



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**ZKOUŠKY ŘEZIVOSTI VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH  
DESTIČEK PRO OBRÁBĚNÍ KOLEJOVÝCH SOUČÁSTÍ**

TESTING OF CUTTING PERFORMANCE OF INDEXABLE INSERTS FOR MACHINING OF RAILWAY  
COMPONENTS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Pavel Szczygiel**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**

**BRNO 2016**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Pavel Szczygiel**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**  
Akademický rok: 2015/16

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:

## **Zkoušky řezivosti vyměnitelných břitových destiček pro obrábění kolejových součástí**

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

Zkoušky řezivosti vyměnitelných břitových destiček pro obrábění kolejových součástí. Rozbor výrobních operací, přídavek, řezných podmínek. Realizace obrábění, měření opotřebení, rozbor dosažených výsledků.

### **Cíle diplomové práce:**

Úvod do problematiky

1. Rozbor technologie výroby, stávajících technologicko-ekonomických ukazatelů.
2. Návrh variant technologie obrábění
3. Realizace řezných zkoušek
4. Optimalizace řezných podmínek.
5. Rozbor dosažených výsledků, technologicko-ekonomické vyhodnocení.
6. Závěr

### **Seznam literatury:**

Humár, A. (2008): Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., Praha.

Baránek, I. (2004): Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. TU Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Slovensko, Trenčín.

Forejt, M., Píška, M. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o.

Baránek, I., Šandora, J. (2004): Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky. TnUAD, Trenčín.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá opotřebením vyměnitelných břitových destiček během obrábění železničních náprav ve společnosti BONATRAS GROUP a.s. Popisuje technologický postup výroby v této společnosti a základní druhy opotřebení břitových destiček. Posuzuje vývoj opotřebení řezného nástroje při navýšení řezné rychlosti o 10% a také porovnává opotřebení vyměnitelných břitových destiček od různých dodavatelů pro zmíněnou společnost. Práce se zabývá především vývojem opotřebení hřbetu řezného nástroje v závislosti na tlaku chladicí kapaliny.

### **Klíčová slova**

opotřebení řezných nástrojů, obrábění, soustružení, tlak řezné kapaliny, vyměnitelné břitové destičky

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the wear of indexable insert during machining railway axles in BONATRAS GROUP Inc. Thesis describes the technological process of this company and basic types of wear inserts. It also assesses the development of tool wear when cutting speed is increase by 10% and also to compare the wear inserts from different suppliers for that company. This work mainly deals with development of ridge wear of the cutting tool depending on the pressure of coolant.

### **Keywords**

cuttingtoolswear, machining, turning,pressureofcuttingliquidindexableinserts

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SZCZYGIEL, P. *Zkoušky řezivosti vyměnitelných břitových destiček pro obrábění kolejových součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. XY s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Zkoušky řezivosti vyměnitelných břitových destiček pro obrábění kolejových součástí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Bc. Pavel Szczygiel

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu prof. Ing. Miroslavovi Píškovi, CSc., vedoucímu této práce, za jeho rady, čas a odborné vedení. Děkuji také společnosti BONATRANS GROUP a.s., za poskytnutá data, informace a panu Ing. Tomášovi Stodolovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

## OBSAH

<b>ABSTRAKT</b> .....	4
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE</b> .....	5
<b>PROHLÁŠENÍ</b> .....	6
<b>PODĚKOVÁNÍ</b> .....	7
<b>OBSAH</b> .....	8
<b>ÚVOD</b> .....	10
<b>1 DVOJKOLÍ</b> .....	11
1.1 NÁPRAVA .....	11
<b>2 TECHNOLOGIE VÝROBY NÁPRAV V BONATRANS GROUP a.s.</b> .....	14
2.1 VSTUPNÍ MATERIÁL .....	14
2.2 ŘEZÁNÍ MATERIÁLU .....	15
2.3 KOVÁNÍ .....	15
2.4 TEPelné ZPRACOVÁNÍ .....	15
2.5 OBRÁBĚNÍ .....	16
2.6 BROUŠENÍ .....	17
2.7 VÁLEČKOVÁNÍ .....	18
2.8 MOLYBDENOVÁNÍ .....	18
<b>3 OPOŘEBENÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE</b> .....	19
3.1 MECHANISMY OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ .....	20
3.1.1 Abraze .....	21
3.1.2 Adheze .....	22
3.1.3 Difuze .....	23
3.1.4 Oxidace .....	23
3.2 DRUHY OPOTŘEBENÍ BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE .....	23
3.2.1 Opotřebenění hřbetu .....	24
3.2.2 Výmol na čele .....	24
3.2.3 Oxidační rýha na vedlejším břitu .....	25
3.2.4 Vrubové opotřebenění na hlavním břitu .....	26
3.2.5 Plastická deformace špičky .....	26
3.2.6 Tvorba nárůstku .....	27
3.2.7 Křehké porušení řezné hrany .....	27
3.2.8 Porušení řezné hrany (mimo záběr) .....	28
3.2.9 Hřebenové trhliny .....	29
3.2.10 Destrukce špičky nástroje .....	29



<b>4</b>	<b>KRITÉRIA OPOTŘEBENÍ</b> .....	30
<b>5</b>	<b>ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ PŘI ŘEZNÝCH ZKOUŠKÁCH</b> .....	32
5.1	OBRÁBĚCÍ STROJ .....	32
5.2	DIGITÁLNÍ MIKROSKOP .....	33
5.3	DRSNOMĚR .....	34
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	35
6.1	POROVNÁNÍ A POSOUZENÍ OPOTŘEBENÍ VBD A JEJICH TRVANLIVOSTÍ .....	36
6.1.1	KENNAMETAL.....	39
6.1.2	WIDIA .....	41
6.1.3	SECO TOOLS .....	43
6.2	ZÁVISLOST OPOTŘEBENÍ VBD NA TLAKU CHLADICÍ KAPALINY .....	47
6.2.1	SECO TOOLS .....	50
6.2.2	KYOCERA .....	53
6.3	VÝVOJ OPOTŘEBENÍ VBD V ZÁVISLOTI NA ZMĚNĚ ŘEZNÝCH PARAMETRŮ.....	60
<b>7</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ</b> .....	68
	<b>ZÁVĚR</b> .....	69
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	70
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	73

## ÚVOD

Železniční doprava představuje ve většině zemí světa jeden z hlavních druhů transportu zboží a také osob. Navýšení efektivity transportu je spojeno s maximalizací kapacity a rychlosti železničních vozidel. Mimo jiné jsou důležitými aspekty také bezpečnostní požadavky, což klade vyšší nároky na samotnou výrobu a dodržování daných norem na jednotlivé komponenty železničních vozidel, mezi nejdůležitější patří nápravy kolejových vozidel. Měření byla prováděna ve společnosti BONATRANS GROUP a.s., která je největším výrobcem kol a dvojkolí v Evropě a řadí se tak mezi přední světové výrobce. Tato společnost dodává svoje produkty téměř do 70 zemí na 5 kontinentech a jsou využívány pro nákladní vozy, lokomotivy, tramvaje, metra další veřejné dopravní prostředky.

Hlavním požadavkem v průmyslovém odvětví je dosažení pokud možno maxima efektivity výroby a minimalizace výrobních nákladů, což souvisí se zvýšením zisku společnosti. Pro dosažení maximální efektivity výroby a snížení výrobních časů, dochází k stálému navyšování řezných parametrů, používání výkonnějších obráběcích strojů a nástrojů. Ovšem navyšování řezných parametrů má za následek snižování životnosti řezných nástrojů a zvyšování nároků na odolnost vůči opotřebením. K docílení vyšších časů, ve kterých je schopen řezný nástroj setrvat v řezu, je zapotřebí znalosti závislosti opotřebením na různorodých aspektech.

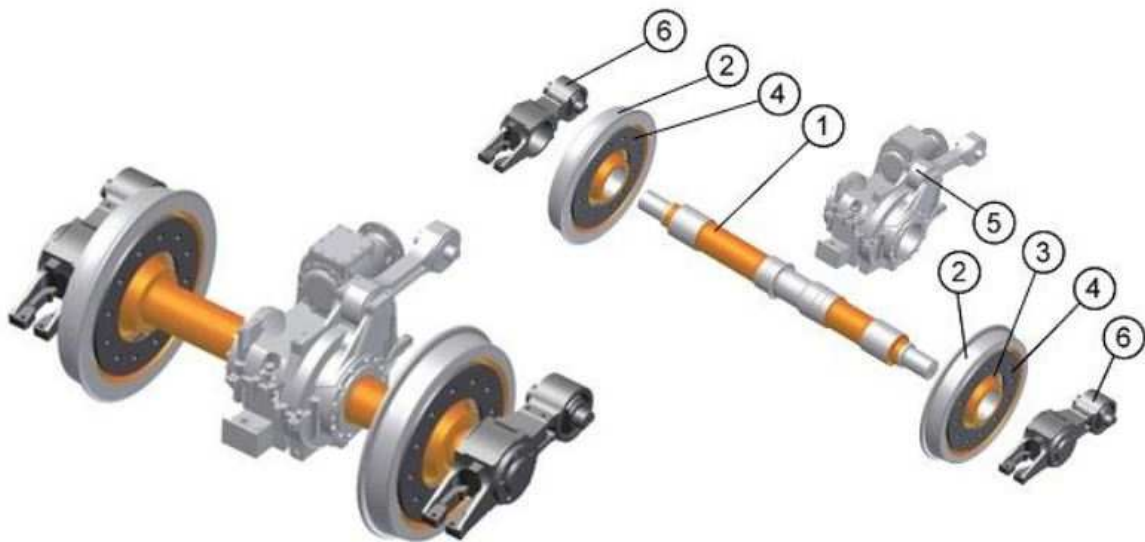
Tato práce se v úvodu zabývá technologií výroby železničních náprav ve společnosti BONATRANS GROUP a.s. a uvádí základní typy opotřebením řezného nástroje. Nejpodstatnější a zároveň hlavní část této práce se zabývá řezivostí vyměnitelných břitových destiček a to především závislosti vývoje opotřebením na různých parametrech. Je sledován průběh rozvoje opotřebením a dosahovaných hodnot drsností na obrobené ploše, v závislosti na změně tlaku provozní kapaliny. Dále je posuzován vývoj opotřebením při navýšení řezné rychlosti o 10 % původní hodnoty. Cílem je dosáhnout vyšší životnosti řezného nástroje a snížení tak výrobních nákladů.

# 1 DVOJKOLÍ

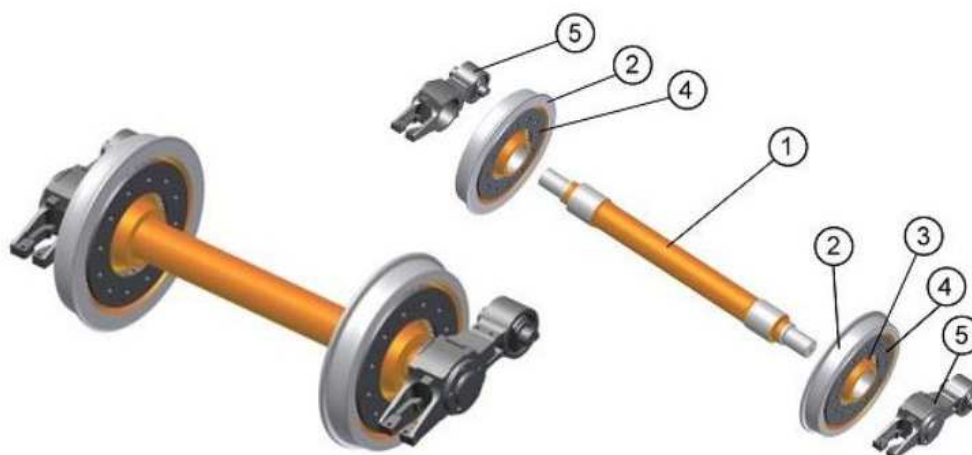
Dvojkolí je jednou z nejdůležitějších částí kolejového vozidla, která zabezpečuje nesení a vedení železničního vozidla na kolejové trati [2]. Dvojkolí je uloženo v kolejovém vozidle pomocí valivých ložisek, které jsou umístěny na tzv. ložiskových čepch v ložiskových skříních [1].

## 1.1 NÁPRAVA

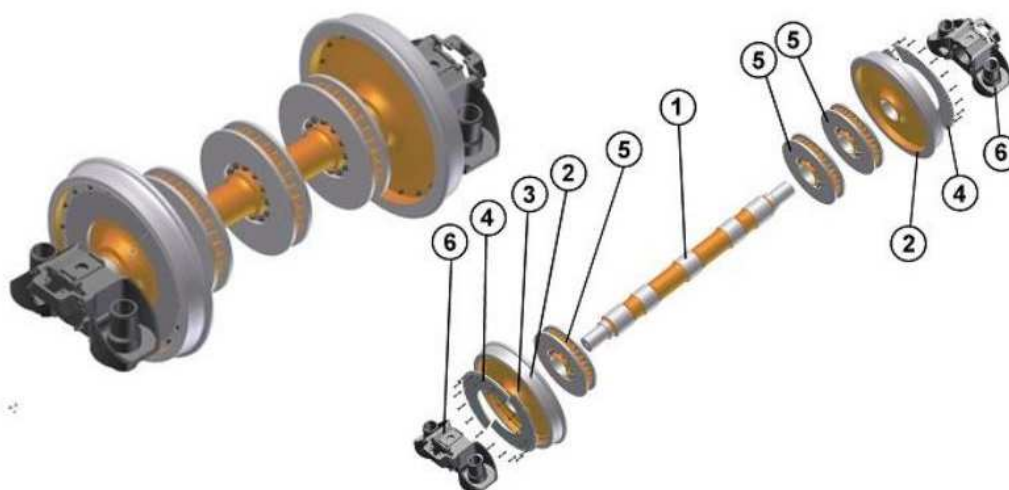
Hlavními částmi dvojkolí je náprava a na ní nalisovaná dvojice kol. Náprava je válcový nosník, jehož úkolem je zabezpečit předepsaný rozchod kol [1]. V závislosti na účelu, rozlišujeme dva základní typy náprav. Prvním typem je náprava hnací, která je zobrazena na obr. 1. Tato náprava je opatřena ozubeným kolem, které zabezpečuje přenos hnací síly nebo kroutícího momentu na nápravu a je nalisováno na dřík nápravy. Náprava zajišťující především přenesení hmotnosti na kolejovou trať je náprava hnaná viz Obr. 2. Obě tyto nápravy mohou být vybaveny buďto samotnými brzdovými kotouči, které jsou nalisované na sedlech, jež jsou umístěny na dříku nápravy, jak lze vidět na Obr. 2. Nebo koly opatřeny brzdovými deskami, viz obr. 3, tento typ se využívá z důvodu omezeného prostoru [2].



Obr. 1 Hnací náprava: 1 - dřík, 2 - kolo, 3 - záslepka, 4 - brzdová deska, 5 - převodová skříň, 6 - ložisko [2]



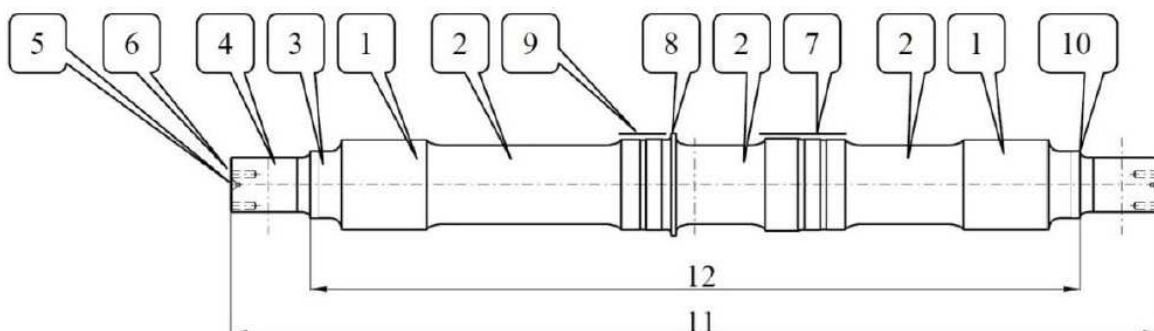
Obr. 2 Hnaná náprava: 1 - dřík, 2 - kolo, 3 - záslepka, 4 - brzdová deska, 5 - ložisko [2]



Obr. 3 Hnaná náprava: 1 - dřík, 2 - kolo, 3 - záslepka, 4 - tlumič hluku, 5 - brzdový kotouč, 6 - ložisko [2]

Čepy nápravy, sloužící pro umístění ložiskových skříní mohou být vnější nebo vnitřní. Ve většině případu jsou u kolejových vozidel používány ložiskové čepy vnější, z důvodu lepší kontroly ložisek a jejich následné výměny. Ložiskové čepy umístěny blíže středu nápravy umožňují použití kratších náprav, což se příznivě projevuje na velikosti namáhání, působící na nápravu. V tomto případě musí být ovšem zajištěna bezporuchovost použitých ložisek po celou dobu životnosti dvojkolí, bez nutnosti kontroly nebo údržby [1]. Čep plynule přechází v tzv. prašník, sloužící k umístění ucpávky, která zabraňuje vniknutí nečistot z okolního prostředí do ložiska. Prašník má větší průměr než ložiskový čep a zajišťuje tak axiální zajištění ložisek na nápravě. Za použití koncových desek, upevněnými k čelu nápravy pomocí šroubů jsou ložiska axiálně zajištěna na straně dále od

středu nápravy [1]. Na Obr. 4 lze vidět výkres nápravy, která skládá z několika částí, které se liší svým účelem, průměrem i tvarem [2].



