	220	220	220	220	220
$a_p$	2	2	2	2	2	2	2	2
$f$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,35	0,35	0,35	0,35
<b>T</b>	<b>26,5</b>	<b>21,67</b>	<b>21,55</b>	<b>24,33</b>	<b>6,2</b>	<b>6</b>	<b>7,2</b>	<b>8</b>

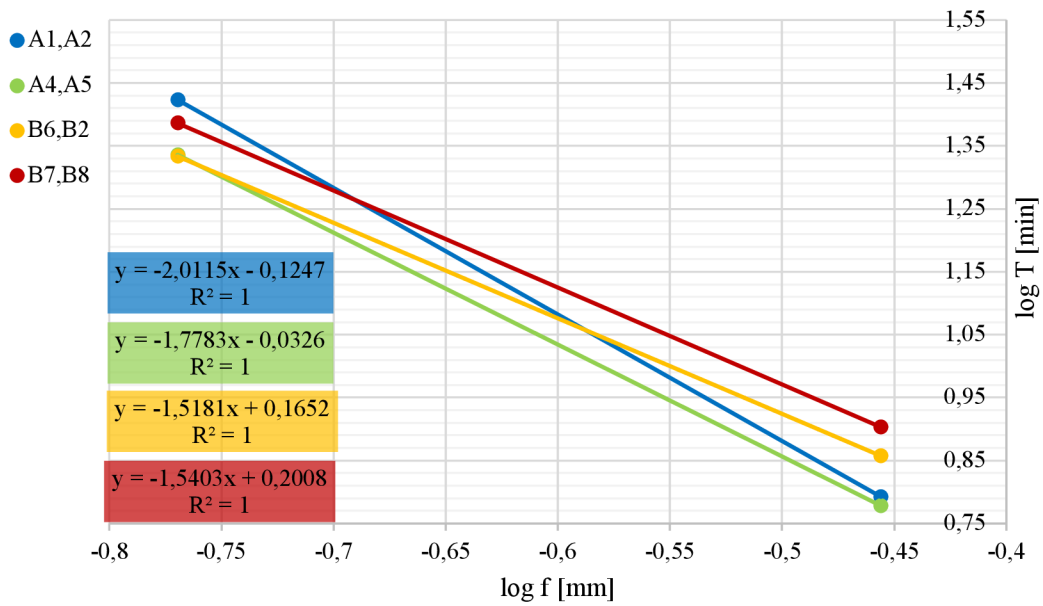


Graf 6 Trvanlivost řezných destiček pro soustružení s konstantním posuvem.

Skutečný vliv proměnlivého strojního posuvu na trvanlivost řezných nástrojů získáme analogicky, jako v předchozím případě sestavením bodového grafu 4 závislosti trvanlivosti T a strojního posuvu  $f$ . Hodnoty v inkriminovaných řádcích budou taktéž logaritmovány, vneseny do grafu a proloženy trendovou křivkou v lineárním tvaru. Z lineární rovnice rovněž vyčteme hodnotu tangenty úhlu  $\alpha$ , potažmo koeficientu  $m$  a dopočítáme samotný úhel. Veličiny  $m$  a  $\alpha$  pro jednotlivé břity se nacházejí v tab. 4.

Tab. 5 Hodnoty koeficientu  $m$  a úhlu směrnice s vodorovnou osou pro testované nástroje.

$y/x =$	-1,5181	-	B6, B2	$y/x =$	-2,0115	-	A1, A2
$\tan\alpha =$	-1,5181	-		$\tan\alpha =$	-2,0115	-	
$\alpha =$	33,4 °			$\alpha =$	26,4 °		
$m =$	1,5	-	B7, B8	$m =$	2,0	-	A4, A5
$y/x =$	-1,5403	-		$y/x =$	-1,7783	-	
$\tan\alpha =$	-1,5403	-		$\tan\alpha =$	-1,7783	-	
$\alpha =$	33,0 °			$\alpha =$	29,4 °		
$m =$	1,5	-		$m =$	1,8	-	



Graf 7 Závislost trvanlivosti na velikosti strojního posuvu (T-f).

Grafy vyjadřující závislosti vlivu proměnné řezné rychlosti na trvanlivost mezi destičkami pouze jedné sady anebo vzájemně porovnávající průměrná data destiček ze sad A a B se nacházejí v příloze 1, příloze 2 a příloze 3.

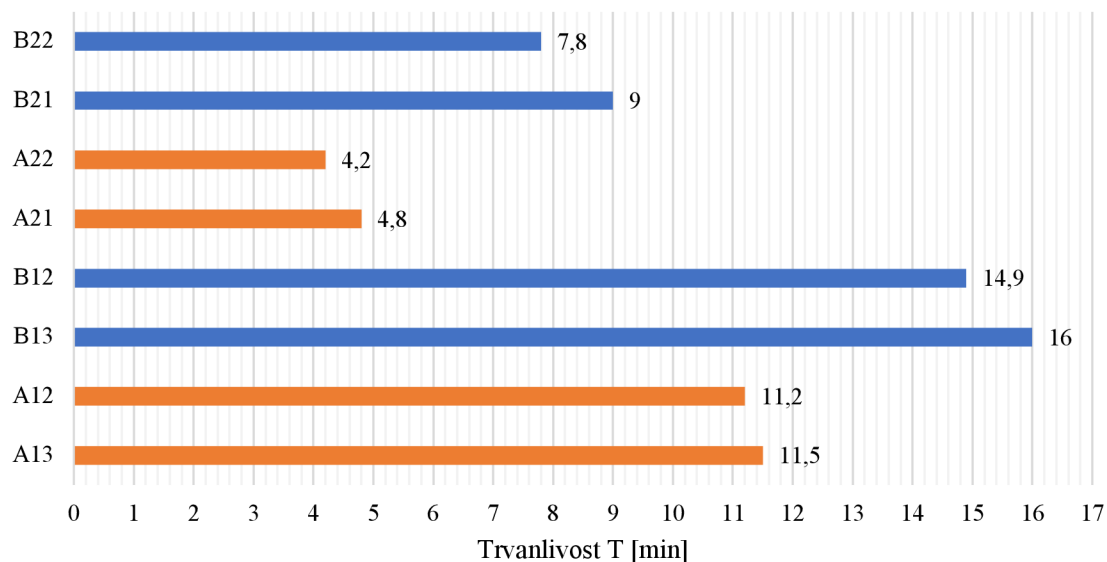
## 9.2 Komparační testování břitů s odlišnou geometrií utvařeče třísky

Tato testovací série byla do celé studie zařazena z důvodu kvantifikace vlivu různé geometrie utvařeče na průběh opotřebení a výslednou trvanlivost břitů.