Obr. 4 Popis části nápravy kolejového vozidla: 1 - sedlo kola, 2 - dřík nápravy, 3 - prašník, 4 - ložiskový čep, 5 - středící důlek, 6 - čelo nápravy, 7 - sedlo ozubeného kola, 8 - opěrný kroužek, 9 - čep podpěry ozubeného kola, 10 - základní hrana, 11 - celková délka nápravy, 12 - vzdálenost základních hran [2]

Přechody mezi rozdílnými průměry nápravy jsou definovány normou EN 13103 u běžných náprav a normou EN 13104 pro hnací nápravy. Přičemž poměr mezi průměrem sedla kola a průměrem dříku nápravy musí nabývat hodnot nejméně 1,15 pro nové a 1,12 pro renovované sedla. Tyto normy taktéž definují síly působící na dvojkolí na kolejové trati přímé a taktéž v oblouku. Dále definují síly působící na nápravu při brzdění a to pro různé konstrukce nápravy, ať už se jedná o brzdění jednostrannou a oboustrannou špalíkovou brzdou, nebo kotoučovou brzdou umístěnou na kole nebo nápravě. Síly vznikající působením pohonu nejsou normou definované, tyto síly se určují na základě typu pohonu [3].

## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY NÁPRAV V BONATRANS GROUP A.S.

### 2.1 VSTUPNÍ MATERIÁL

Vstupním materiálem pro výrobu náprav železničních vozů je především nízkouhlíková ocel, vlastnosti tohoto materiálu specifikují evropské normy EN 13261 [3]. Mechanické a chemické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 1, popřípadě v Tab. 2. Tyto normy také stanovují způsoby destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Jedná se o vakuovanou ocel, přičemž nabývá maximálně hodnot 2,0 ppm vodíku [4]. Zbytkový obsah kovového hliníku v materiálu musí být minimálně 0,014 %, což zaručuje jemnozrnnou strukturu v průběhu tepelného zpracování po operaci kování náprav. Obsah ostatních škodlivých prvků v materiálu je omezen dle evropských norem. U materiálu je vyžadováno dodržení požadované mikro-čistoty dle evropských norem v hotových výrobcích [3]. Základním materiálem pro výrobu náprav je kontinuálně litá ocel obdélníkového nebo méně častěji kruhového průřezu [2]. Ve vzácných případech se používá čtvercový průřez ingotové oceli, která je odlévána do kokil. Předvalek kruhového průřezu nabývá hodnot průměru 180 až 250 mm. Rozměry čtvercového průřezu bloků pro výrobu náprav jsou 150 x 150 mm až 300 x 300 mm. Musí být dodržen stupeň přetváření mezi výchozím průřezem a průřezem sedla vykované nápravy. Tento stupeň přetváření nabývá minimálně hodnoty 3 : 1, u některých typů nápravy je požadovaný stupeň přetváření minimálně 4 : 1 [3].

Tab. 1 Mechanické vlastnosti materiálu [3]

<b>MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU</b>			
Ocel	$R_{eH}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_5$ [%]
<b>EN 13261: 2009</b>			
EA1N	≥320	550 ÷ 650	≥22
EA1T	≥350	550 ÷ 700	≥24
EA4T	≥420	650 ÷ 800	≥18

Tab. 2 Chemické složení materiálu [3]

<b>CHEMICKÉ SLOŽENÍ MATERIÁLU</b>										
Jakost oceli	Maximální obsah prvků v materiálu (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
<b>EN 13261 : 2009</b>										
EA1N	0,4	0,5	1,2	0,02	0,02	0,3	0,3	0,08	0,3	0,06
EA1T	0,4	0,5	1,2	0,02	0,02	0,3	0,3	0,08	0,3	0,06
EA4T	0,22-0,29	0,15-0,4	0,5-0,8	0,02	0,015	0,9-1,2	0,3	0,15-0,3	0,3	0,06

## 2.2 ŘEZÁNÍ MATERIÁLU

Ingoty vstupního materiálu pro výrobu náprav je dělen na špalky za použití pil. Při použití této technologie dělení se dosahuje vysoké kvality čela špalků po operaci řezání. [4]

## 2.3 KOVÁNÍ

Materiál je za pomoci krokové pece ohřát na kovací teplotu 1250 °C [2]. Následně je ohřátý blok materiálu pomocí rotujících řetězů mechanicky zbaven okují a poté je ostříkovan tlakovou vodou v tzv. odkujňovačích. Jak lze vidět na Obr. 5, je blok či předvalek uchopen čelistmi manipulátoru a následně tvářen polozápusťkovým kovááním na základní tvar nápravy [4]. Kovaná náprava vykonává rotační pohyb kolem vlastní osy a získává přibližný tvar konečné nápravy s přídatky na obrábění. Kovací lis CKN 800 dosahuje maximální provozní síly až 8 MN. Proces kování náprav na Obr. 6 probíhá za použití třech páru kovadel. Cílem prvního páru kovadel je překování předvalku na požadovaný průměr sedla. Druhý pár slouží ke kování čepů a prašníků a třetí pár ková dřík nápravy [3]. Po operaci kování dochází k upálení čepů náprav na předepsanou délku surové nápravy za pomoci plynových hořáků [2].



Obr. 5 Čelisti manipulátoru [4]



Obr. 6 Proces kování [4]

## 2.4 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Z důvodů nerovnoměrného rozdělení mikrostruktury na příčném průřezu nápravy, které je způsobeno různým stupněm přetváření, se po operaci kování zavádí tepelné zpracování surových náprav [3]. Cílem tohoto zpracování je především zrovnomnění mikrostruktury, snížení zbytkového napětí, změna velikosti zrna a dosažení celkově optimálních mechanických vlastností [4]. Jedním z nejčastěji používaných tepelných zpracování je normalizační žíhání, které má za následek výrazné zjemnění zrna a zlepšení

tak mechanických vlastností materiálu. Významný vliv na mechanické vlastnosti nápravy má také objemové kalení a popouštění. Volba správné rychlosti ochlazování má vliv také na vhodnou mikrostrukturu s nejvhodnějším poměrem pevnosti a plastických vlastností materiálu. U některých speciálních náprav, například nápravy určené pro vysokorychlostní dráhy v Japonsku je předepsáno japonskou normou JIS 4502 indukční kalení. Další speciální technologií kalení je kalení Subkritické [3].



Obr. 7 Nápravy po tepelném zpracování [4]

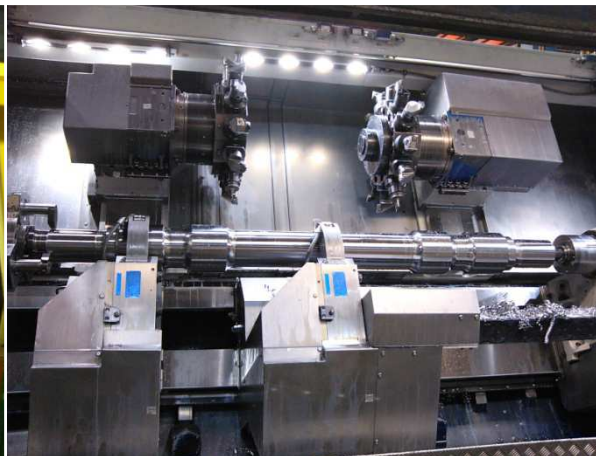
## 2.5 OBRÁBĚNÍ

Nápravy získávají finální tvar na obrobně, kde jsou dopraveny surové nápravy z teplé části. Na čelech náprav jsou v první fázi vytvořeny středící důlky, za pomoci kterých je poté náprava upnuta v obráběcích centrech [2]. S využitím automatických dopravníků je náprava dopravena do hrubovacího soustruhu SPH 50D CNC, kde je upnuta mezi hroty viz Obr. 8 [3]. Při hrubování surové nápravy dochází k odebrání značného materiálu, přičemž jsou zachovány přídavky na soustružení načisto [2]. Šířka záběru ostří může dosáhnout až hodnoty 18 mm, což klade značné nároky na tuhost a výkon stroje. Obráběcí stroje určené pro hrubování náprav o výkonu 100kW dosahují maximálního točivého momentu 4400 Nm a rozsah otáček se pohybuje v mezích 20 až 2100 min<sup>-1</sup>. Po operaci hrubování následuje operace obrobení čel náprav, kde probíhá za pomoci technologie frézování zkrácení nápravy na požadovanou délku a vytvoření otvorů v čele pro upevnění ložiskového systému umístěného na nápravě. Dále je náprava dopravena a upnuta mezi hroty v přesném CNC soustruhu společnosti DANOBAT s označením TCN-16-2T, který lze vidět na Obr. 9. Dochází k obrábění nápravy na čisto, přičemž jsou zachovány přídavky na částech nápravy, které jsou určeny pro broušení. Standardně je přídavek na broušení 0,5 mm. CNC soustruhy určené pro obrábění na čisto dosahují výkonu 60 kW, při maximálním točivém momentu 1700 Nm. Rozsah rychlosti otáček je 20 - 2800 min<sup>-1</sup>. Šířka záběru ostří se pohybuje obvykle kolem 2 mm [3].





Obr. 8 Hrubovací soustruh SPH 50D CNC

Obr. 9 CNC soustruh DANOBAT  
TCN-16-2T

## 2.6 BROUŠENÍ

Jedná se o jednu z finálních operací při výrobě náprav železničních vozidel. Náprava je upnuta mezi hroty za pomoci přesných finálně obrobeneých středících důlků. Na nápravě jsou broušeny ložiskové čepy, viz Obr. 10, sedla kol, brzdových kotoučů i pohonu. Při broušení sedosahuje drsnosti od Ra 0,4 do 1,6  $\mu\text{m}$  a jedná se zároveň o nejpřesnější metodu obrábění, kdy se dosahuje přesnosti v řádech tisícín milimetrů. K procesu broušení se využívají brusné kotouče, viz Obr. 11, které tvarově odpovídají částem železničních náprav, které brousí [3].



Obr. 10 Bruska BUC63A



Obr. 11 Brusný kotouč čepu nápravy

## 2.7 VÁLEČKOVÁNÍ

Funkční a kritické plochy nápravy jsou z důvodu zvýšení únavové životnosti válečkovány. Válečkování má také za následek snížení drsnosti povrchu nápravy a též vnáší do materiálu tlakové napětí. Válečkováná náprava je upnuta mezi hroty CNC válečkovacího stroje Roller 2800. Maximální přítláčná síla stroje nabývá hodnot 50 kN, při procesu válečkování může být hlava natáčena až o úhel 35° [3].

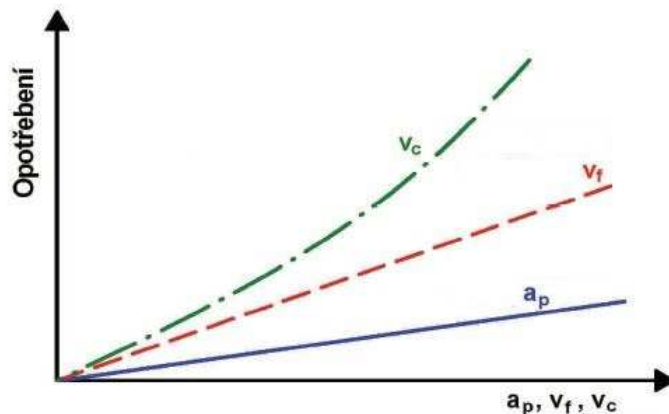
## 2.8 MOLYBDENOVÁNÍ

Za účelem zvýšení únavové pevnosti se nápravy mohou také molybdenovat. Molybdenování spočívá v nástřiku tvrdokovu v tekutém stavu na požadované plochy nápravy, kterými jsou nejčastěji sedla a výjimečně i čepy. Tyto plochy musí být před operací nanášení řádně odmaštěny a otryskány. Otryskání probíhá při rotaci nápravy a využívá se k této operaci litinová drť. Plochy nápravy jsou nahřáty na teplotu 80 - 110 °C a posléze je na ně nanesen molybden o tloušťce 0,5 mm. Plochy opatřeny nástřikem molybdenu jsou následně broušeny [3].

### 3 OPOŘEBENÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE

Opořebení řezného nástroje je zcela běžný proces, který má následek ztrátu schopnosti nástroje řezat s předpokládanou spolehlivostí a efektivitou. Jedná se o poškození, které zahrnuje ztrátu materiálu řezného nástroje z důvodů jeho pohybu vzhledem k přilehajícím povrchům. Jde o pohyb nástroj–obrobek, nástroj–tříska nebo nástroj–obrobek [5]. Řezný nástroj je vystaven při procesu obrábění tepelnému, mechanickému nebo chemickému zatížení. Řezný proces obsahuje velké množství faktorů, které mají vliv na samotné opořebení [7]. Na grafickém znázornění na Obr. 12 lze vidět vliv jednotlivých řezných parametrů na opořebení řezného nástroje. Mezi další faktory patří [6]:

- mechanické, tepelné, chemické a metalurgické vlastnosti nástrojového materiálu
- mechanické, tepelné, chemické a metalurgické vlastnosti obráběného materiálu
- řezné podmínky
- geometrie nástroje
- působící zatížení (řezné síly, teploty, atd.)
- typ obráběcí operace



Obr. 12 Vliv řezných podmínek na míru opořebení [7]

### 3.1 MECHANISMY OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

Ve styčných plochách s obráběným materiálem probíhá velké množství jevů, které zahrnují jak chemické tak i mechanické děje. Tyto děje mají za následek opotřebení břitu řezného nástroje [8]. Základní dělení mechanismů opotřebení je tedy na opotřebení chemické a mechanické a ty se dále dělí na [5]:

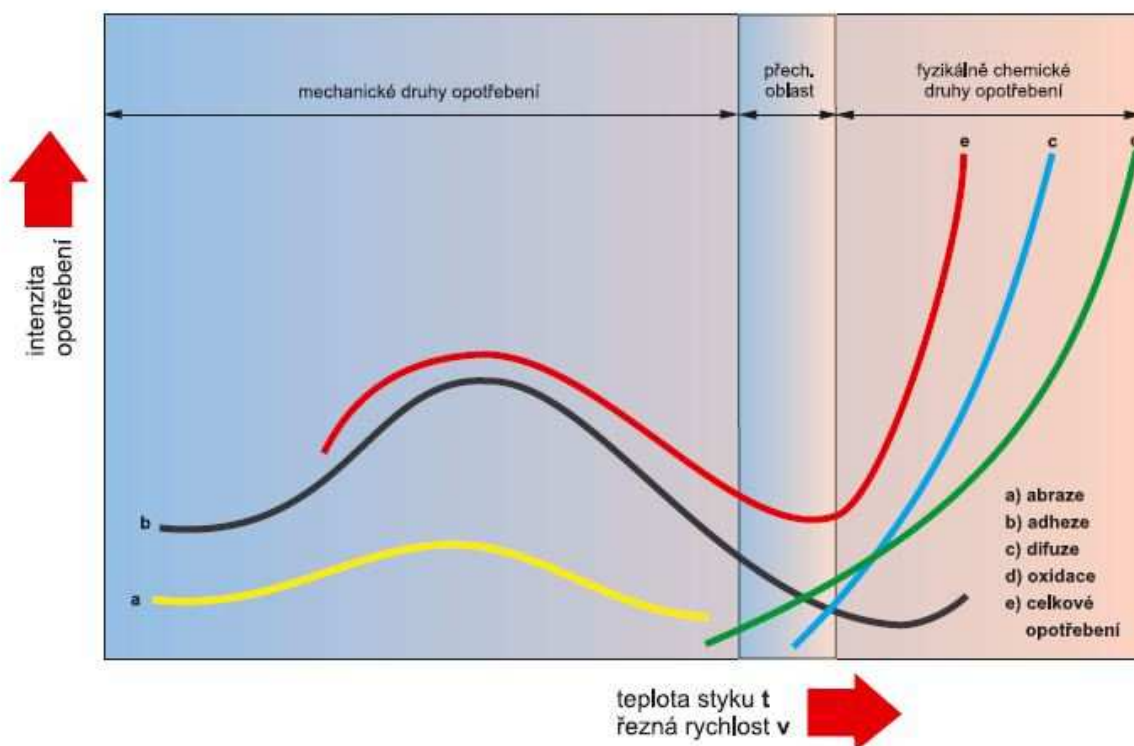
- Mechanické:
- Abraze
  - Adheze
  - Křehký lom
  - Plastická deformace
  - Teplotní trhliny
  - Únava materiálu
  - Kombinace mechanismů
- Chemické:
- Difuzní otěr
  - Tvorba chemických sloučenin
  - Interkrystalické zeslabování
  - Termo-elektrické opotřebení
  - Kombinace mechanismů

Nejčastějším mechanismem opotřebení vyskytujícím se na hřbetě řezného nástroje je abraze a oxidace, přičemž na čele je obvykle opotřebení způsobeno adhezí, difuzí, abrazí a taktéž oxidací. Tyto mechanismy opotřebení působí plynule, ovšem mechanismy jako je křehký lom a plastická deformace působí náhle (až rychlostí zvuku) a dojde tak k okamžitému ukončení činnosti nástroje [5].

Chemické opotřebení se projevuje změnou chemického složení nástrojového materiálu v povrchové vrstvě ve stykové oblasti čelo-tříska, popřípadě hřbet-plocha řezu. Změna chemického složení povrchové vrstvy nástrojového materiálu má za následek zhoršení mechanických vlastností a tím dochází k zhoršení odolnosti nástroje vůči opotřebení. Působením chemického opotřebení může také dojít k difuznímu rozpouštění složek slinutého karbidu. Tento druh opotřebení je závislý největší měrou na teplotě v oblasti styku a na chemické reakci mezi oběma stýkajícími se materiály [8].

Při mechanickém opotřebení nedochází ke změně chemického složení povrchových vrstev řezného nástroje, avšak v rovině řezu dochází vlivem odcházející třísky a materiálu obrobku k porušení povrchu a čela nástroje. Teplota má vliv na mechanické opotřebení pouze do té doby, kdy ovlivňuje poměr tvrdosti nástrojového materiálu a materiálu obráběného ( $H_{SK}/H_{obr}$ ) [10].

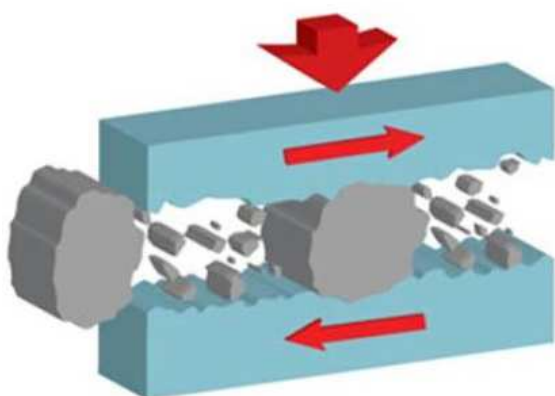
Teplota v místě styku nástroje s obrobkem má rozhodující vliv na typ mechanismu opotřebení v procesu obrábění viz Obr. 13. Na opotřebení řezného nástroje se nepodílejí všechny děje stejnou měrou [8].



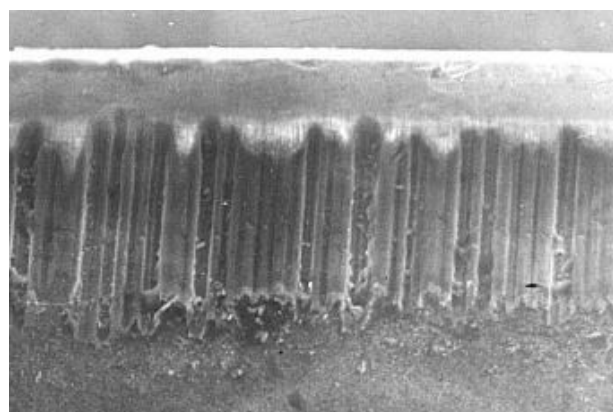
Obr. 13 Grafická závislost intenzity opotřebení na teplotu v místě styku [10]

### 3.1.1 Abraze

Jedná se o vcelku rozšířený jev opotřebení, který je způsoben brusným otěrem tvrdých mikroskopických částic nacházejících se v obráběném materiálu, jejichž tvrdost je vyšší než tvrdost materiálu nástrojového. Schéma procesu abraze je zobrazena na Obr. 14. Abraze může být také způsobena mikročásticemi uvolněnými z břitu nástroje [5]. Opotřebení závisí na tvaru, velikosti, četnosti a tvrdosti abrazivních částic, kterými jsou karbidy, nitridy, oxidy a jejich směsi [7]. Abrazivní opotřebení se posuzuje především měřením průměrné šířky opotřebení hřbetu VB. Schopnost nástroje odolávat abrazi je především závislá na tvrdosti řezného materiálu [6]. Na Obr. 15 je zachyceno opotřebení nástroje způsobené abrazí.



Obr. 14 Schéma Abrazivního opotřebení [9]



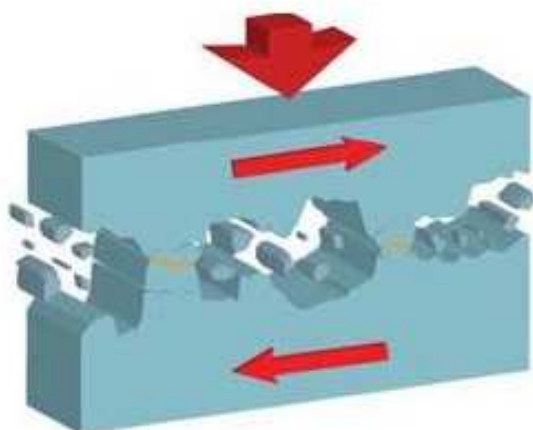
Obr. 15 Abraze hřbetu řezného nástroje [7]

### 3.1.2 Adheze

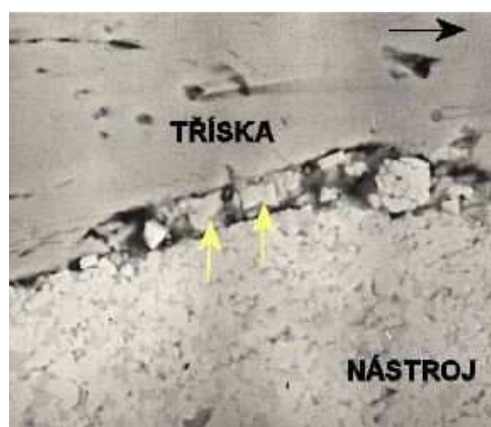
Vzniká v průběhu třecího kontaktu vrcholků nerovností čela nástroje a třísky v důsledku intenzivní místní plastické deformace materiálu, viz Obr. 16 [5]. Dochází k vzniku mikrosvarových spojů a k jejich následnému porušení, přičemž materiál obrobku začne ulpívat na řezném nástroji. V určitých případech se tvoří tzv. nárůstek [7]. Se zvyšujícím se množstvím materiálu na řezném nástroji v průběhu řezného procesu se zvyšují také síly působící na ulpělý materiál. Po dosažení kritické hodnoty smykového napětí dojde k odtržení tohoto materiálu a při tomto ději může také dojít k odtržení materiálu řezného nástroje [8]. Na Obr. 17 je zachyceno adhezivní opotřebení.

Podmínky vzniku adhezivního opotřebení:

- vysoký tlak v místě styku
- styk chemicky blízkých materiálů
- styk dvou kovově čistých povrchů



Obr. 16 Schéma adhezivního opotřebení [9]



Obr. 17 Adhezivní opotřebení [8]

### 3.1.3 Difuze

jedná se o chemické opotřebení za vysokých teplot řezného procesu. Dochází k přemístění atomů z materiálu obrobku do materiálu řezného nástroje a taktéž naopak, vznikají tak tuhé roztoky a také chemické sloučeniny, jejichž vlastnosti se liší od vlastností materiálu řezného nástroje a dochází tak k degradaci [8]. K difuzi dochází již při teplotě 680 °C, při které difunduje kobalt do železa a železo do kobaltu u slinutých karbidů, za teploty 900 °C se jedná již o velmi intenzivní difuzi. Ostatní prvky jako je wolfram, titan difundují za vyšších teplot, kdy dochází k vzniku karbidů. Tyto karbidy se vyznačují křehkostí a zhoršují tak vlastnosti nástrojového materiálu [5].

Intenzita difuze závisí na:

- teplotě
- měrný tlak
- relativní rychlost
- čistota stykových ploch

### 3.1.4 Oxidace

Na povrchu nástroje vznikají chemické sloučeniny v důsledku reakce se vzduchem z okolní atmosféry, s řeznou kapalinou nebo s materiálem obrobku při vyšších řezných rychlostech [7]. Významný vliv má na tento proces teplota v řezném procesu, přičemž intenzita oxidace roste se zvyšující se teplotou. Vzniklý oxid W+Co vytváří porézní film oxidů, tato vrstva je snadno odstraňována třískou. Mimo to  $Al_2O_3$  je tvrdý a pevný. Nejčastěji se vyskytuje u rychlořezných ocelí [8].

## 3.2 DRUHY OPOTŘEBENÍ BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE

Opotřebení lze hodnotit metodami přímými nebo nepřímými. Mezi přímé metody hodnocení opotřebení patří [5]:

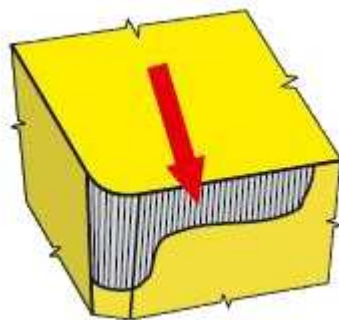
- měření kritéria opotřebení VB, KT, KVy
- měřením hmotnosti úbytku nástroje
- optické sledování funkční plochy nástroje
- elektrické metody
- ultrazvukové metody
- pneumatické metody
- radioaktivní metody

Nepřímými metodami hodnocení opotřebení jsou:

- měření velikosti změny sil, působících při obrábění
- měření nárůstu výkonu, potřebného k obrábění
- měření změny teploty obrobku, nástroje nebo třísek
- vyhodnocení změny barvy a tvaru třísky
- vyhodnocení výskytu ostřin na hranách obrobku
- vyhodnocení změny rozměrů na hranách součásti

### 3.2.1 Opotřebení hřbetu

Opotřebení hřbetu vzniká působením mechanismů opotřebení na hřbetní plochu břitu, viz Obr. 18, a poloměr špičky při kontaktu s materiálem obrobku, jedná se o rovnoměrné ubývání materiálu nástroje [8]. Toto opotřebení patří mezi abrazivní a je jedním z hlavních kritérií, pomocí kterého se určuje trvanlivost vyměnitelných břitových destiček [12]. Intenzitu tohoto opotřebení lze snížit pomocí snížení řezné rychlosti, použitím/zvýšením chladicího procesu při obrábění nebo volbou vhodnějšího řezného materiálu [10]. Při již velkém opotřebení hřbetu dochází k zhoršení kvality povrchu obrobku, zvýšení vibrací, řezných sil, tření a také k zvýšení nepřesnosti rozměrů [7].



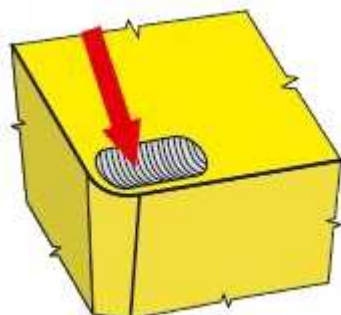
Obr. 18 Opotřebení hřbetu [10]

### 3.2.2 Výmol na čele

Tento druh opotřebení je způsoben působením difuzních a abrazivních dějů, především u vyměnitelných břitových destiček s rovným čelem [7]. Nejvýznamnějším faktorem podílejícím se na tvorbě výmolů je difuze probíhající v místě břitu s nejvyšší teplotou, výmol je ale také způsoben abrazí, která způsobuje částečný úbytek materiálu,



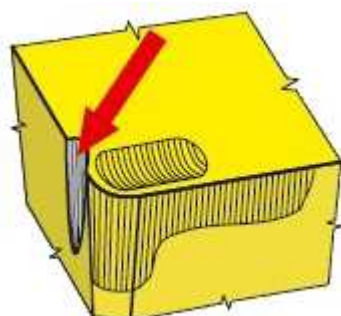
jak lze vidět na Obr. 19 [8]. Intenzitu vzniku výmolů lze snížit použitím vhodnějším řezným materiálem, použitím/zvýšením chladicího procesu, snížením hodnoty řezné rychlosti nebo použitím vhodnějšího typu řezné geometrie [11].



Obr. 19 Výmol na čele [10]

### 3.2.3 Oxidační rýha na vedlejším břitu

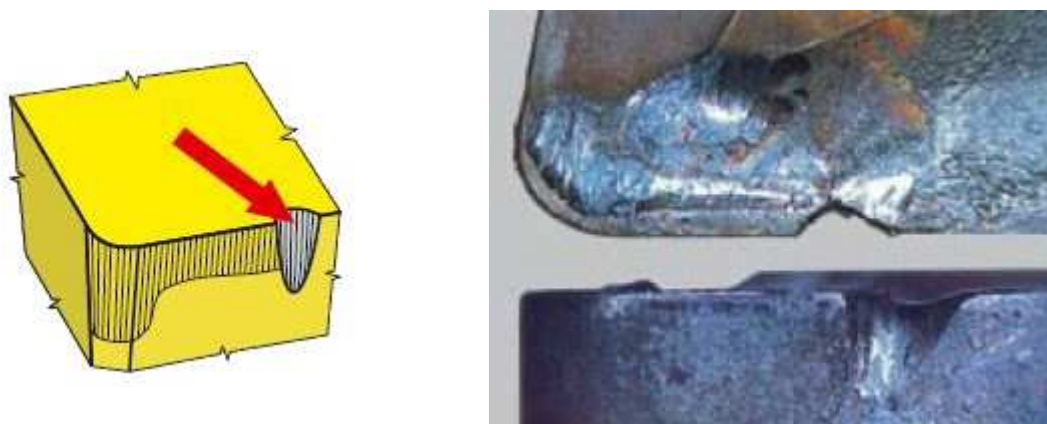
Toto opotřebení je jedním z nejpodstatnějších kritérií, které limituje životnost vyměnitelných břitových destiček [7]. Propojení výmolů na čele s touto oxidační rýhou viz Obr. 20, může vyústit ve zvýšení drsnosti povrchu obrobku a řezných sil, což má za následek jev nazývaný také jako "chlupacení". Intenzitu vzniku tohoto opotřebení lze snížit použitím vhodnějším řezným materiálem, použitím/zvýšením chladicího procesu, snížením hodnoty řezné rychlosti [12].



Obr. 20 Oxidační rýha na vedlejším břitu [10]

### 3.2.4 Vrubové opotřebení na hlavním břitu

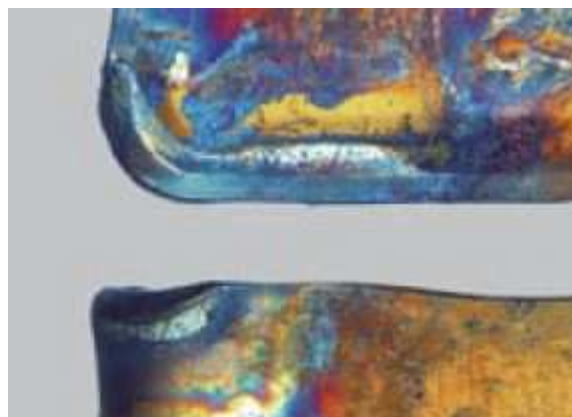
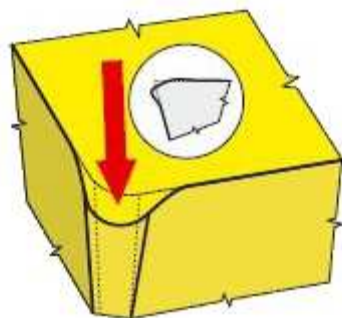
Vrubové opotřebení na hlavním břitu vzniká vlivem zpevnění povrchové vrstvy obrobku a otřepy, dochází k němu v místě styku břitu řezného nástroje s povrchem obrobku [12]. Jedná se o typ adhezivního opotřebení, může se ovšem jednat i o typ oxidačního opotřebení. Na Obr. 21 lze vidět oblast nejčastějšího výskytu tohoto opotřebení na řezném nástroji [7]. Vrubové opotřebení na hlavním břitu se vyskytuje nejčastěji u korozivzdorných austenitických ocelí. Intenzitu tohoto opotřebení lze snížit pomocí snížení řezné rychlosti nebo volbou vhodnějšího řezného materiálu [11].



Obr. 21 Vrubové opotřebení na hlavním břitu [10]

### 3.2.5 Plastická deformace špičky

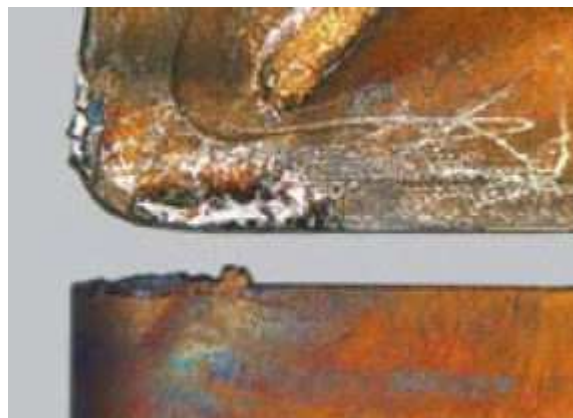
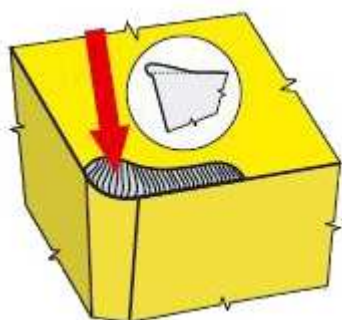
Vlivem vysokých řezných rychlostí či posuvu dochází k přetížení břitu a následně k plastické deformaci špičky řezného nástroje (tzv. utavení špičky břitu nástroje) viz Obr. 22 [11]. Vysoká řezná rychlost a posuv vyvolávají vysoké teploty a tlak, což má za následek změnu mechanických vlastností materiálu. Dochází k poklesu tvrdosti a pevnosti v ohybu a ke změně geometrie [7]. Tento jev lze omezit použitím vhodnějších materiálu nástroje, snížením řezné rychlosti, snížením posuvu, použitím/zvýšením chladicího procesu a použitím vyměnitelných břitových destiček s větším poloměrem zaoblení nebo úhlem špičky [12].



Obr. 22 Plastická deformace špičky [10]

### 3.2.6 Tvorba nárůstku

Jde o adhezivní opotřebení, při kterém dochází k ulpívání obráběného materiálu na břit řezného nástroje, jak lze vidět na Obr. 23 [7]. Působením nízkých teplot a vysokých tlaků se tvoří mikronávary v oblasti kontaktu řezného nástroje a odcházející třísky. Odtrhávání nárůstku může zapříčinit také odtržení povlaků z povrchu nástroje. Tento druh opotřebení způsobuje změnu geometrie nástroje a tak zhoršení kvality obroběného povrchu [8].