Analogicky jako u testu reprezentovaného tab. 3,4 a grafy 3,4 byly nejprve testovány čtyři páry břitů v řezném procesu charakteristickým konstantní velikostí řezné rychlosti a s dvěma rozdílnými hodnotami strojního posuvu. Hodnoty Trvanlivostí dosažené konkrétními řeznými nástroji v průběhu tohoto testu jsou zaneseny do tab. 5 a opět znázorněny s využitím pruhového grafu 5.

Tab. 6 Hodnoty trvanlivosti destiček testovaných za konstantní řezné rychlosti.

	<b>A13</b>	<b>A12</b>	<b>B13</b>	<b>B12</b>	<b>A21</b>	<b>A22</b>	<b>B21</b>	<b>B22</b>
<b>v<sub>c</sub></b>	220	220	220	220	220	220	220	220
<b>a<sub>p</sub></b>	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>f</b>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,35
<b>T</b>	<b>11,5</b>	<b>11,2</b>	<b>16</b>	<b>14,9</b>	<b>4,8</b>	<b>4,2</b>	<b>9</b>	<b>7,8</b>

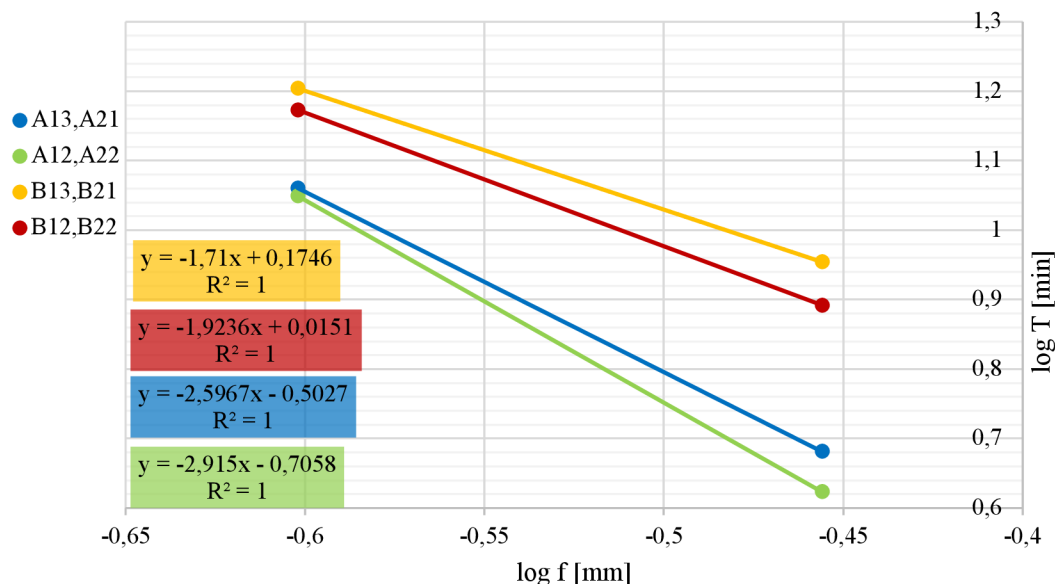


Graf 8 Trvanlivost řezných destiček s rozdílnou geometrií utvařeče, soustružení s konstantním posuvem.

Tab. 7 Hodnoty koeficientu m a úhlu směrnice s vodorovnou osou pro testované nástroje.

y/x =	-1,7100	-	<b>B13, B21</b>	y/x =	-2,5967	-	<b>A13, A21</b>
tanα =	-1,7100	-		tanα =	-2,5967	-	
α =	<b>30,3</b> °			α =	<b>21,1</b> °		
m =	<b>1,7</b>	-		m =	<b>2,6</b>	-	
y/x =	-1,9236	-	<b>B12, B22</b>	y/x =	-2,9150	-	<b>A12, A22</b>
tanα =	-1,9236	-		tanα =	-2,9150	-	
α =	<b>27,5</b> °			α =	<b>18,9</b> °		
m =	<b>1,9</b>	-		m =	<b>2,9</b>	-	

Z hlediska vyhodnocení výsledků z tab. 5 získaných tímto testem byl vzhledem k jednotnosti výstupů volen postup shodný s předchozími testy. Data z řádků tab. 5 obsahující trvanlivost  $T$  v minutách a strojní posuv v jednotkách mm. byly zlogaritmovány a zaneseny do bodového grafu 6, ze kterého byly opět s využitím poznatků dle Taylora vyjádřeny hodnoty koeficientu  $m$  a úhlu směrnice trendové přímky  $\alpha$ , zapsané v tab. 6.



Graf 9 Závislost trvanlivosti na velikosti strojního posuvu pro rozdílnou geometrii utvařeče (T-f).

Grafy vyjadřující závislosti vlivu proměnného strojního posuvu na trvanlivost mezi destičkami pouze jedné sady anebo vzájemně porovnávací průměrná data destiček ze sad A a B se nacházejí v příloze 4, příloze 5 a příloze 6.

### 9.2.1 Hodnocení vlivu geometrie utvařeče třísky

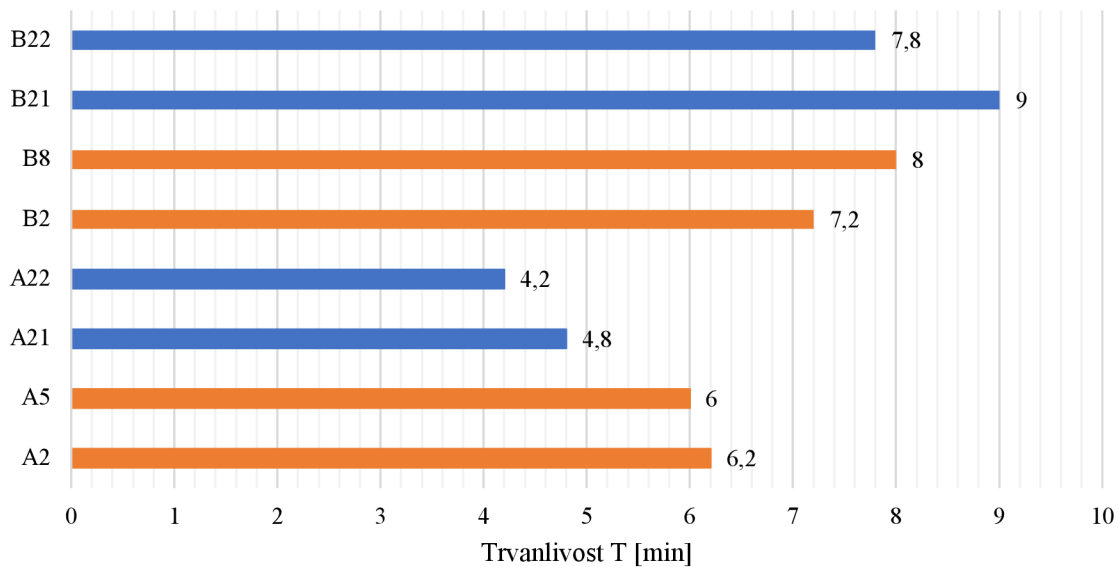
Hodnocení výhradního vlivu geometrie utvařeče na výslednou trvanlivost řezného nástroje vyžaduje eliminaci jakýchkoliv ostatních vlivů. Přestože neexistují nikdy dva zcela totožné nástroje, bylo nezbytné v rámci testu vzájemně porovnat břity ze stejného materiálu, shodnou geometrií, povrchovou úpravou a odlišujících se pouze geometrií utvařeče třísky. Test byl proveden za totožných podmínek pro oba porovnávané nástroje. V tab. 7 jsou uvedeny hodnoty trvanlivosti dvě čtveřice vzájemně porovnávaných nástrojů. Data ve sloupcích s šedým podbarvením pocházejí z tab. 3 a data ve světlých sloupcích z tab. 5.