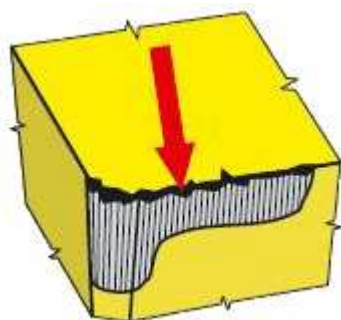


Obr. 23 Tvorba nárůstku [10]

### 3.2.7 Křehké porušení řezné hrany

Toto opotřebení se nejčastěji vyskytuje společně s jiným typem opotřebení a je způsobeno ve většině případů přerušovaným řezem a nízkou tuhostí soustavy stroj-nástroj-

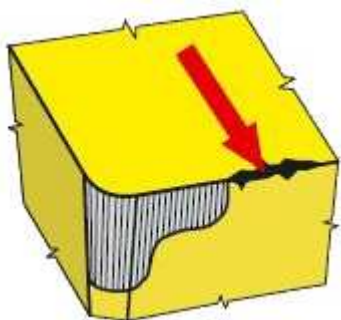
obrobek [8]. Břit řezného nástroje se vyštipuje, viz Obr. 24. Pro zabránění vzniku tohoto opotřebení je třeba zvolit méně intenzivní řezné podmínky, použít jinou řeznou geometrii nebo použít vhodnější typ nástrojového materiálu [12].



Obr. 24 Křehké porušení řezné hrany [10]

### 3.2.8 Porušení řezné hrany (mimo záběr)

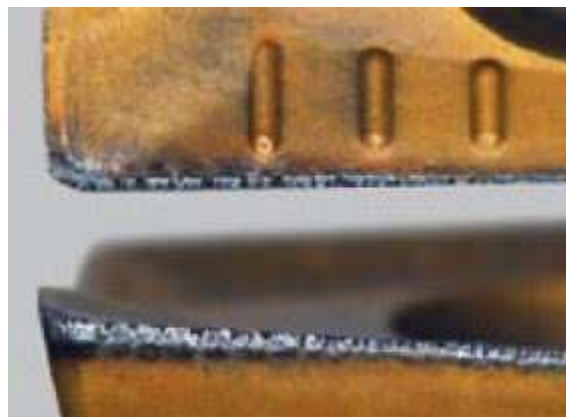
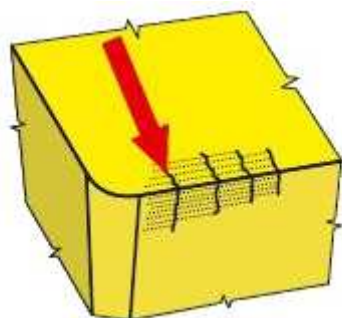
Nevhodné utváření třísky má za následek vznik tohoto typu opotřebení, tříska mechanicky poškozuje břit při svém odchodu jak je patrné na Obr. 25 [7]. Intenzitu tohoto opotřebení lze snížit použitím vhodnějšího řezného materiálu, použitím příhodnější řezné geometrie, změnou posuvu nebo zvolením nástroje s jiným úhlem nastavení [12].



Obr. 25 Porušení řezné hrany (mimo záběr) [10]

### 3.2.9 Hřebenové trhliny

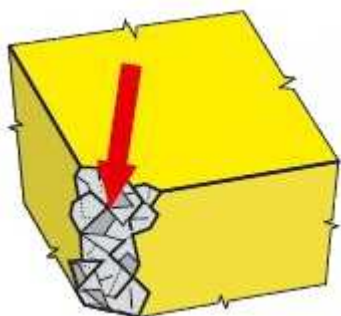
Tento typ opotřebení vzniká při přerušovaném řezu působením dynamického tepelného zatížení a vyskytuje se především u křehkých materiálů [12]. Kolmo na ostří se vytvářejí trhliny viz Obr. 26, poté může dojít k vyломování ostří mezi těmito trhlínami a vyvolat tak okamžitý lom břitu nástroje [8]. Pro zabránění vzniku tohoto opotřebení je zapotřebí snížit řeznou rychlost nebo zvolit vhodnější materiál vyměnitelné břitové destičky [11].



Obr. 26 Hřebenové trhliny [10]

### 3.2.10 Destrukce špičky nástroje

Na vznik tohoto opotřebení má vliv mnoho faktorů, mezi které patří tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, velikost předešlého opotřebení, materiál obrobku a materiál nástrojový [12]. Dochází k němu překročením kritické hodnoty meze pevnosti řezného materiálu, přičemž vzniká v oblasti špičky nástroje, jak lze vidět na Obr. 27 [8]. Pro snížení pravděpodobnosti vzniku tohoto opotřebení je vhodné použít vyměnitelnou břitovou destičku s větším úhlem a větším poloměrem zaoblení špičky, použití vhodnějšího řezného materiálu, zvolit nižší řezné podmínky nebo použít odlišnou řeznou geometrii [12].

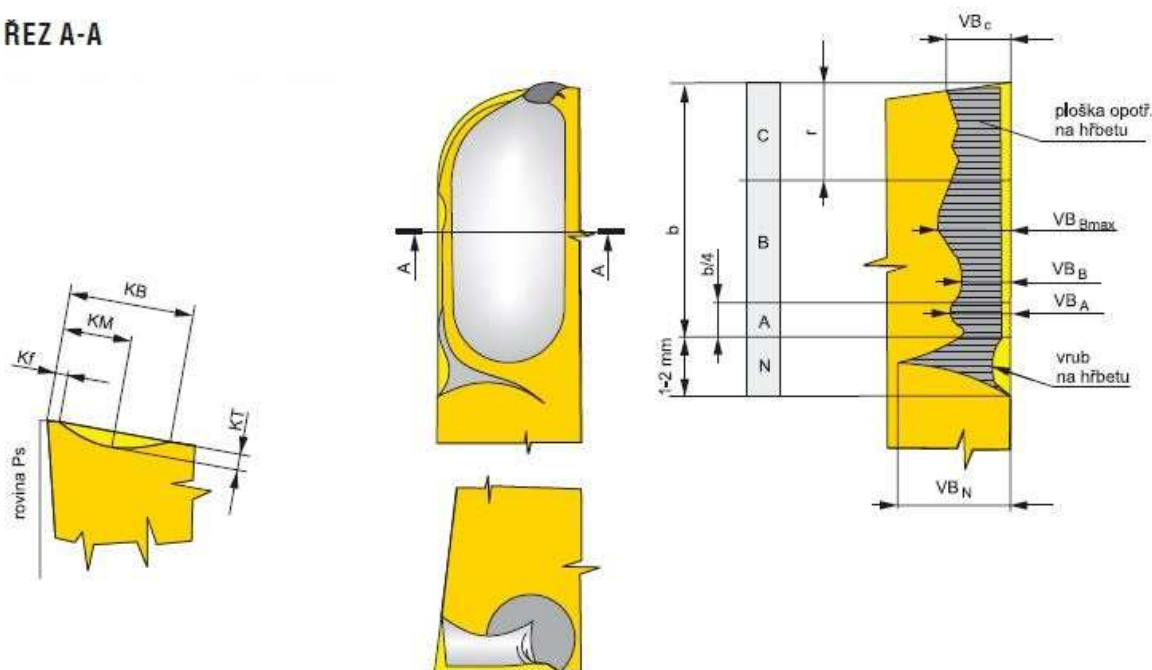


Obr. 27 Destrukce špičky nástroje [10]

## 4 KRITÉRIA OPOTŘEBENÍ

Kritérium opotřebenění udává moment, ve kterém je řezný nástroj nahrazen novým z důvodu rizika, že dojde k jeho selhání. A je taktéž měřítkem velikostí geometrických změn na nástroji, které budou dosud vyhovovat. Za pomoci požadavků, které jsou kladeny v určitých operacích na řezný nástroj, je zvoleno kritérium opotřebenění, při němž bude obrobek vyroben v přijatelné kvalitě [7]. Mezi tyto požadavky patří např. jakost povrchu, tolerance a jiné vlastnosti obrobku. Požadavky na kritéria opotřebenění nejsou pro všechny druhy obrábění shodné. U operace hrubování se kritérium opotřebenění blíží kritériu trvanlivosti nástroje, což má za následek celkové selhání nástroje. Takovouto hodnotu kritéria opotřebenění nelze připustit při operaci dokončování, mohlo by dojít k tomu, že obrobená plocha by nespĺňovala požadované vlastnosti. Kritéria pro hodnocení opotřebenění řezného nástroje jsou definována dle normy ČSN ISO 3685, mezi nejrozšířenější patří kritérium  $VB_B$ ,  $KT$  a  $VB_{max}$ , tyto kritéria jsou zobrazeny níže na Obr. 28 [8]. Kde  $VB_B$  je průměrné opotřebenění hřbetu,  $VB_{max}$  představuje maximální opotřebenění hřbetu a  $KT$  je hloubka výmolu [12].

ŘEZ A-A

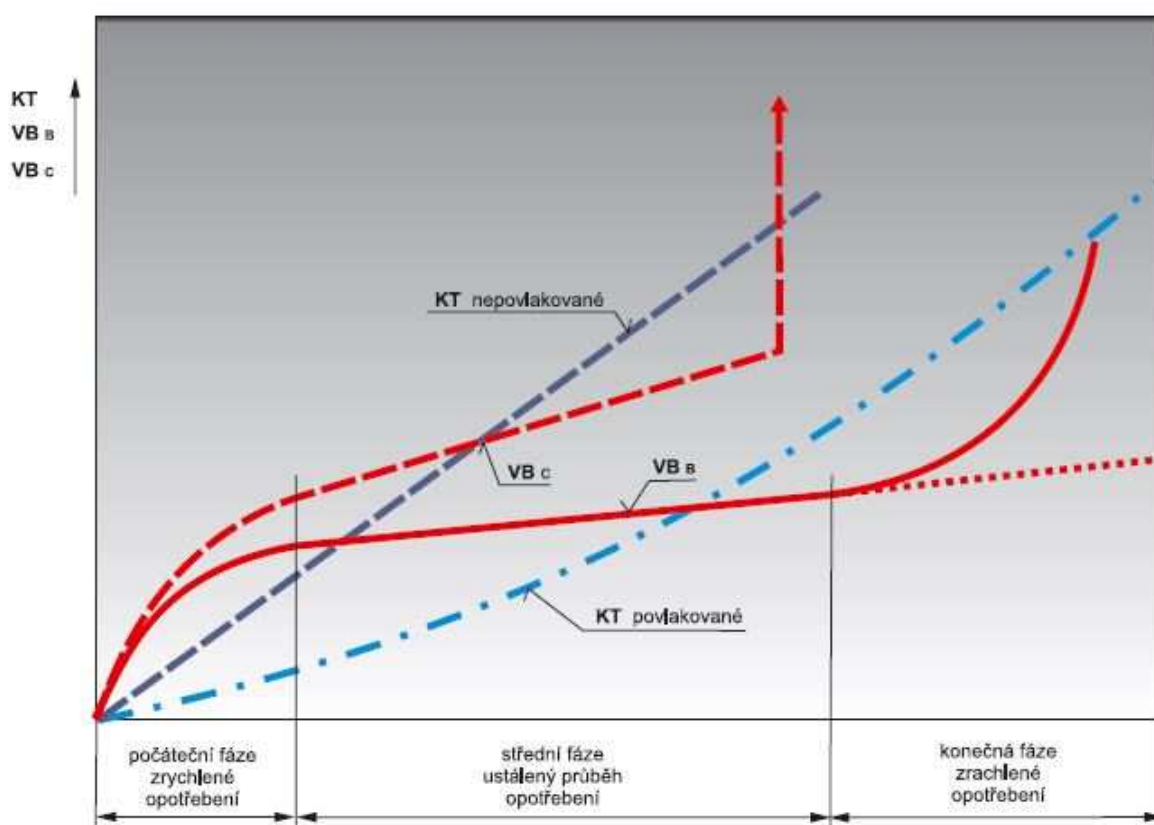


Obr. 28 Druhy kritérií opotřebenění dle normy ISO 3685 [12]

Pro stanovení účinků řezných podmínek (kvality břitu atd.) na trvanlivost břitu řezného nástroje se využívají křivky opotřebenění, které jsou na Obr. 29. Křivky opotřebenění vytvořené pro hřbetní opotřebenění se dělí na tři pásma [5]. První pásmo je pásmo záběru, kde dochází ke značnému nárůstu opotřebenění  $VB_B$  z důvodu působení velkého měrného

tlaku na povrch hřbetu, jednotlivé povrchové nerovnosti jsou zahlazeny [7]. V druhém pásmu (tzv. pásmu normálního opotřebení) opotřebení  $VB_B$  lineárně roste se zvyšujícím se časem, až do doby kdy dochází vlivem tepelného zatížení k výraznému poklesu vlastnosti materiálu a hodnota opotřebení  $VB_B$  prudce roste. Toto pásmo je pásmo zrychleného opotřebení a tento proces končí lomem bříty. S rostoucí řeznou rychlostí roste také strmost těchto křivek opotřebení. Mezní hodnoty  $VB_B$  jsou 0,3 - 0,4 mm [8].

Křivka závislosti opotřebení na čase, v případě hloubky výmolu na čele KT, nabývá u povlakovaných nástrojů tvaru exponenciální křivky. U nástrojů nepovlakovaných je průběh opotřebení KT lineární. Se zvětšující se kontaktní plochou mezi třískou a výmolem dochází k přestupu tepla do nástroje a tak k nárůstu opotřebení. Hodnota KT by se měla pohybovat v rozmezí 0,2 - 0,3 mm [6].



Obr. 29 Závislost vybraných kritérií opotřebení na čase [12]

## 5 ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ PŘI ŘEZNÝCH ZKOUŠKÁCH

### 5.1 OBRÁBĚCÍ STROJ

Experimenty byly prováděny na CNC soustruhu firmy DANOBAT s označením TCN-16-2T BC3000 viz Obr. 30, který je vybaven řídicím systémem Siemens 840D S.L. Stroj je opatřen dvěma lunetami, které zabraňují prohnutí nebo rozkmitání obrobku při obráběcím procesu. Dále dvěma revolverovými zásobníky s 12 pozicemi pro umístění nástroje, použitím dvou zásobníků dochází k zvýšení efektivity obrábění. Nápravy jsou upínány za pomoci speciálních sklíčidel firmy Rotomors U-ASA II FR400/3. Tento stroj se vyznačuje vysokotlakým chlazením Jetstream firmy SECO, chladicí emulze je dopravována do místa obrábění až pod tlakem 70 barů [13].



Obr. 30 Obráběcí stroj DANOBAT TCN-16-2T BC3000 [13]

Tab. 3 Parametry CNC soustruhu DANOBAT [13]

<b>DANOBAT TCN-16-2T BC3000</b>	
<b>Základní popis [mm]</b>	
Výška hlavní osy	1250
Maximální Ø obráběné součásti	600
Průměr nad ložem	720
Maximální obráběná délka mezi vřetenem a koníkem	3000
<b>Rychlost posuvů [mm/min]</b>	
Ve směru osy X	20
Ve směru osy Z	15
<b>Rozsah otáček vřetene [ot/min]</b>	
	50-2500
Výkon [kW]	74



## 5.2 DIGITÁLNÍ MIKROSKOP

Snímky opotřebených vyměnitelných břitových destiček byly pořizovány za pomoci digitálního mikroskopu od společnosti Dino-Lite s označením AM413T-FVW viz Obr. 31. Toto zařízení bylo vybaveno softwarovým programem Dino Capture 2.0, pomocí kterého byly vytvořeny snímky vyměnitelných břitových destiček zkoumány, a následně s využitím funkce měření tohoto softwaru došlo k měření jednotlivých kritérií opotřebenosti. Mikroskop využívá LED diodu k zdokonalení světelných podmínek v oblasti zkoumané části [14].



Obr. 31 Digitální mikroskop Dino-Lite [16]

Tab. 4 Parametry digitálního mikroskopu Dino-Lite [15]

<b>Dino-Lite AM413T-FVW</b>	
Rozlišení [Mpx]	1,3
Zvětšení	10x~50x-200x
Snímková frekvence [fps]	30
Rozměr [cm]	10
Váha [g]	90

### 5.3 DRSNOMĚR

Při následujícím experimentu byl využíván přenosný drsnoměr firmy Mitutoyo s označením SJ-201 viz Obr. 32. Parametry tohoto drsnoměru jsou uvedeny v Tab. 5. Drsnoměr pracuje na principu záznamu difference polohy měřícího hrotu při přímočarém pohybu po měřeném povrchu. Před každým provedeným měřením došlo k důkladnému očištění obrobeného povrchu, aby nedošlo k ovlivnění měření provozní kapalinou nebo jinými nečistotami.



Obr. 32 Drsnoměr Mitutoyo SJ-201 [19]

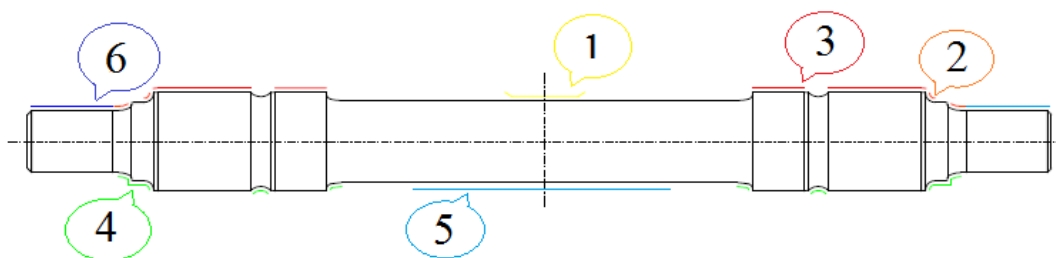
Tab. 5 Parametry drsnoměru Mitutoyo [17, 18]

<b>Mitutoyo SJ-201</b>	
Rozlišení [ $\mu\text{m}$ ]	0,02; 0,06 nebo 0,02
Rychlost pojezdu sondy [mm/s]	0,25; 0,5 nebo 0,75
Poloměr snímacího hrotu [ $\mu\text{m}$ ]	2
Maximální přítláčná síla [mN]	0,75
Kónický úhel kužele [ $^\circ$ ]	90
Pohyb měření	Příčný pohyb
Napájení	Adaptér, zabudovaná baterie
Hmotnost [g]	500
Rozměry d x š x v [mm]	160 x 65,8 x 52,1

## 6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části bylo porovnání a posouzení vývoje opotřebených vyměnitelných břitových destiček při dokončovací operaci obrábění kolejových součástí. Tyto měření byly provedeny na základě spolupráce s firmou BONATRANS GROUP a.s., která je největším výrobcem náprav a kol pro železniční dopravu ve Střední Evropě. Zkoušky byly uskutečněny při soustružení náprav železničních vozů.

Náprava je obráběna s použitím dvou symetricky se pohybujících supportů, s výjimkou prvního a posledního kroku procesu, při kterém je náprava obráběna pouze jedním supportem. Z důvodu zajištění větší tuhosti systému při soustružení je náprava upnuta pomocí dvou lunet, které mohou v průběhu obrábění měnit svou polohu. Na Obr. 33 jsou graficky znázorněny jednotlivé úseky obrábění nápravy nahotovo.



Obr. 33 Grafické znázornění postupu technologie obrábění vagónové nápravy [20]

Prvním procesem při soustružení je obrobení části dřívku nápravy označené číslem 1 na Obr. 33, která dále slouží k zajištění nápravy při obrábění pomocí jedné z lunet. Dále jsou vyhrubovány přechody mezi čepy a prašníky a mezi prašníky a sedly pro kola. Následuje soustružení průměrů samotných sedel pro kola a také sedel pro brzdové kotouče, náprava je poté upevněna pomocí dvou lunet za plochy sedel kol. Posléze jsou obrobena celkové profily prašníku společně s jejich náběhy. Podběhy na čepch a na prašnicích se dále nebrousí, jejich průměr je již na hotovo a drsnost obrobeného povrchu nesmí přesáhnout hodnotu Ra 1,6 v případě podběhů prašníku a Ra 0,8 podběhů na čepch. Stejným řezným nástrojem je obroben i přechod mezi sedly pro kola a sedly pro brzdové kotouče a taktéž i přechody mezi sedly pro brzdové kotouče a dřívkem nápravy. Levý support poté obrobí dřív, který je již obroben na finální drsnost povrchu Ra 3,2, přičemž pravý support obrábí současně průměr pravého čepu. V posledním úseku dojde k uvolnění čelistí sklíčidla firmy Rotomors U-ASA II FR400/3, viz Obr. 34, svírající průměr levého čepu a zajišťující rotační pohyb nápravy. Tento pohyb je v následující operaci zajištěn pomocí unášecí desky a je tak umožněno obrobení průměru levého čepu. Části nápravy,

mezi které patří čepy, prašníky, sedla kol a sedla brzdových kotoučů jsou soustruženy na požadované průměry, ve kterých jsou zahrnuty přídatky na broušení. Broušením jsou dosahovány drsnosti povrchu Ra 0,8 - 1,6.



Obr. 34 Upínací čelisti společně s unášecí deskou



Obr. 35 držák JetstreamTooling (Seco-Capto C6-PDJNR-45065-15JETL)

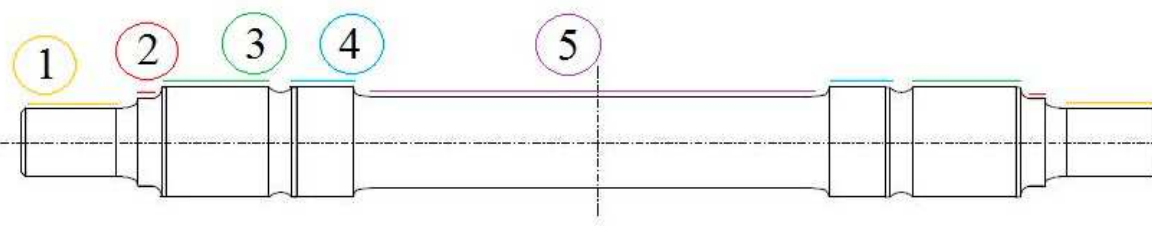
Všechny testované vyměnitelné břitové destičky byly upnuty do vnějšího držáku JetstreamTooling, Seco-Capto od společnosti SECO TOOLS s.r.o. s označením C6 - DJNR-45065-15JETL viz obr. 35. Břitová destička je upevněna za pomoci upínacího šroubu, který přitlačuje klín a ten zajišťuje břitovou destičku ve směru středového kolíku. Tento typ držáku se vyznačuje přívodem soustředěného proudu chladicí kapaliny do oblasti těsně za břit rezné destičky, držák je uzpůsoben k přívodu kapaliny vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem [22]. Proud kapaliny, který je přiváděn vnitřkem držáku, vniká mezi čelo břitu a tvořící se třísky, dochází tak k zlepšení procesu utváření této třísky a také se zvyšuje životnost nástroje i při použití vyšších rezných podmínkách.

## 6.1 POROVNÁNÍ A POSOUZENÍ OPOTŘEBENÍ VBD A JEJICH TRVANLIVOSTÍ

Byly vybrány tři druhy vyměnitelných břitových destiček od různých firem dodávající společnosti BOANTRASN GROUP a.s. rezné nástroje, viz Tab. 7. Při tomto měření byly použity břitové destičky ze slinutého karbidu opatřeny povlakem metodou CVD. V případě rezného nástroje společnosti Kennametal se jednalo o vícevrstvý povlak chemického složení TiN-MT-TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o tloušťce 7μm [22.] U VBD značky WIDIA šlo o povlak TiN-TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrCN o tloušťce 20μm [23]. Společnost SECO TOOLS využívá povlak s označením Duratomic, který využívá α - fázi s kombinací Ti (C, N)

o tloušťce povlaku 20  $\mu\text{m}$  [24]. Aby bylo dosaženo stejných podmínek pro všechny posuzované vyměnitelné břitové destičky, probíhalo měření při obrábění totožné vagonové nápravy typu 137.41 viz Tab. 6. Tato náprava se vyznačuje dvěma sedly, na která jsou následně nalisována kola a dvěma sedly určené pro samostatné brzdové kotouče, její jmenovitá hmotnost je 453 kg.

Tab. 6 Základní rozměry nápravy 137.41 [20]



Označení plochy	Název části nápravy	Průměr [mm]	Délka [mm]
1	Čep	$135 \pm 0,2$	$219 \pm 0,5$
2	Prašník	$175 \pm 0,5$	77
3	Sedlo pro kolo	$215 \pm 0,5$	$175 + 1$
4	Sedlo pro brzdový kotouč	$217 \pm 0,5$	$147 + 1$
5	dřík	$190 \pm 0,5$	1130

Materiálem z něhož je vyhotovená zmíněná náprava je materiál s firemním označením EA4T. Jedná se o kontinuálně odlévanou nízkouhlíkovou ocel, jejíž výrazná horní mez kluzu je  $R_{eH} \geq 420 \text{ N/mm}^2$ , mez pevnosti se pohybuje v rozmezí  $R_m = 650 \div 800 \text{ N/mm}^2$  a tažnost je  $A \geq 18 \%$ . Relativní zastoupení jednotlivých chemických prvků v tomto materiálu je uvedeno v Tab. 2 nacházející se v podkapitole: 2.1 Vstupní materiál. Veškeré vlastnosti popisovaného materiálu jsou specifikovány evropskou normou EN 13261 [3].

Tab. 7 Základní rozměry VBD a jejich označení [25, 26, 27]

Firma	ISO Katalog číslo	Třída	D [mm]	L10 [mm]	S [mm]	$r_e$ [mm]	D1 [mm]
KENAMETAL	DNMG150612MN	KCP40	12,7	15,5	6,35	1,2	5,16
WIDIA	DNMG150612FF	WP15CT	12,7	15,5	6,35	1,2	5,16
SECO TOOLS	DNMG150612-MF5	TP1501	12,7	15,5	6,35	1,2	5,16

Jednotlivé břitové destičky po každé dokončené operaci, což odpovídá 1 minutě a 19 sekundách, kdy se destička nacházela v řezu, byly vyjmuty z držáku a následně byly

zhotoveny fotografie čel a hřbetů destiček. Zkoumané břitové destičky obráběly sedla kol o průměru 215 mm s mezními úchylkami  $\pm 0,5$  mm a sedla určena pro nalisování brzdových kotoučů o průměru 217 mm s mezními úchylkami  $\pm 0,5$  mm. Poté byly tyto fotografie zpracovány a doplněny o popisky v softwaru Dino Capture 2.0, který byl součástí digitálního mikroskopu. Tento software disponuje také funkcí měření, která byla využita k dalšímu posuzování opotřebení destiček zachycených na vytvořených fotografiích.

Při měření bylo zajištěno stejných podmínek pro všechny zkoušené břitové destičky. Ať už se jednalo o nastavené řezné parametry na CNC stroji, materiál obrobku, nebo dobu po níž se břitová destička nacházela v řezu. Nastavené řezné parametry jsou uvedeny v Tab. 8. Hodnota otáček  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] vřetene byla zadána za pomoci funkce G96, čímž bylo dosaženo konstantní řezné rychlosti  $v_c$  [ $\text{m/min}$ ]. Nastavením konstantní řezné rychlosti dochází k automatickému přizpůsobování a dopočítávání počtu otáček vřetene, za pomoci softwaru CNC stroje v závislosti na obráběném průměru. NC program byl vytvořen v systému Sinumeric 840D SL.




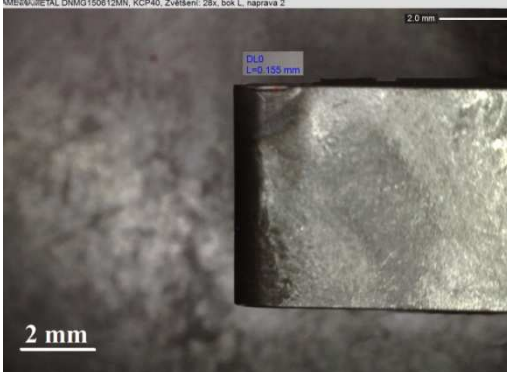
Tab. 8 Řezné parametry

Řezná podmínka	Značka	Jednotka	Rozsah hodnot
Řezná rychlost	$v_c$	[m/min]	240
Otáčky	$n$	[ $\text{min}^{-1}$ ]	Závislé na průměru obrobku
Posuv	$f$	[mm]	0,5
Šířka záběru ostří	$a_p$	[mm]	2,5
Tlak řezné kapaliny	$p$	[bar]	10

### 6.1.1 KENNAMETAL

V Tab. 9 je skupina fotografií zachycujících vyměnitelnou břitovou destičku společnosti Kennametal, levá dvojice zobrazuje destičku před započítáním měření bez jakéhokoliv opotřebení. Vedle této dvojice fotografií je již břitová destička, která absolvovala dvě operace obrábění sedel náprav, což odpovídá času 2,64 min. Zde je již zřejmé zbarvení hlavního hřbetu způsobené tepelným ovlivněním nacházejícím se v oblasti vedlejšího ostří rezného nástroje. Také je patrné opotřebení hřbetu, jehož hodnota byla změřena za pomoci softwaru digitálního mikroskopu a nabývá hodnoty 0,155 mm. Geometrie ostří není nijak deformována nebo nijak porušena. Taktéž je zachován tvar špičky a jeho rádius, je tak zaručena požadovaná jakost povrchu obrobku pro další operace soustružení.




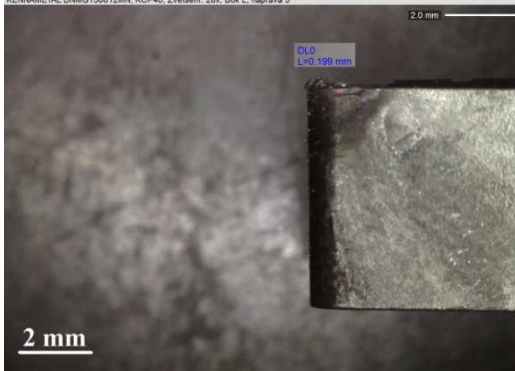
Tab. 9 Vyměnitelná břitová destička Kennametal DNMG150612MN (měření 0,2)

V čase t [min]	0	2,64
Čelo VBD		
Hřbet VBD		

V dalším průběhu obrábění dochází k růstu opotřebení na hřbetě břitové destičky, které se po obrobení dalších dvou náprav zvýšilo na hodnotu 0,177 mm. Tepelné ovlivnění nástroje se nijak zásadně nemění, jak lze vidět na snímku v Tab. 10. Na čele je již patrný vznikající výmol, který ovšem nenarušuje geometrii ostří ani rádius špičky. Po obrobení následující nápravy však dochází k významné změně, při níž dochází k deformaci rádiusu špičky. Na fotografii lze také zřetelně rozpoznat vzniklý nárůstek, který se vytvořil na břitu

nástroje. Při dalším použití tohoto řezného nástroje může dojít, ke zhoršení jakosti povrchu obrobku, z tohoto důvodu byl ukončen experiment této břitové destičky.

Tab.10 Vyměnitelná břitová destička Kennametal DNMG150612MN (měření 4,5)



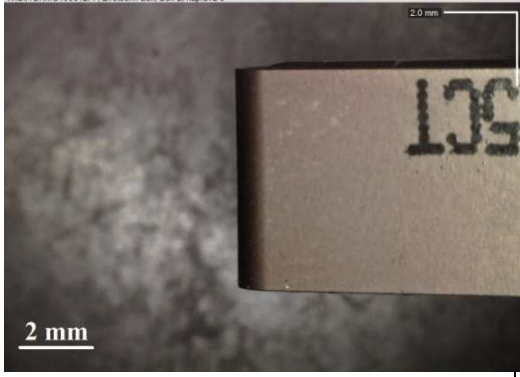

V čase t [min]	5,28	6,6
Čelo VBD	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p><small>KENAMETAL DNMG150612MN, KCP40, Zvětšení: 28x, náprava 4 KENAMETAL DNMG150612MN, KCP40, Zvětšení: 28x, Bok L, náprava 4</small></p>	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p><small>KENAMETAL DNMG150612MN, KCP40, Zvětšení: 28x, náprava 5 KENAMETAL DNMG150612MN, KCP40, Zvětšení: 28x, Bok L, náprava 5</small></p>
Hřbet VBD	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p>DL0 L=0.177 mm</p>	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p>DL0 L=0.199 mm</p>



### 6.1.2 WIDIA

V Tab. 11 je zachycena břitová destička od společnosti WIDIA před samotným měřením. Následující dvojice fotografií zachycuje stav řezného nástroje v době 2 minut a 38 sekund v řezu. Pomocí digitálního mikroskopu bylo zjištěno, že hodnota opotřebení na hřbetě činí 0,177 mm, což je stejná hodnota, která byla naměřena u destičky Kennametal po dvojnásobné době v řezu. Na bočním pohledu jsou patrné mikrotrhliny nacházející se na ostří nástroje a oblast, která byla tepelně ovlivněna při procesu obrábění. Tvar rádiusu špičky nástroje je zachován, avšak je zde otěr v blízkosti ostří způsobený pravděpodobně odcházející třískou po čele nástroje a nebo zatížením řezného nástroje.

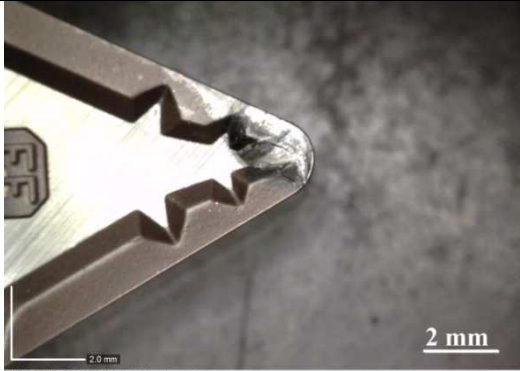

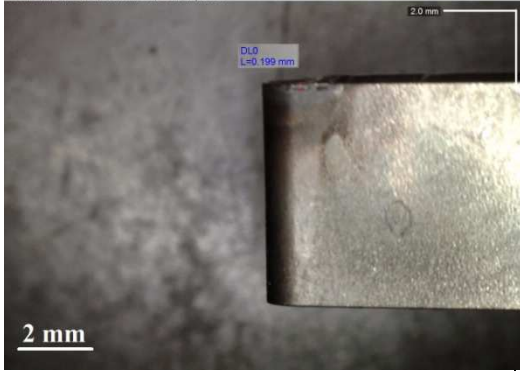
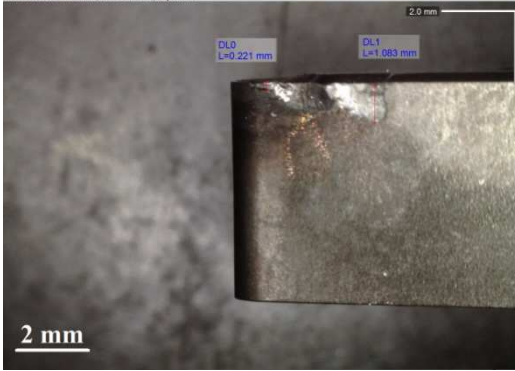
Tab. 11 Vyměnitelná břitová destička WIDIADNMG150612FF (měření 0,2)

V čase t [min]	0	2,64
Čelo VBD		
Hřbet VBD		

V následujícím měření byla naměřená hodnota opotřebení hřbetu rovná 0,199 mm. Na čele řezného nástroje došlo vznikem výmolu k deformaci utvařeče třísek, geometrie špičky však byla zachována a nedošlo k žádnému narušení ostří nástroje. Po obrobení následující nápravy tedy v čase 6,6 min, kdy se vyměnitelná břitová destička nacházela v řezu, došlo k nárůstu opotřebení hřbetu na hodnotu 0,221 mm. Došlo ovšem k vrubovému opotřebení na hlavním břitu, přičemž došlo k vylomení části břitu a tím byl

narušen tvar řezné části nástroje. To znemožnilo další použití této břitové destičky. Taktéž je zřejmý nárůst výmolu na čele.