Rozdíly v délce technického života porovnávaných nástrojů je zřetelný z názorného porovnání v grafu 7.

Tab. 8 Hodnoty trvanlivosti destiček testovaných za konst. řezné rychlosti pro dvě geometrie utvařeče.

	A2	A5	A21	A22	B2	B8	B21	B22
$v_c$	220	220	220	220	220	220	220	220
$a_p$	2	2	2	2	2	2	2	2
$f$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
$T$	6,2	6	4,8	4,2	7,2	8	9	7,8

Poznámka: Destičky A2,A5,B2,B8 s utvařečem třísky 1  
Destičky A21,A22,B21,B22 s utvařečem třísky 2



Graf 10 Porovnání dvou čtveřic nástrojů s rozdílnou geometrií utvařeče třísky.

Metodika analýzy dat z tab. 7 vycházela z určení aritmetických průměrů vždy dvojic destiček testovaných za shodných podmínek a s identickou konstrukcí utvařeče třísky. Takto získaná data (viz levá část tab. 8) průměrných trvanlivostí pro danou kombinaci řezných podmínek a geometrie utvařeče byla vzájemně porovnána a určen rozdíl mezi trvanlivostmi zvláště pro bříty s povlakem typu A a typu B.

Tab. 9 Hodnoty aritmetických průměrů trvanlivostí a odchylka způsobená vlivem utvařeče.

Průměr trvanlivosti A2,A5:	<b>6,1</b>	Rozptyl A:	<b>-26,23</b>	<b>%</b>
Průměr trvanlivosti B2,B8:	<b>7,6</b>			
Průměr trvanlivosti A21,A22:	<b>4,5</b>	Rozptyl B:	<b>9,52</b>	<b>%</b>
Průměr trvanlivosti B21,B22:	<b>8,4</b>			

Ze srovnání dvojic břitových destiček s utvařečem typu 1 a 2 je zřetelný rozdíl v trvanlivostech. Při daných řezných podmínkách reagovaly sady s povlakováním typu A opačně než sada s povlakováním typu B. U destiček sady B se použitím nové geometrie utvařeče prodloužila trvanlivost v průměru o 9,5 %, oproti tomu životnost sady A se za stejných podmínek snížila o 26,2 %. Rozdílné chování je pravděpodobně způsobeno rozdílnou technologií použitou při výrobě destiček a rozdílné dynamice šíření poškození a to zejména na čele nástroje.

Analogicky jako u předešlých testů se závislosti vyjadřující vliv proměnného strojního posuvu na trvanlivost mezi destičkami pouze jedné sady anebo vzájemně porovnávací průměrná data destiček ze sad A a B nacházejí v příloze 7, příloze 8 a příloze 9.

### 9.3 Nepřesnost dat v důsledku rozdílného chování totožných břitů

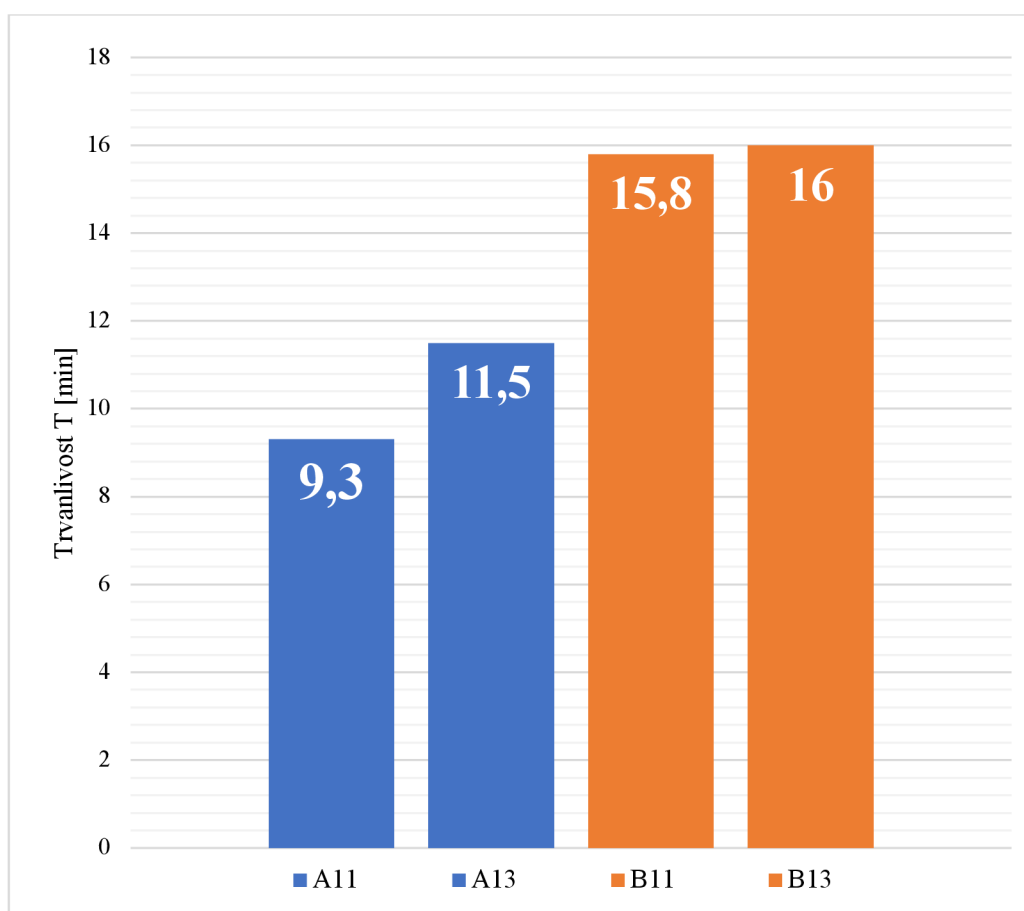
Nezanedbatelným faktorem ovlivňujícím přesnost získaných dat a zkreslujícím pak zejména výsledky celého měření je rozdílné chování produktů, které v rámci testování považujeme za totožné. Pro kvantifikaci míry vnesených nepřesností do měření byly provedeny testy totožných destiček, jak pro sadu s povlakováním typu A, tak i pro inovovanou technologii povlakování typu B.