Tab. 12 Vyměnitelná břitová destička WIDIADNMG150612FF (měření 4,5)

V čase t [min]	5,28	6,6
Čelo VBD	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p><small>WIDIA DNMG150612FF. Zvětšení: 28x, náprava 4 WIDIA DNMG150612FF. Zvětšení: 28x, Bók L, náprava 4</small></p>	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p><small>WIDIA DNMG150612FF. Zvětšení: 28x, náprava 5 WIDIA DNMG150612FF. Zvětšení: 28x, náprava 5</small></p>
Hřbet VBD	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p>DLO L=0.199 mm</p>	 <p>2.0 mm</p> <p>2 mm</p> <p>DLO L=0.221 mm</p> <p>DL1 L=1.083 mm</p>

### 6.1.3 SECO TOOLS

Poslední zkoušenou břitovou destičkou je destička od společnosti SECO TOOLS, která je opatřena nově vyvinutým povlakem Duratomic třídy TP1501. Tato třída byla vyvinuta pro obrábění měkkých nízkouhlíkových ocelí, které se používají ve společnosti BOANTRANS při výrobě železničních náprav. Levá dvojice fotografií v Tab. 13 zachycuje vyměnitelnou břitovou destičku v nepoužitém stavu. Na následujících záběrech již lze pozorovat vzniklý výmol na čele nástroje, který ovšem nijak nenarušuje tvar rádiusu špičky. Naměřená hodnota opotřebení hřbetu je 0,133 mm, což je minimální hodnota ve srovnání s ostatními zkoumanými destičkami po shodné době, ve které se nacházely destičky v řezu. Na hřbetu nástroje lze zpozorovat opotřebení způsobené odcházející třískou z místa řezu.




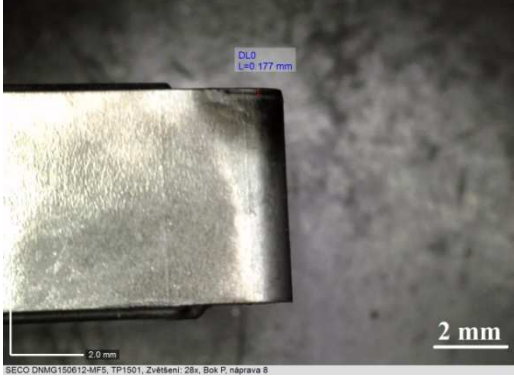
Tab. 13 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 0,2)

V čase t [min]	0	2,64
Čelo VBD		
Hřbet VBD		

V Tab. 14 je zachycena břitová destička po páté obroběné vagonové nápravě, kdy předchozí zkoumané břitové destičky dosáhli takového stavu opotřebení, kdy již nebylo možné pokračovat v měření, aniž by nedošlo k zhoršení jakosti obroběné plochy. Na čele nástroje je viditelný nárůst výmolů ve srovnání s předešlým snímkem. Řezný nástroj se nachází v tzv. pásmu normálního opotřebení, kdy nedochází k výraznému růstu VB

opotřebení a hodnota opotřebení hřbetu má stále hodnotu 0,133 mm. Tato břitová destička byla schopna absolvovat 8 operací obrábění sedel náprav, což je v přepočtu na čas 10 minut a 33 sekund v řezu. Stav břitové destičky v tomto čase je zachycen na pravé dvojici fotografií v Tab. 14. Na čele je zřejmý vzniklý výmol, ale taktéž náznaky vznikajících trhlin, které by mohly zapříčinit destrukci špičky nástroje, z tohoto důvodu bylo měření této destičky zastaveno. Opotřebení hřbetu dosáhlo hodnoty 0,177 mm.

Tab. 14 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 4,5)







V čase t [min]	5,28	6,6
Čelo VBD		
Hřbet VBD		

### Vyhodnocení měření

Všechny měřené břitové destičky byly vystaveny identickým podmínkám v průběhu experimentu. V Tab. 15 lze vidět vizuální porovnání posuzovaných vyměnitelných břitových destiček, které absolvovaly stejný počet obrobených vagonových náprav. Po tomto počtu náprav bylo ukončeno měření z důvodů vzniku nárůstku u břitové destičky firmy Kennametal a z důvodu vzniku vrubového opotřebení na hlavním břitu u destičky společnosti WIDIA. Produkt firmy SECO v tomto momentě nevykazoval žádné důvody, které by neprodleně vedly k ukončení testování. V tomto okamžiku nabývala hodnota opotřebení hřbetu odlišných hodnot u každé testované destičky, tyto hodnoty jsou

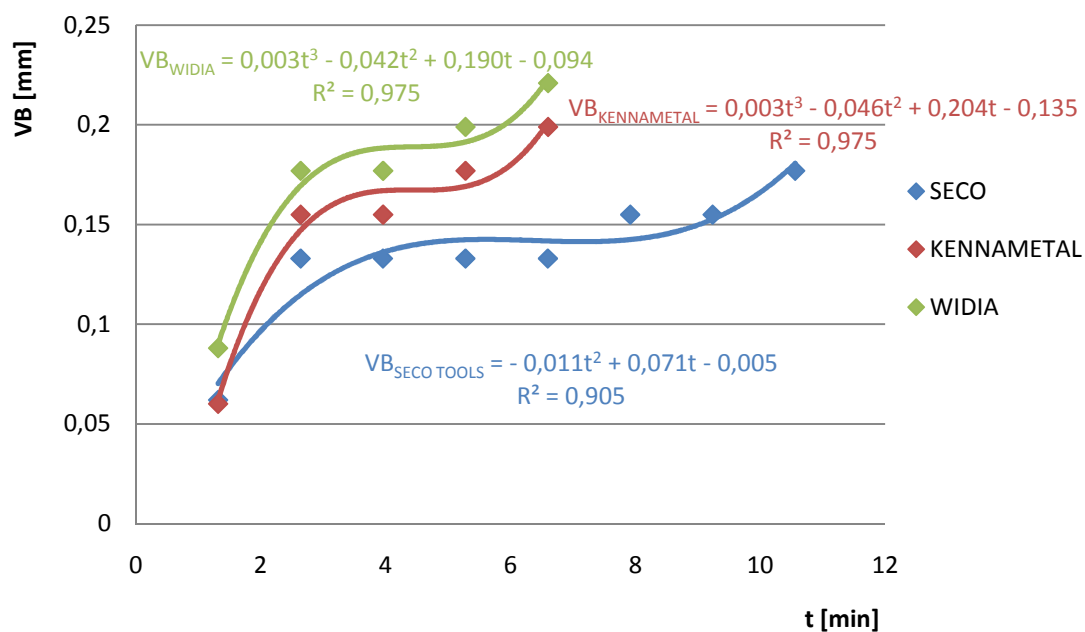
také uvedeny v Tab. 15 společně s celkovým počtem obroběných náprav a časem, ve kterém se nástroj nacházel v řezu.

Tab. 15 Výsledné hodnoty měření

Firma	KENNAMETAL	WIDIA	SECO TOOLS
Čelo VBD v čase 5,28 min			
Hřbet VBD v čase 5,28 min			
VB opotřebení v čase 5,28 min [mm]	0,199	0,221	0,133
Celkový počet náprav [ks]	5	5	8
Celková doba řezu [min]	6,66	6,66	10,53

Na Obr. 36 je graficky znázorněna závislost VB kritéria na čase, jsou zde současně zaznamenány průběhy závislostí pro všechny testované vyměnitelné břitové destičky. Křivka průběhu velikosti VB kritéria firmy WIDIA se vyznačuje nejvyšší počáteční hodnotou VB, přičemž v první fázi tzv. pásma záběru dochází k prudkému nárůstu křivky opotřebení. Obdobný průběh první fáze má taktéž břitová destička společnosti Kennametal, kde lze vidět strmý nárůst zkoumaného kritéria, ovšem počáteční a následně naměřené hodnoty opotřebení nabývají nižších hodnot než tomu je u destičky WIDIA. Destička firmy SECO se vyznačuje podobnou počáteční hodnotou VB jako společnost Kennametal. Z grafického vyjádření je zřejmé, že celkový průběh nárůstu opotřebení v čase je pozvolný, pásmo normálního opotřebení je značně delší než u srovnávaných břitových destiček. Průběh počátečního pásma a také pásma zrychleného opotřebení se nevyznačuje menší

strmostí než tomu je u vyměnitelných destiček ostatních společností. Doba, ve které byla vyměnitelná břitová destička od společnosti SECO TOOLS v řezu byla o 36,8 % delší než u konkurenčních destiček. V Tab. 16 jsou zaznamenány veškeré naměřené hodnoty kritéria VB opotřebení.



Obr. 36 Grafické znázornění závislosti VB kritéria na čase t

Tab. 16 Naměřené hodnoty

Firma		KENNAMETAL	WIDIA	SECO TOOLS
Počet oprav [ks]	Čas [min]	VB [mm]	VB [mm]	VB [mm]
1	1,32	0,060	0,088	0,062
2	2,64	0,155	0,177	0,133
3	3,96	0,155	0,177	0,133
4	5,28	0,177	0,199	0,133
5	6,60	0,199	0,221	0,133
6	7,92			0,155
7	9,24			0,155
8	10,56			0,177

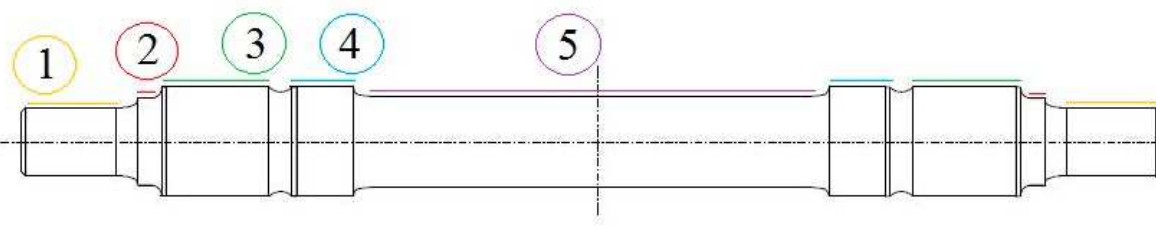
## 6.2 ZÁVISLOST OPOTŘEBENÍ VBD NA TLAKU CHLADICÍ KAPALINY

Účelem této části experimentu bylo posouzení vlivu tlaku řezné kapaliny na opotřebení a trvanlivost řezného nástroje. Společnost BONATRANS GROUP a.s. zakoupila v prosinci 2015 moderní CNC soustruh DANOBAT TCN-16-2T BC3000, který podporuje chlazení v místě řezu tlakem řezné kapaliny až 70 barů. Přiváděním chladicí kapaliny o vyšším tlaku do místa řezu, by se mělo dosahovat vyšších trvanlivostí řezných nástrojů a lepšího utváření, neboli lámání třísky. Pro dané řezné parametry (viz Tab. 19) nedosahuje maximální tlak provozní kapaliny, kterého lze dosáhnout, takových sil, aby docházelo k odlamování třísek a to především z důvodu vysoké hodnoty šířky záběru ostří. Pro tuto část měření byly vybrány břitové destička firmy SECO TOOLS a KYOCERA, jejich katalogové označení a rozměry jsou uvedeny v Tab. 17. Pro dosažení stejných podmínek pro všechny posuzované vyměnitelné břitové destičky probíhalo měření při obrábění totožné vagonové nápravy typu 136.51, viz Tab. 18.

Tab. 17 Základní rozměry VBD a jejich označení [25, 28]

Firma	ISO Katalog číslo	Třída	D [mm]	L10 [mm]	S [mm]	$r_e$ [mm]	D1 [mm]
SECO TOOLS	DNMG150612-MF5	TP1501	12,7	15,5	6,35	1,2	5,16
KYOCERA	DNMG150612PG	CA525	12,7	15,5	6,35	1,2	5,16

Tab. 18 Základní rozměry nápravy 136.51 [21]



Označení plochy	Název části nápravy	Průměr [mm]	Délka [mm]
1	Čep	$135 \pm 0,2$	$219 \pm 0,5$
2	Prašník	$165 \pm 0,5$	50,5
3	Sedlo pro kolo	$196 \pm 0,5$	$162 \pm 0,3$
4	Sedlo pro brzdový kotouč	$199 \pm 0,5$	$137,7 \pm 0,3$
5	dřík	$160 \pm 0,5$	839

Měření probíhalo při obrábění dvou sedel, na která jsou následně nalisovány samostatné brzdové kotouče a kola. Materiálem z něhož je vyhotovena náprava je materiál s firemním označením EA1N. Jedná se o nízkouhlíkovou ocel, jejíž výrazná horní mez kluzu je  $R_{eH} \geq 320 \text{ N/mm}^2$ , mez pevnosti se pohybuje v rozmezí  $R_m = 550 \div 650 \text{ N/mm}^2$  a tažnost je  $A \geq 22 \%$ . Procentuální zastoupení jednotlivých prvků v tomto materiálu je uvedeno v Tab. 2 nacházející se v podkapitole: 2.1 Vstupní materiál. Veškeré vlastnosti popisovaného materiálu jsou specifikovány evropskou normou EN 13261 [3].

Po každé dokončené operaci jednotlivé břitové destičky, což odpovídá 1 minutě a 15 sekundách, kdy se destičky nacházely v řezu, byly vyjmuty z držáku a pořízeny fotografie čel a hřbetů destiček pomocí digitálního mikroskopu. Zkoumané břitové destičky obráběly sedla kol o průměru 196 mm s mezními úchytkami  $\pm 0,5 \text{ mm}$  a sedla určena pro nalisování brzdových kotoučů průměru 199 mm s mezními úchytkami  $\pm 0,5 \text{ mm}$  o délce 162 mm a 137,7 mm, viz Obr. 38. Poté byly tyto fotografie zpracovány a doplněny o popisky v softwaru Dino Capture 2.0, který disponuje také funkcí měření, ta byla využita k dalšímu posuzování opotřebení břitových destiček. U všech obrobených náprav došlo také k změření dosažené drsnosti obrobené plochy sedla pro kolo po procesu soustružení za pomoci drsnoměru Mitutoyo SJ-201, viz Obr. 37, který využívá měřící hlavici, jenž se pohybuje ve směru osy detektoru. Následně byl vyhodnocen vliv tlaku chladicí kapaliny na jakost povrchu obrobeného materiálu. Před každým měřením drsnosti obrobku byl povrch řádně očištěn a zbaven zbytků řezné kapaliny, aby nedošlo k ovlivnění naměřených hodnot.



Obr. 37 Drsnoměr Mitutoyo SJ-201



Obr. 38 Obráběná sedla pro kolo a brzdový kotouč

Nastavené řezné parametry při tomto měření jsou uvedeny v Tab. 19. Hodnota otáček  $n [\text{min}^{-1}]$  vřetene byla zadána za pomoci funkce G96, čímž bylo dosaženo konstantní řezné rychlosti  $v_c [\text{m/min}]$ . Nastavením konstantní řezné rychlosti dochází k automatickému přizpůsobování a dopočítávání počtu otáček vřetene, za pomoci softwaru CNC stroje v závislosti na obráběném průměru.



Tab. 19 Řezné parametry




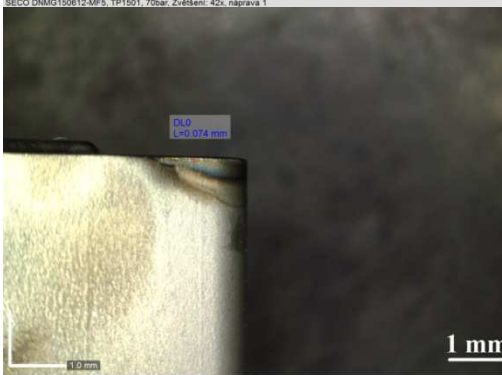
Řezná podmínka	Značka	Jednotka	Rozsah hodnot
Řezná rychlost	$v_c$	[m/min]	240
Otáčky	n	[min <sup>-1</sup> ]	Závislé na průměru obrobku
Posuv (sedlo pro kolo)	$f_{SK}$	[mm]	0,5
Posuv (sedlo pro brzdový kotouč)	$f_{BK}$	[mm]	0,3
Šířka záběru ostří	$a_p$	[mm]	2,5

### 6.2.1 SECO TOOLS

Tento nástroj byl zvolen na základě dřívějších příznivých výsledků předchozího experimentu zaměřujícím se na porovnání životnosti a průběhu opotřebenosti břitových destiček.

Břítová destička se po absolvování prvního procesu obrábění nápravy vyznačuje povrchovým opotřebením povlaku, v případě obou použitých tlaků se zanedbatelnými rozdíly, jak lze vidět na snímcích v Tab. 23. V obou případech nedochází k narušení rádiu řezného nástroje a je tedy zaručena požadovaná drsnost obrobené plochy a dosažený průměr daného sedla pro další proces obrábění. Rozdíl v naměřených hodnotách opotřebenosti hřbetu je rovněž minimální a nelze ho považovat za rozhodující znak vlivu tlaku řezné kapaliny na opotřebenosti nástroje. Na hlavním ostří je patrná oblast, kde dochází ke styku břitové destičky a odcházející třísky, která zde zanechává ořez.





Tab. 23 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 1)

Tlak chladicí kapaliny p [bar]	10	70
Čelo VBD v čase 1,25 min		
Hřbet VBD v čase 1,25 min		

V průběhu soustružení následujících náprav dochází ke vzniku výmolů na čele břitové destičky a k jeho postupnému rozšiřování. Při operaci soustružení s využitím tlaku chladicí kapaliny o hodnotě 10 barů má výmol na čele nástroje viditelně větší profil co se

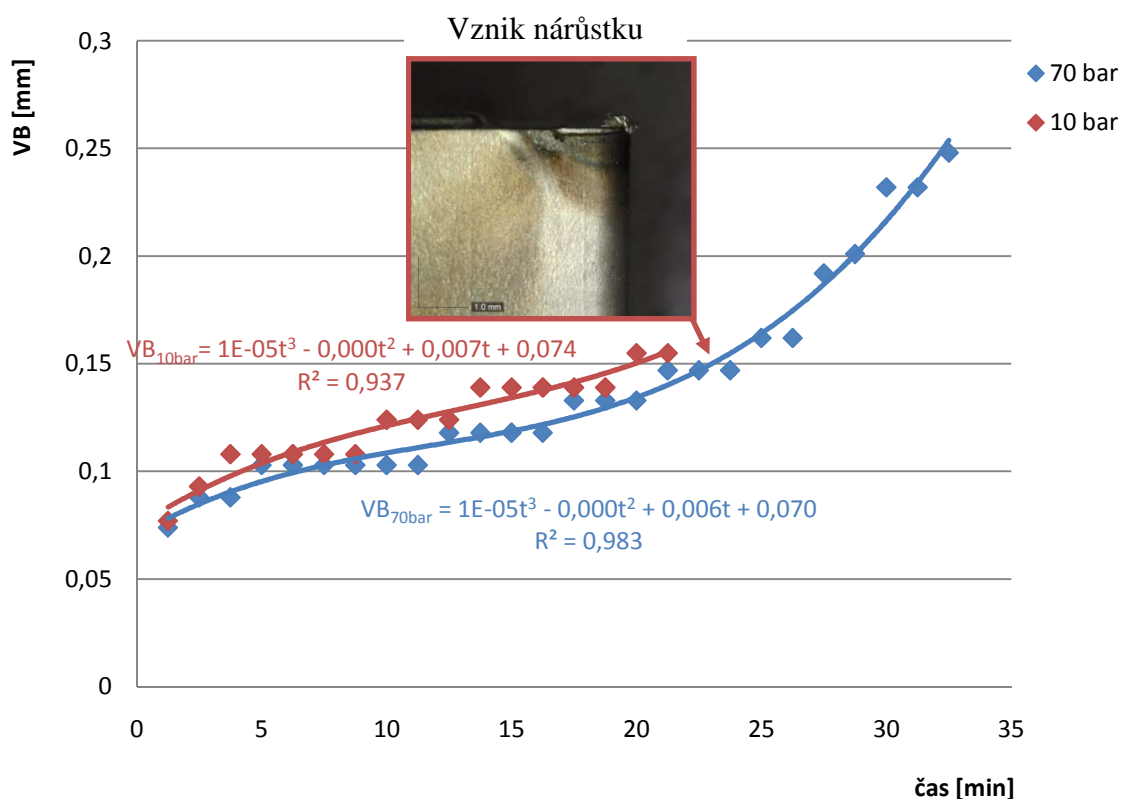
týče hloubky vzniklého výmolu, než tomu je u vyššího tlaku o hodnotě 70 barů. Proces je rovněž doprovázen růstem opotřebení hřbetu. Při tlaku 70 barů řezné kapaliny je stabilně dosahováno nižších hodnot kritéria VB opotřebení. Po uplynutí 21 minut a 15 sekund v řezu dochází u vyměnitelné břitové destičky pracující při tlaku 10 barů chladící kapaliny ke vzniku nárůstku, jak je patrné z fotografií v Tab. 24. Z důvodu eventuálního poškození obráběné plochy a nedodržení předepsané drsnosti způsobené vzniklým nárůstkem bylo měření tohoto řezného nástroje při tlaku 10 barů ukončeno. Řezný nástroj posuzovaný při tlaku 70 barů nevykazuje žádné znaky, které by měly vést k ukončení experimentu. Geometrie špičky nástroje není nijak narušena a opotřebení hřbetu nabývá v tomto okamžiku hodnoty 0,147 mm, což není nijak kritická hodnota. Současně dosahovaná drsnost bezpečně splňuje požadovanou jakost obrobené plochy. Při použití vyššího tlaku řezné kapaliny je destička schopna pokračovat v obrábění následujících 10 minut, aniž by se objevil závažný důvod vedoucí k ukončení měření. Z důvodu vyčerpání nápravy typu 136.51, na kterých bylo prováděno měření, musel být tento experiment ukončen, aby nedošlo k ovlivnění měření při použití jiného typu náprav. Avšak z dostatečného množství naměřených dat je možno vyvodit výsledky tohoto měření.

Tab. 24 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 17)

Tlak chladící kapaliny p [bar]	10	70
Čelo VBD v čase 21,25 min		
Hřbet VBD v čase 21,25 min		

Na Obr. 41 lze vidět graficky zaznamenaný vývoj opotřebení vyměnitelné břitové destičky v závislosti na čase. Toto měření se zaměřuje na obrábění sedel vagonových náprav za použití vysokotlakého chlazení nástroje v porovnání s nižším tlakem řezné kapaliny. Počáteční hodnoty opotřebení se nijak výrazně neliší, avšak při pokračujícím měření dochází k navyšování diference mezi naměřenými daty u odlišných tlaků. V obou případech je průběh vývoje opotřebení pozvolný a nedochází k žádné náhlé změně měřeného kritéria. Při využití tlaku chladicí kapaliny 70 barů je po celou dobu měření dosahováno nižších hodnot, než tomu je u tlaku nižšího. Křivka opotřebení řezného nástroje obrábějícího při tlaku provozní kapaliny 10 barů je ukončena v bodě, kdy došlo k vytvoření nárůstku na čele nástroje.

### SECO TOOLS VB = f(t)

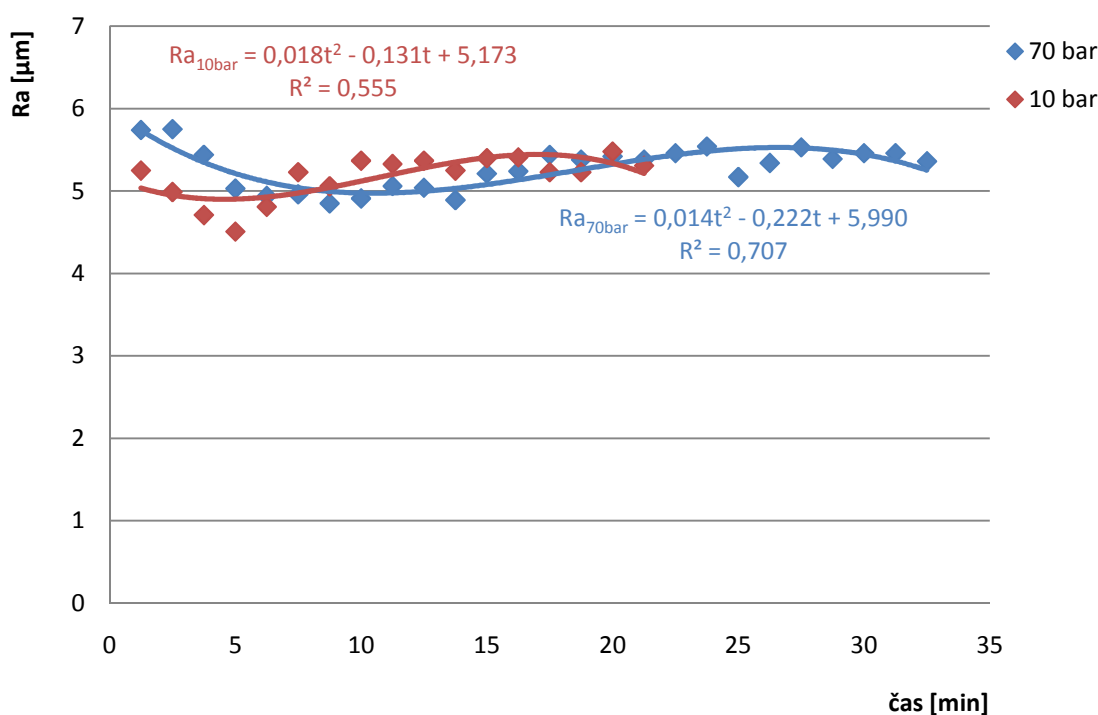


Obr. 41 Grafické znázornění závislosti VB kritéria na čase t

Rovněž jako v předešlém měření i zde byla po každé operaci obrábění změřena drsnost obrobeného povrchu sedel pro kola a následně taktéž vyhotovena závislost drsnosti povrchu na čase obrábění, která je zobrazena na Obr. 42. V průběhu postupného opotřebování řezného nástroje dochází v první fázi obrábění k poklesu naměřených dat drsností až do bodu, kdy opotřebení hřbetu břitové destičky dosáhne určité hodnoty, po které vzápětí následuje růst změřených dat. Počáteční hodnoty drsností dosahované při tlaku řezné kapaliny 10 barů jsou nižší, než tomu je při použití vyššího tlaku. Příčinou

vyšších naměřených hodnot drsnosti obrobku v pozdější fázi soustružení při tlaku 10 barů v porovnání s tlakem 70 barů je rozdílný rozsah opotřebení hřbetu řezného nástroje. Křivka vývoje jakosti povrchu obrobku při tlaku 70 barů má mírně pozvolnější průběh způsobený postupným růstem opotřebení břitové destičky. Po uplynutí 21 minut 15 sekund, kdy se nástroj nacházel v řezu, dochází k vzniku nárůstku na čele nástroje při tlaku 10 barů řezné kapaliny. Tento fakt by mohl vést k nedodržení požadované drsnosti obrobku. Z tohoto důvodu bylo měření při tomto tlaku chladicího media ukončeno.

### SECO TOOLS $Ra = f(t)$







Obr. 42 Grafické znázornění závislosti drsnosti obrobku na čase  $t$

#### 6.2.2 KYOCERA

Pro ověření naměřených dat, vyzporovaného vlivu tlaku chladicí kapaliny na průběh opotřebení vyměnitelných břitových destiček a jejich životnost, byl uskutečněn tentýž experiment, ovšem na řezném nástroji jiného dodavatele. Jednalo se o nástroj firmy KYOCERA, který se lišil jak tvarem utvařeče třísky, tak také použitým povlakem. Během této kontroly vyzporovaných výsledků předešlého měření byly zachovány veškeré řezné parametry, viz Tab. 19 a také obráběný typ vagónové nápravy s firemním označením 136.51.



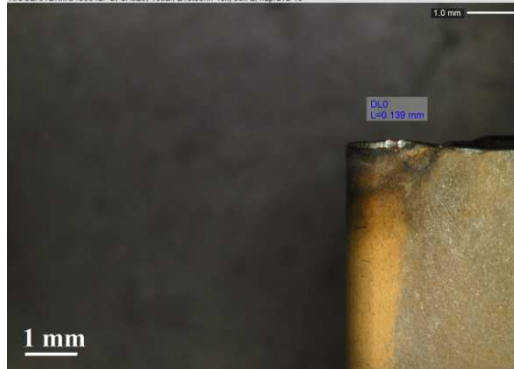

Na snímcích viz Tab. 20, jsou zachyceny vyměnitelné břitové destičky po uplynutí 1 minuty a 15 sekund, během kterých se nacházely v řezu. Již po první obrobene nápravě je na čele břitové destičky, která obráběla materiál při nastaveném tlaku řezné kapaliny 70 barů, zřetelný zárodek výmolu, avšak za použití nižšího tlaku došlo pouze k povrchovému poškození povlaku daného nástroje. Opotřebení hřbetu nabývá při tlaku 70 barů hodnoty 0,029 mm, při tlaku 10 barů je tato hodnota 0,062 mm.

Tab. 20 Vyměnitelná břitová destička KYOCERA DNMG150612PG (měření 1)

Tlak chladicí kapaliny p [bar]	10	70
Čelo VBD v čase 1,25 min		
Hřbet VBD v čase 1,25 min		




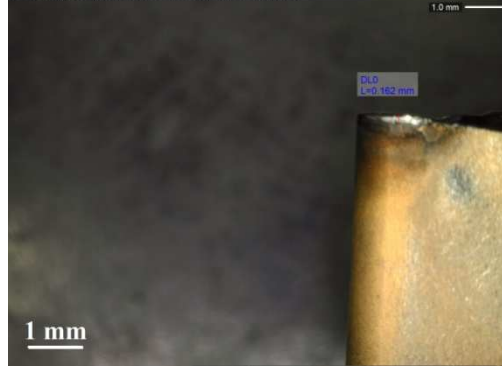
V průběhu obrábění docházelo k rozrůstání výmolu na čele a opotřebení hřbetu. U obou břitových destiček po 18 minutách a 45 sekundách v řezu lze vidět zřetelný výmol nacházející se na čele nástroje, viz Tab. 21. Výmol na čele břitové destičky, která byla vystavena chladicí kapalině o tlaku 10 barů nabývá viditelně většího rozměru, obsah plochy výmolu činí  $2,367 \text{ mm}^2$  a rozrůstá se již k ostří nástroje. Přičemž plocha výmolu na čele nástroje při tlaku 70 barů je rovna  $1,722 \text{ mm}^2$ , rozdíl je tedy 27 % plochy výmolu. Lze také pozorovat na hřbetu destičky vznikající křehké porušení řezné hrany, kdy dochází k postupnému vylamování břitu. Avšak nedošlo prozatím k narušení geometrie rádiusu špičky řezného nástroje. Opotřebení hřbetu v této fázi nabývá hodnot 0,139 mm při tlaku 10 barů a 0,118 mm při 70 barech.

Tab. 21 Vyměnitelná břitová destička KYOCERA DNMG150612PG (měření 15)

Tlak chladicí kapaliny p [bar]	10	70
Čelo VBD v čase 18,75 min		
Hřbet VBD v čase 18,75 min		

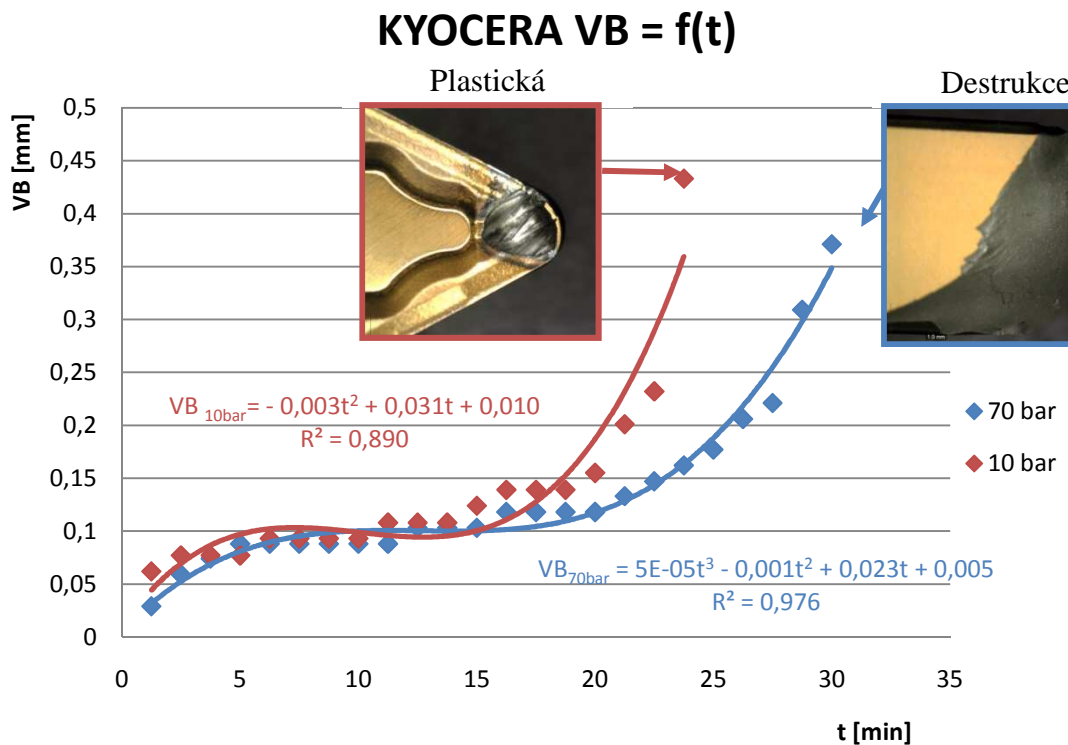
Po následujících 5 minutách v řezu dochází k přetížení břitu a následnému vzniku plastické deformace špičky řezného nástroje, jak lze vidět v Tab. 22. Dochází také k vrubovému opotřebení na hlavním břitu. Z těchto důvodů bylo ukončeno měření opotřebení vyměnitelné břitové destičky při tlaku 10 barů provozní kapaliny. Ze snímků je patrný rozdíl mezi rozsahem výmolu na čele mezi oběma destičkami, který činí taktéž 27 %, jako tomu bylo u VDB po 15 obroběných nápravách. Také je patrný rozdíl v deformaci rádiusu špičky řezného nástroje. V dalším průběhu obrábění docházelo k rozšiřování výmolu na čele nástroje a taktéž k zvětšování opotřebení na hřbetu, které v posledních fázích obrábění prudce narůstalo. Rovněž došlo ke vzniku tzv. křehkého porušení řezné hrany, které vedlo k postupnému vylamování břitu nástroje. Při použití tlaku řezné kapaliny 70 barů byl řezný nástroj schopen pokračovat v obrábění dalších 6 minut 15 sekund, následně došlo k překročení kritické hodnoty meze pevnosti řezného materiálu a následovala destrukce nástroje.