Na stroji byla nastavena řezná rychlost 220 ot/min, strojní posuv 0,25 mm. a šířka posuvu 2 mm. Hodnoty trvanlivostí, kterých dosahovaly jednotlivé řezné nástroje jsou zaznamenány v tab. 9.

Tab. 10 Trvanlivosti a rozptyly dvojic shodných destiček.

	<b>A11</b>	<b>A13</b>	<b>B11</b>	<b>B13</b>	Rozptyl A	19,13	%
<b>T</b>	9,3	11,5	15,8	16	Rozptyl B	1,25	%

Data z tab. 9 pro obě testované sady byla vzájemně porovnána a výpočtem určen rozptyl hodnot trvanlivostí mezi stejnými břitovými destičkami. Trvanlivosti obou dvojic destiček jsou graficky znázorněna na pruhovém grafu 8. Rozptyl je numericky zaznamenán v tab. 9.



Graf 11 Porovnání trvanlivostí shodných břitů.

Porovnáním trvanlivostí identických destiček testovaných za shodných podmínek můžeme říci, že u sady s povlakováním typu B je hodnota rozptylu velmi nízká díky dobré stálosti materiálu nástroje při těchto řezných podmínkách. Naopak u sady s povlakováním typu A je rozptyl značně vyšší, protože při dané kombinaci řezných podmínek docházelo u tohoto materiálu k nelineárnímu nárůstu opotřebení zejména na čele a to mělo za následek náhlé vylomení ostří nástroje.

## ZÁVĚR

Na základě výstupů jednotlivých segmentů komplexní trvanlivostní analýzy vyměnitelných břitových destiček lze říci, že testovací soustava vykazovala po celou dobu průběhu zkoušky lineární chování. Detailně byla ověřena materiálová specifikace předepsaného polotovaru zejména z hlediska porovnání mikrostruktury s etalonem a kontroly stálosti mikrotvrdosti, která byla měřena průběžně na různých místech. Průkaznost získaných hodnot dokazuje také nízký rozptyl hodnot trvanlivosti u břitových destiček s novou technologií, stěžejní pro tuto analýzu.

Podle přesně navržené metodiky byla úspěšně provedena, jak všechna vstupní měření, tak nosná část zkoušky obsahující samotné trvanlivostní testování vyměnitelných břitových destiček, ze které vzešla relevantní data, díky následné analýze, umožňující sestavení objektivních závěrů. Doplňková měření struktury povrchu a odběr vzorků třísky umožnily provést komplexní hodnocení vlivů řezných podmínek na kvalitu obráběných ploch a charakter odváděné třísky. Zpracování dat bylo prováděno zpravidla graficky za využití jednotných technik a metod v aplikaci Microsoft Excel.

V práci bylo dosaženo následujících závěrů:

- rozptyl naměřených hodnot trvanlivosti referenční sady testovaných břitů byl 1,25 %,
- vliv proměnlivé řezné rychlosti měl za následek v průměru 6,16% nárůst trvanlivosti ve prospěch nově vyvinuté technologie,
- vliv proměnlivého strojního posuvu měl za následek v průměru 17,61% nárůst trvanlivosti ve prospěch nově vyvinuté technologie,
- při navýšení velikostí řezné rychlosti i strojního posuvu o shodně cca o 26% dochází u břítu referenční sady B ke zkrácení trvanlivosti v prvním případě o 64,07% a v druhém případě o 45,63%.

Je zřejmé, že zvyšováním řezné rychlosti dochází k výraznější degradaci a dřívější ztrátě funkčních vlastností VBD než při procentuálně stejně velkým navyšování strojního posuvu. Konkrétně procentuální rozdíl vlivů odpovídá přibližně 18,5%.

Obecně lze říci, že zejména díky všeobecné komplexnosti může celá analýza poskytnout cenný náhled do problematiky degradace VBD, jak odborné komunitě, tak i široké veřejnosti. Pro odborníky zabývající se vývojem a výzkumem v oblasti VBD mohou především informace v podobě grafických Taylorových závislostí, vzájemných komparací trvanlivostí testovaných břitů a podrobně popsaného průběhu jejich chování v procesu testování sloužit jako užitečný zdroj dat pro budoucí inovace těchto nástrojů.

Tato diplomová práce se zaměřila na trvanlivostní testování vyměnitelných břitových destiček při válcovém soustružení uhlíkové oceli a vzhledem k rozsahu běžného pro diplomové práce nebylo možné podrobněji zkoumat všechny jednotlivosti této komplexní a zajímavé problematiky. Výsledky a postupy v této práci však nabízejí široké možnosti pro budoucí výzkum a prozkoumání jednotlivých problémů zmiňovaných v této práci do větší hloubky.

V diplomové práci byly úspěšně dosaženy všechny stanovené cíle ze zadání.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. Technologie I: Technologie obrábění – 1. část [online]. Studijní opory. VUT – FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003 [vid. 2012-11-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
  2. KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
  3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
  4. Operation On Lathe Machine. In: Mechanical technology [online]. [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://ranamechanical.blogspot.com/2019/03/operation-on-lathe.html>
  5. Technologie II: 2. část [online]. [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf)
  6. Hrotový soustruh. In: Ostravská univerzita [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/Img/02000.gif>
  7. Řezné nástroje. In: Dormer-pramet.cz [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://5wyuco84ao39w9tsgkkmmx.blob.core.windows.net/cms/NOVÉ-VÝROBKY-2023-1-CZ.pdf>
  8. Destičkový vrták. In: Dormer Pramet [online]. [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cz/cs/p/6759021>
  9. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
  10. Držák nástroje. In: I-nástroje.cz [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.i-nastroje.cz/fotky59717/fotos/drzakyvbd/dr%C5%BE%C3%A1k.jpg>
  11. Soustružnický nůž. In: Falti [online]. [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: [https://www.falti.cz/k2data/FALTI/19/2000000325/18208\\_18208.JPG](https://www.falti.cz/k2data/FALTI/19/2000000325/18208_18208.JPG)
  12. Soustružnické operace. In: Ostravská univerzita [online]. [cit. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/Img/030039.jpg>
  13. OPRŠÁL, Ladislav. Nástroje vyráběné ze slinutých karbidů [online]. Brno, 2014 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30293859.pdf>. Bakalářská. VUT v Brně. Vedoucí práce Milan Kalivoda.
  14. Značení VBD dle normy ISO. In: Wikipedia [online]. [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Zna%C4%8Den%C3%ADA.jpg>
  15. Dormer Pramet s.r.o. [online]. 2022 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cz/cs/about-us>
  16. PAVLOVSKÝ, Tomáš. Povlakované slinuté karbidy a jejich efektivní využití [online]. Brno, 2012 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=55752](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55752). Diplomová práce. VUT v Brně.
  17. VANĚČEK, Stanislav. Cermety a jejich efektivní využití [online]. Brno, 2009 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=15571](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15571). Diplomová práce. VUT v Brně.
-

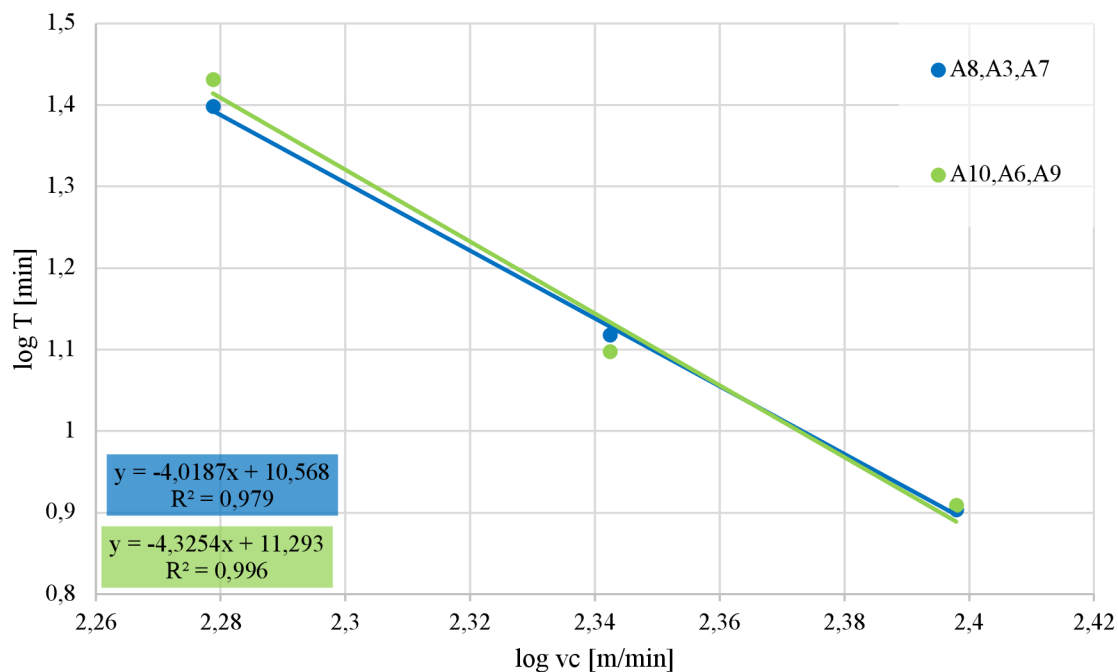


18. PŘIBYL, Martin. Obrobitelnost hliníkových slitin [online]. Praha, 2017 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73073/F2-BP-2017-Pribyl-Martin-Bakalarska%20prace%20-%20Obrobitelnost%20hlinikovych%20slitin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
19. DRDA, David. Technologické a ekonomické parametry řezného nástroje [online]. 2009, Brno [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73073/F2-BP-2017-Pribyl-Martin-Bakalarska%20prace%20-%20Obrobitelnost%20hlinikovych%20slitin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. VUT v Brně.
20. NONN, Vilém. ŘEZNÉ MATERIÁLY NA BÁZI DIAMANTU A JEJICH VYUŽITÍ V PRAXI [online]. Brno, 2019 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=192883](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=192883). Bakalářská práce. VUT v Brně.
21. ČEP, Robert a Jana PETRŮ. Úvod do teorie obrábění: Opotřebení řezných nástrojů [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2022-11-23]. ISBN ISBN 978-80-248-3013-1. Dostupné z: [https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/%C3%A9vod%20do%20teorie%20obrabeni%2004%20Opot%C5%99eben%C3%AD%20%C5%99ezn%C3%BDch%20n%C3%A1stroj%C5%AF.pdf\\_002/%C3%A9vod%20do%20teorie](https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/%C3%A9vod%20do%20teorie%20obrabeni%2004%20Opot%C5%99eben%C3%AD%20%C5%99ezn%C3%BDch%20n%C3%A1stroj%C5%AF.pdf_002/%C3%A9vod%20do%20teorie)
22. SEDLÁK, Josef. Ekonomika obrábění, produktivita a hospodárnost obrábění. Brno, 2018.
23. Laboratoře katedry strojírenství. Fakulta vojenských technologií [online]. Brno: Univerzita obrany, 2022 [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://fvt.unob.cz/fakulta/struktura/laboratore-katedry-k-216/>
24. Prodej CNC strojů. Sedlacek Trade s.r.o. [online]. Chomutov, 2022 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://www.sedlacek-t.cz/soustruh-sp-280-sy/>
25. MIKON, Tools. Drsnosti povrchů a jejich značení a převodník [online]. In: . [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.mikon-tools.cz/drsnosti-povrchu-a-jejich-znaceni-a-prevodnik/>
26. JANÍČKOVÁ, Petra. Základní práce na soustruhu: Průřez třísky [online]. In: . [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3393231/11/images/4/Pr%C5%AF%C5%99ez+t%C5%99%C3%ADsky+Pr%C5%AF%C5%99ez+t%C5%99%C3%ADsky+A+je+sou%C4%8Dinem+hloubky+%C5%99ezu+ap+a+posuvu+f.jpg>
27. BARTOŠ, Libor. Tvar třísky a geometrie nástroje [online]. 2014 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1816>
28. SEDLÁK, Josef. Posouzení stavu dodaných třisek. Brno, 2022.

## SEZNAM PŘÍLOH

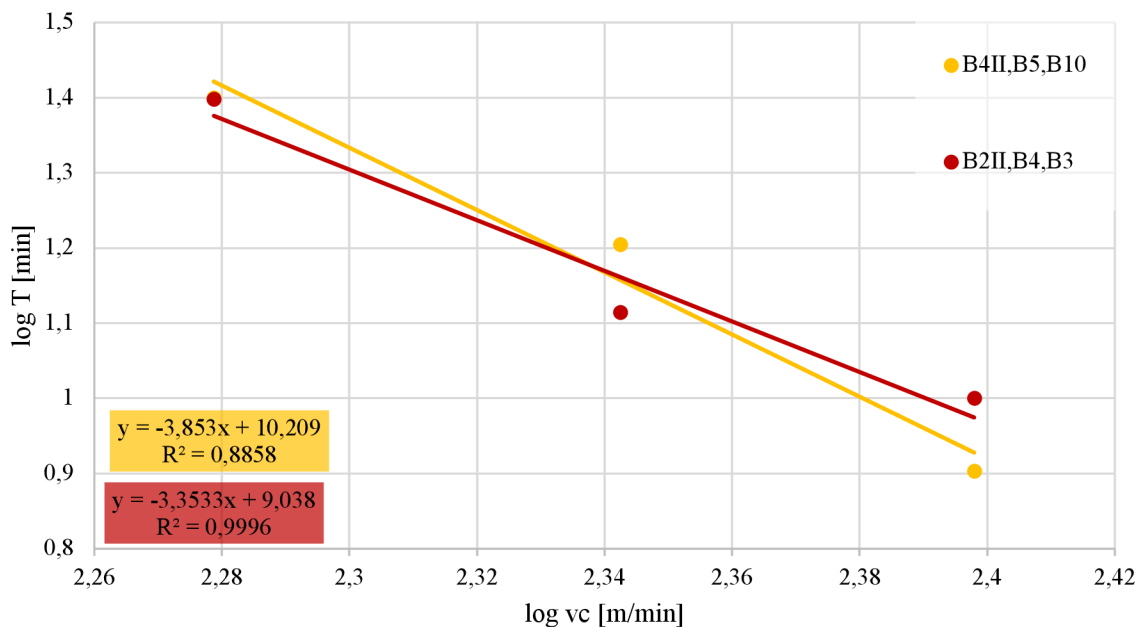
- Příloha 1 Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady A za proměnlivé řezné rychlosti
  - Příloha 2 Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady B za proměnlivé řezné rychlosti
  - Příloha 3 Porovnání trvanlivostí břitů sady A a B za proměnlivé řezné rychlosti
  - Příloha 4 Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady A za proměnlivého posuvu
  - Příloha 5 Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady B za proměnlivého posuvu
  - Příloha 6 Porovnání trvanlivostí břitů sady A a B za proměnlivého posuvu
  - Příloha 7 Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady A – nová geometrie
  - Příloha 8 Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady B – nová geometrie
  - Příloha 9 Porovnání trvanlivostí břitů sady A a B s novou geometrií
  - Příloha 10 Výsledky kontroly na přístroji Alicona
-

## T - v závislost "Sada A"



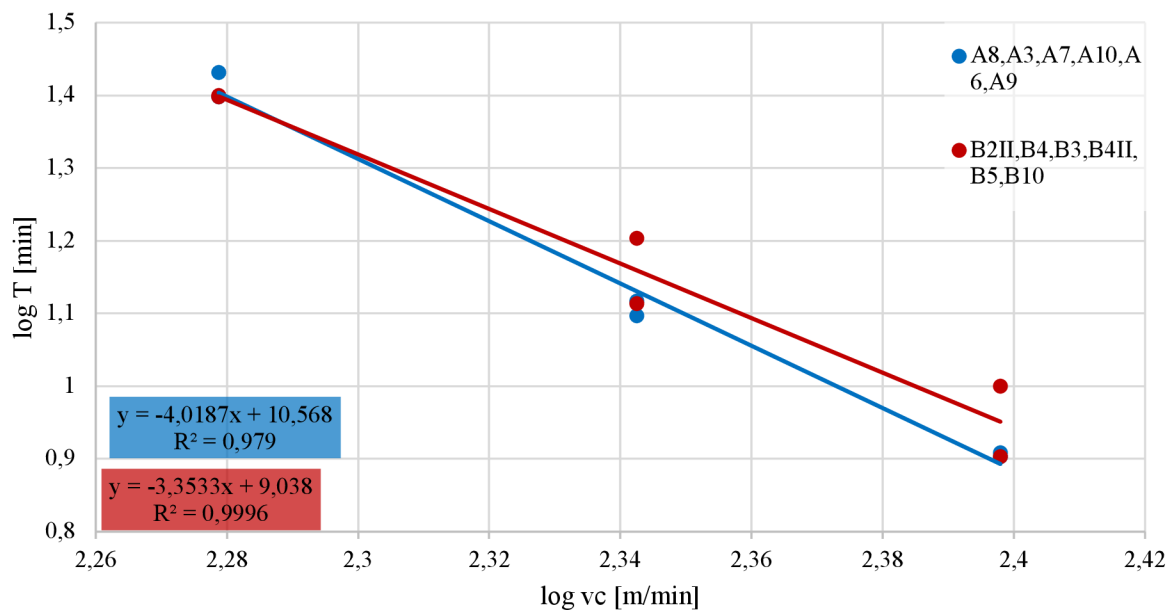
y/x =	-4,0187	-	A8,A3,A7
tan $\alpha$ =	-4,0187	-	
$\alpha$ =	14,0	°	
m =	4,0	-	
y/x =	-4,3254	-	A10,A6,A9
tan $\alpha$ =	-4,3254	-	
$\alpha$ =	13,0	°	
m =	4,3	-	

T - v závislost "Sada B"



y/x =	-3,8530	-	B4II, B5, B10
tanα =	-3,8530	-	
α =	14,5	°	
m =	3,9	-	
y/x =	-3,3533	-	B2II, B4, B3
tanα =	-3,3533	-	
α =	16,6	°	
m =	3,4	-	

## T - v závislost "A proti B"

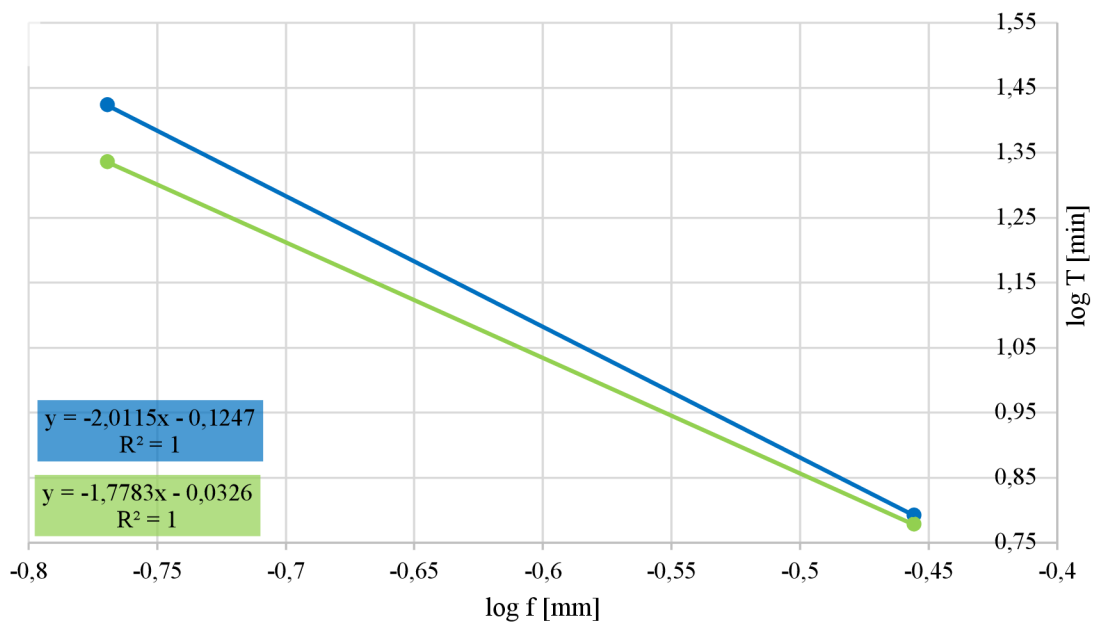


Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady A za proměnlivého posuvu

● A1,A2

T - f závislost "Sada A"

● A4,A5



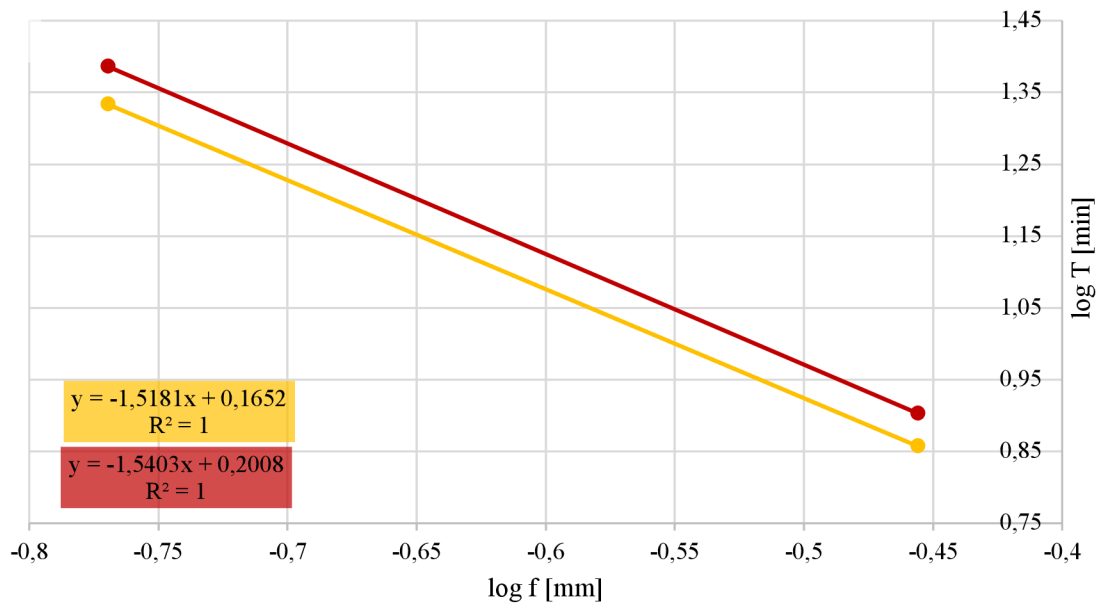
y/x =	-2,0115	-	A1,A2
tan $\alpha$ =	-2,0115	-	
$\alpha$ =	26,4	°	
m =	2,0	-	
y/x =	-1,7783	-	A4,A5
tan $\alpha$ =	-1,7783	-	
$\alpha$ =	29,4	°	
m =	1,8	-	

Taylorova závislost trvanlivosti břitů sady B za proměnlivého posuvu

● B6,B2

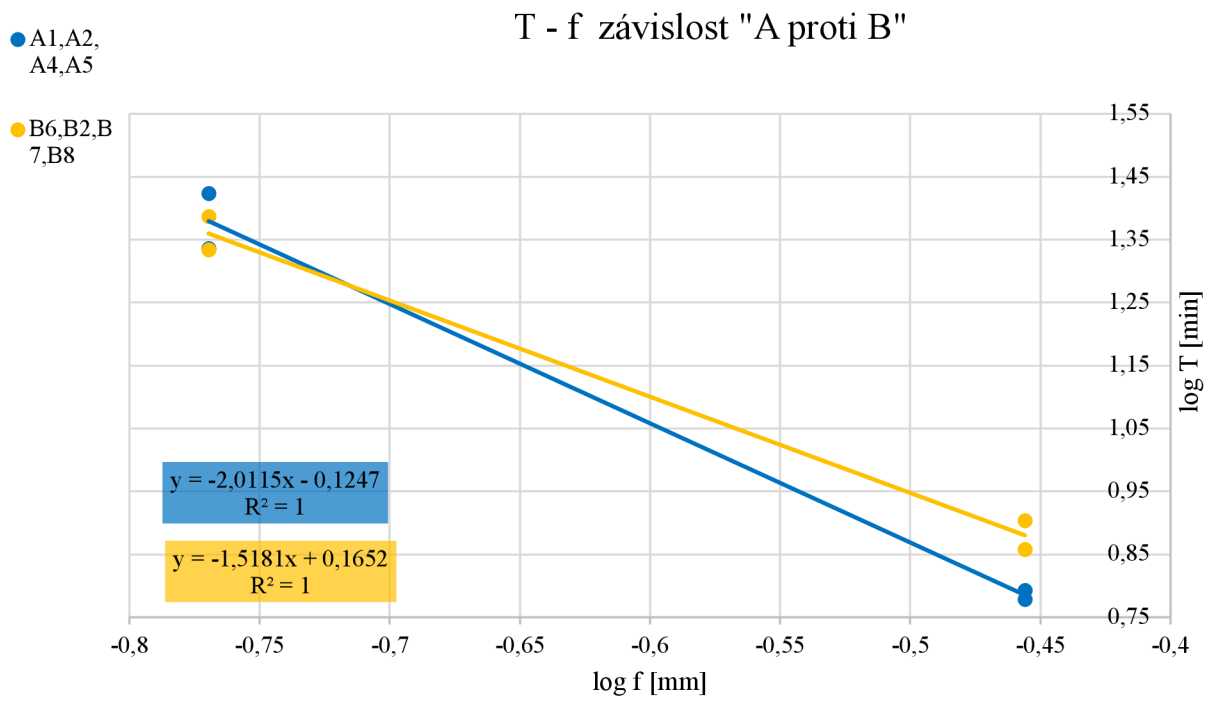
T - f závislost "Sada B"

● B7,B8



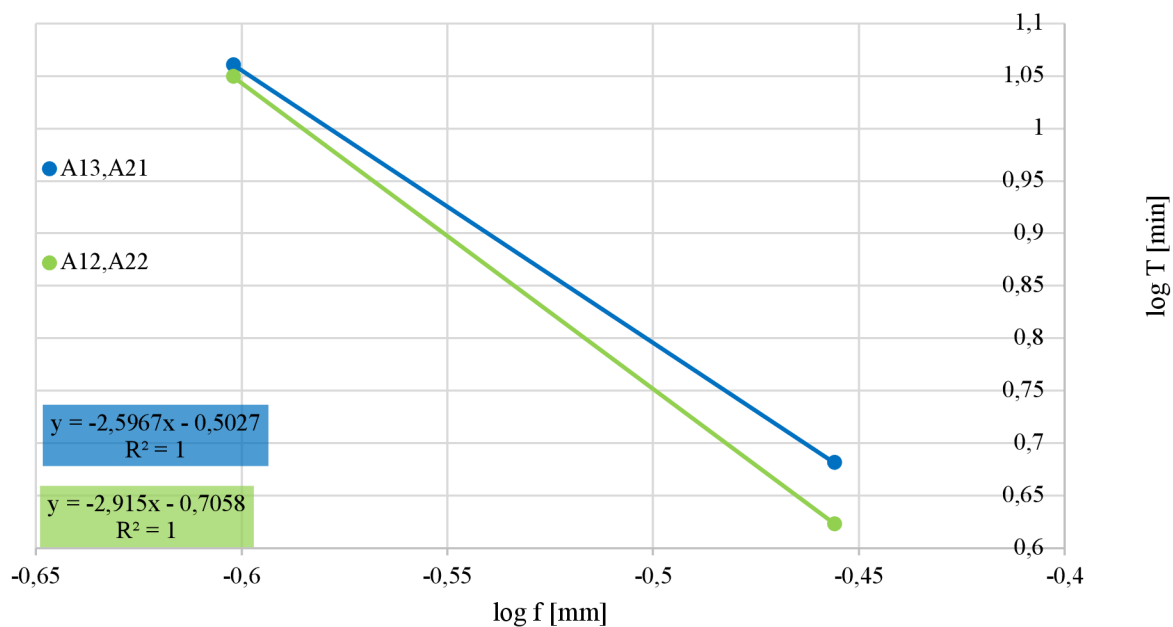
y/x =	-1,5181	-	B6, B2
tan $\alpha$ =	-1,5181	-	
$\alpha$ =	33,4	°	
m =	1,5	-	
y/x =	-1,5403	-	B7, B8
tan $\alpha$ =	-1,5403	-	
$\alpha$ =	33,0	°	
m =	1,5	-	

## Porovnání trvanlivostí břitů sady A a B za proměnlivého posuvu



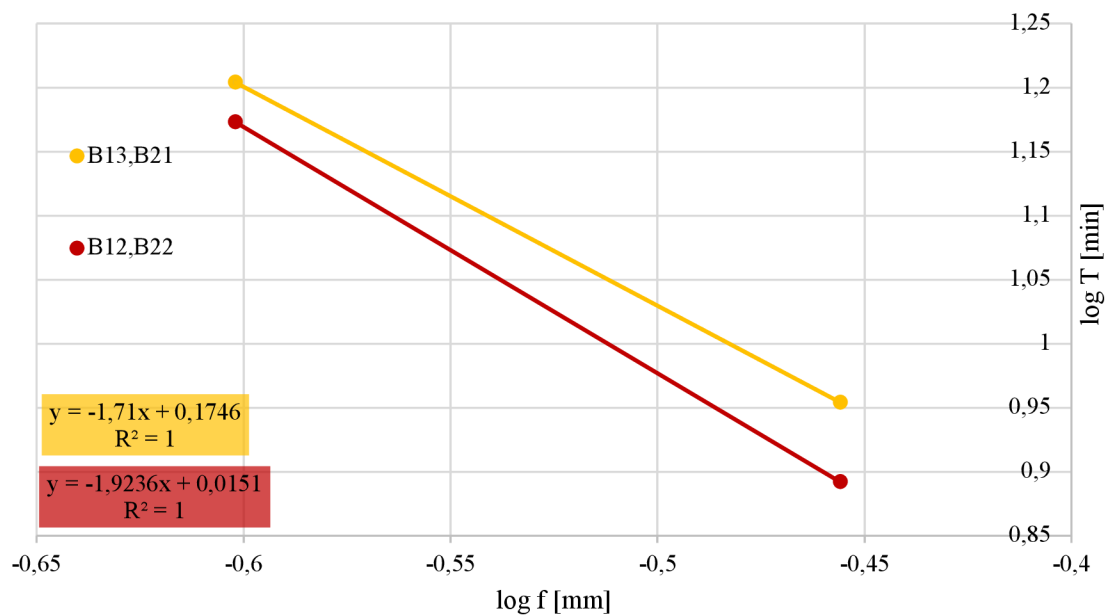


## T - f závislost "Sada A"



y/x =	-2,5967	-	A13,A21
$\tan\alpha =$	-2,5967	-	
$\alpha =$	21,1	°	
<b>m =</b>	2,6	-	
y/x =	-2,9150	-	A12,A22
$\tan\alpha =$	-2,9150	-	
$\alpha =$	18,9	°	
<b>m =</b>	2,9	-	

T - f závislost "Sada B"



y/x =	-1,7100	-	B13, B21
tan $\alpha$ =	-1,7100	-	
$\alpha$ =	30,3	°	
m =	1,7	-	
y/x =	-1,9236	-	B12, B22
tan $\alpha$ =	-1,9236	-	
$\alpha$ =	27,5	°	
m =	1,9	-	

## Porovnání trvanlivostí břitů sady A a B s novou geometrií

T - f závislost "A proti B"