Tab.22 Vyměnitelná břitová destička KYOCERA DNMG150612PG (měření 19)

Tlak chladicí kapaliny p [bar]	10	70
Čelo VBD v čase 23,75 min		
Hřbet VBD v čase 23,75 min		

Po ukončení měření a zaznamenání veškerých naměřených dat byly graficky zpracovány průběhy nárůstu opotřebení v závislosti na čase, ve kterém se nástroj nacházel v řezu, a také vývoj dosažené drsnosti obrobeného materiálu v závislosti na čase. Za pomoci grafu, viz Obr. 39, lze posoudit vliv tlaku chladicí kapaliny na vývoj opotřebení hřbetu řezného nástroje a také jeho životnosti v průběhu času. Při tlaku 70 barů řezné kapaliny bylo dosaženo nižší počáteční hodnoty VB opotřebení a tato tendence pokračovala během celé doby experimentu. Přičemž v druhém pásmu tzv. pásmu normálního opotřebení bylo dosahováno podobných hodnot opotřebení u obou zkoušených břitových destiček. Následně dochází k strmému nárůstu hodnot opotřebení v případě křivky reprezentující tlak 10 barů až do bodu, kdy je z důvodů plastické deformace špičky nástroje ukončeno měření. Obdobný průběh nárůstu závěrečného úseku křivky zobrazující závislost opotřebení na čase lze pozorovat také u soustružení při nastaveném tlaku chladicí kapaliny 70 barů. Rozdíl mezi posuzovanými vyměnitelnými břitovými destičkami činí 5 minut, během kterých byl řezný nástroj při tlaku 70 barů schopen pokračovat v procesu obrábění.



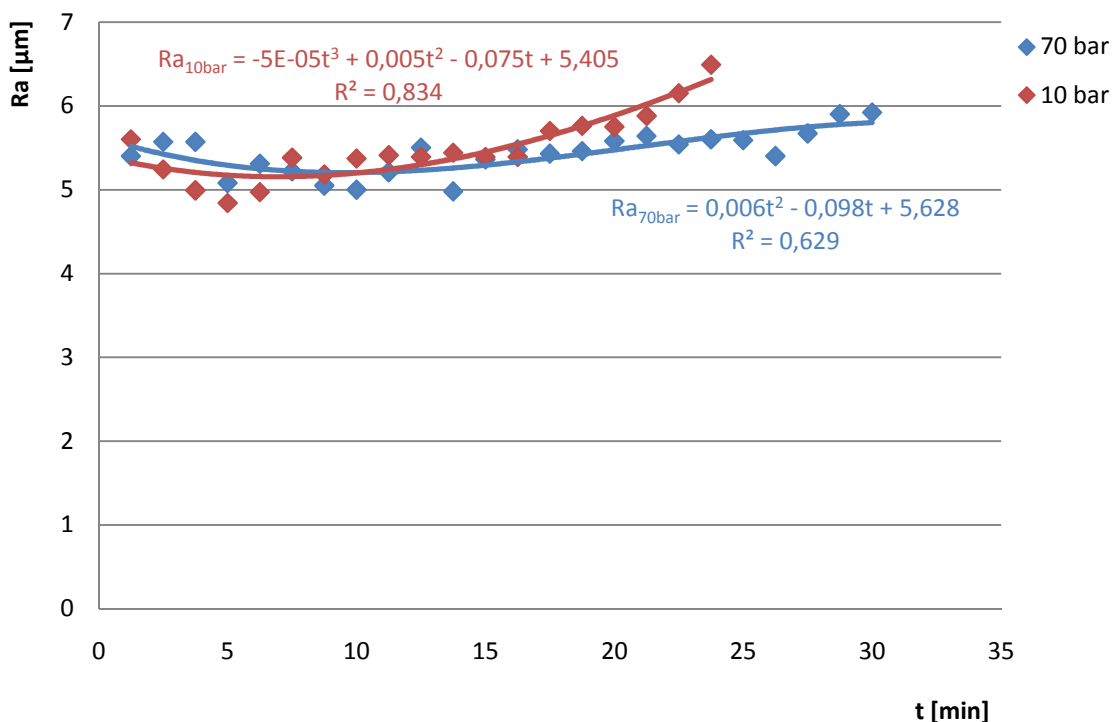


Obr. 39 Grafické znázornění závislosti VB kritéria na čase t

Dalším měřeným znakem opotřebení břitové destičky byla dosahovaná drsnost obrobené plochy na sedlech určených k nalisování kol vagónové nápravy. Jak lze vidět na grafu, viz Obr. 40, ve kterém je srovnáván průběh dosahované drsnosti v závislosti na čase pro tlak 10 a 70 barů provozní kapaliny. V první fázi obrábění jsou naměřené hodnoty drsností obecně vyšší, což je způsobeno neopotřebením řezné hrany hlavního ostří. Po částečném opotřebení vyměnitelné břitové destičky dochází k poklesu hodnot dosahované drsnosti obrobeného povrchu a posléze, po překročení určité hodnoty opotřebení hřbetu řezného nástroje dochází k opětovnému zvyšování naměřených hodnot. Vyšší z použitých tlaků má za následek pozvolnější opotřebování hřbetu nástroje, což ovšem způsobí klesání naměřené hodnoty jakosti povrchu až v pozdější fázi procesu soustružení, než tomu je u nižšího tlaku řezné kapaliny. V počátečním stadiu experimentu tak bylo dosahováno vyšších naměřených drsností obrobeného povrchu při použití tlaku 70 barů chladicí kapaliny. V určitém bodě dochází k zvýšení naměřených hodnot v závislosti na překročení jisté hodnoty opotřebení řezného nástroje. Z důvodů rychlejšího opotřebení břitové destičky při tlaku 10 barů jsou naměřené hodnoty drsnosti vyšší než hodnoty, kterých je dosaženo u tlaku 70 barů. V poslední fázi životnosti řezného nástroje dochází k prudkému nárůstu opotřebení řezné části břitové destičky. Tento jev má za následek nárůst naměřených hodnot drsnosti obrobeného povrchu obrobku, jak lze vypočítat z grafu závislosti drsnosti ( $R_a$ ) na čase ( $t$ ). Křivka zobrazující průběh jakosti povrchu po procesu

soustružení při tlaku 70 barů má pozvolnější průběh, což je způsobeno pozvolnějším nárůstem opotřebení řezného nástroje.

### KYOCERA Ra = f(t)



Obr. 40 Grafické znázornění drsnosti obrobku na čase t

### Vyhodnocení měření

Z předcházejících měření vlivu tlaku provozní kapaliny na opotřebení, životnost vyměnitelné břitové destičky a dosahované drsnosti obrobku je patrné, že vyšší tlak má významný vliv na průběh rozvoje opotřebení hřbetu řezného nástroje. A tento fakt má za následek schopnost břitové destičky setrvat v řezu delší dobu v porovnání s druhou posuzovanou destičkou při tlaku 10 barů. Z grafických závislostí opotřebení hřbetu nástroje na čase (viz Obr. 39 a Obr. 41) je zřejmé, že při vyšším tlaku řezné kapaliny bylo dosahováno nižších hodnot opotřebení hřbetu nástroje. Zároveň bylo dosahováno delších časů, během kterých byla břitová destička schopna setrvat v řezu aniž by došlo k nedodržení požadované drsnosti obrobku. Vliv tlaku chladicí emulze na dosahovanou jakost povrchu byl v případě vyměnitelné břitové destičky společnosti SECO TOOLS výraznější, než tomu bylo v případě řezného nástroje firmy KYOCERA. V Tab. 25 jsou zaznamenány veškeré naměřené hodnoty kritéria VB opotřebení a taktéž naměřené drsnosti obrobku.

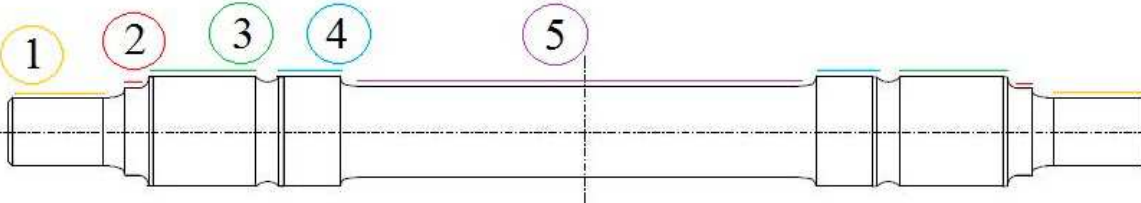
Tab. 25 Naměřené hodnoty

Firma		KYOCERA				SECO TOOLS			
Tlak řezné kapaliny [bar]		10		70		10		70	
Počet náprav [ks]	Čas [min]	VB [mm]	Ra [μm]	VB [mm]	Ra [μm]	VB [mm]	Ra [μm]	VB [mm]	Ra [μm]
1	1,25	0,062	5,6	0,029	5,4	0,077	5,25	0,074	5,74
2	2,50	0,077	5,24	0,059	5,57	0,093	4,99	0,088	5,75
3	3,75	0,077	4,99	0,074	5,57	0,108	4,71	0,088	5,44
4	5,00	0,077	4,84	0,088	5,08	0,108	4,51	0,103	5,03
5	6,25	0,093	4,97	0,088	5,31	0,108	4,81	0,103	4,94
6	7,50	0,093	5,38	0,088	5,22	0,108	5,23	0,103	4,96
7	8,75	0,093	5,18	0,088	5,05	0,108	5,06	0,103	4,85
8	10,00	0,093	5,37	0,088	5	0,124	5,37	0,103	4,91
9	11,25	0,108	5,41	0,088	5,21	0,124	5,33	0,103	5,06
10	12,50	0,108	5,39	0,103	5,5	0,124	5,37	0,118	5,04
11	13,75	0,108	5,44	0,103	4,98	0,139	5,25	0,118	4,89
12	15,00	0,124	5,39	0,103	5,36	0,139	5,4	0,118	5,21
13	16,25	0,139	5,39	0,118	5,48	0,139	5,41	0,118	5,24
14	17,50	0,139	5,7	0,118	5,43	0,139	5,23	0,133	5,44
15	18,75	0,139	5,76	0,118	5,46	0,139	5,23	0,133	5,38
16	20,00	0,155	5,75	0,118	5,58	0,155	5,48	0,133	5,42
17	21,25	0,201	5,88	0,133	5,64		5,31	0,147	5,38
18	22,50	0,232	6,15	0,147	5,54			0,147	5,46
19	23,75	0,433	6,49	0,162	5,6			0,147	5,54
20	25,00			0,177	5,59			0,162	5,17
21	26,25			0,206	5,4			0,162	5,34
22	27,50			0,221	5,67			0,192	5,53
23	28,75			0,309	5,9			0,201	5,39
24	30,00			0,371	5,92			0,232	5,46
25	31,25							0,232	5,46
26	32,50							0,248	5,36

### 6.3 VÝVOJ OPOTŘEBENÍ VBD V ZÁVISLOTI NA ZMĚNĚ ŘEZNÝCH PARAMETRŮ

Cílem této části experimentu bylo zefektivnění procesu obrábění a dosáhnout tak optimálního poměru opotřebení řezného nástroje a dosahovaných časů procesu soustružení dané části vagónové nápravy. Materiál obráběné nápravy má firemní označení EA1N. Jedná se o nízkouhlíkovou ocel, jejíž výrazná horní mez kluzu je  $R_{eH} \geq 320 \text{ N/mm}^2$ , mez pevnosti se pohybuje v rozmezí  $R_m = 550 \div 650 \text{ N/mm}^2$  a tažnost je  $A \geq 22 \%$ . Procentuální zastoupení jednotlivých prvků v tomto materiálu je uvedeno v Tab. 2 nacházející se v podkapitole: 2.1 Vstupní materiál. Veškeré vlastnosti popisovaného materiálu jsou specifikovány evropskou normou EN 13261 [3]. Měření bylo prováděno v jako předešlých experimentech na sedlech, které jsou určeny pro nalisování kol popřípadě brzdových kotoučů. V Tab. 26 jsou uvedeny rozměry těchto obráběných ploch označených čísly 3 a 4, obráběná náprava má firemní označení 135.61.

Tab. 26 Základní rozměry nápravy 136.51 [21]



Označení plochy	Název části nápravy	Průměr [mm]	Délka [mm]
1	Čep	$135 \pm 0,2$	$219 \pm 0,5$
2	Prašník	$165 \pm 0,5$	50,5
3	Sedlo pro kolo	$196 \pm 0,5$	$162 \pm 0,3$
4	Sedlo pro brzdový kotouč	$199 \pm 0,5$	$137,7 \pm 0,3$
5	dřík	$160 \pm 0,5$	839

Z nákresu nápravy v Tab. 19 je zřejmé, že se u procesu obrábění jedná o přerušovaný řez v oblasti podběhu mezi sedlem pro kolo a sedlem pro brzdový kotouč, v této části je zvolený rychloposuv řezného nástroje. Z důvodu požadované drsnosti  $Ra 3,2$  dosažené na obrobené ploše sedel, bylo zavrhnuto navýšení hodnoty posuvu řezného nástroje a byla zvolena změna řezné rychlosti o 10 % původní. Tyto sedla jsou určena pro nalisování brzdových kotoučů, přičemž nenásleduje žádná další dokončovací operace. Tato změna by měla způsobit navýšení produktivity výroby a to zkrácením času soustružení. Je zde ovšem riziko snížení životnosti vyměnitelné břitové destičky, zároveň její rychlejší opotřebení a dosahování tak vyšších hodnot drsnosti obrobené plochy. Při tomto měření

byla použita vyměnitelná břitová destička společnosti SECO TOOLS a.s. s označením DNMG150612-MF5, viz Tab. 20, která dosahovala nejlepších výsledků při porovnání břitových destiček od různých dodavatelů a také při posuzování vlivu tlaku chladicí kapaliny na vývoj opotřebení hřbetu řezného nástroje. Základní rozměry této břitové destičky jsou uvedeny v Tab. 27.

Tab. 27 Základní rozměry VBD a její označení [25]

Firma	ISO Katalog číslo	Třída	D [mm]	L10 [mm]	S [mm]	$r_c$ [mm]	D1 [mm]
SECO TOOLS	DNMG150612-MF5	TP1501	12,7	15,5	6,35	1,2	5,16

Zkoumaná břitová destička obráběla sedla kol o průměru 196 mm s mezními úchytkami  $\pm 0,5$  mm a sedla určena pro nalisování brzdových kotoučů o průměru 199 mm s mezními úchytkami  $\pm 0,5$  mm, o délce 162 mm a 137,7 mm. Po každé obrobené nápravě došlo k změně dosažené drsnosti obrobené plochy pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-201, který využívá měřicí hlavici, jenž se pohybuje ve směru osy detektoru a také k pořízení snímku čela a hřbetu břitové destičky. Před každým měřením drsnosti obrobku byl povrch očištěn a zbaven zbytků řezné kapaliny, aby nedošlo k ovlivnění naměřených hodnot. Pro maximální možnou optimalizaci řezných podmínek, byl na základě předešlého experimentu zvolen tlak 70 barů, pod kterým byla provozní kapalina dopravována do místa řezu. V ISO kódu byla zvýšena řezná rychlost nástroje o 10 % původní hodnoty na 240 m/min. V závislosti na nastavené hodnotě konstantní řezné rychlosti  $v_c$  [m/min] je za pomoci funkce G96 softwarem vypočítávána hodnota otáček vřetene  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ]. Veškeré nastavené neměnné řezné parametry pro toto měření jsou uvedeny v Tab. 29.



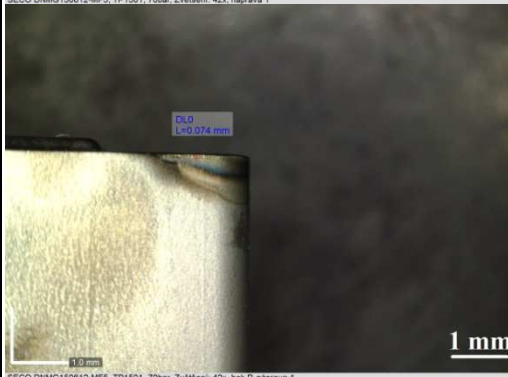
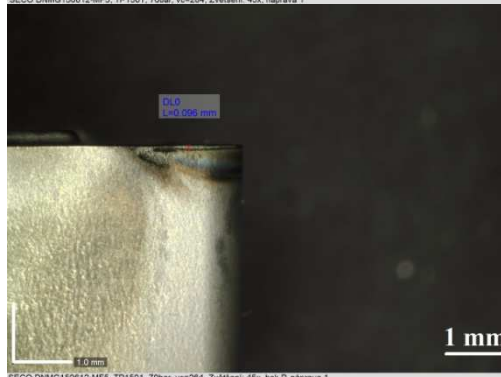
Tab. 28 Řezné parametry

Řezná podmínka	Značka	Jednotka	Rozsah hodnot
Otáčky	$n$	[ $\text{min}^{-1}$ ]	Závislé na průměru obrobku
Posuv (sedlo pro kolo)	$f_{SK}$	[mm]	0,5
Posuv (sedlo pro brzdový kotouč)	$f_{BK}$	[mm]	0,3
Šířka záběru ostří	$a_p$	[mm]	2,5
Tlak řezné kapaliny	$p$	[bar]	70

Na snímcích viz Tab. 22 je zachycena vyměnitelná břitová destička, která absolvovala první proces obrábění při řezné rychlosti 240 m/min a 264 m/min. První proces obrábění odpovídá délce dráhy řezného nástroje, který se rovná 299,7 mm na obráběné nápravě. V obou případech je patrné opotřebení na hřbetě řezného nástroje, kdy

je ovšem při nižší řezné rychlosti dosahováno menších hodnot tohoto posuzovaného kritéria. Po zvýšení řezného parametru o 10 %, VB kritérium dosahuje hodnoty 0,097 mm, avšak v druhém případě je to 0,074 mm, tento rozdíl ovšem prozatím nelze brát jako průkazný. Na čele břitové destičky nejsou pozorovatelné výrazné odchylky opotřebení, které jsou způsobené vlivem změny řezné rychlosti nástroje, dochází zde pouze k povrchovému opotřebení povlaku břitové destičky.




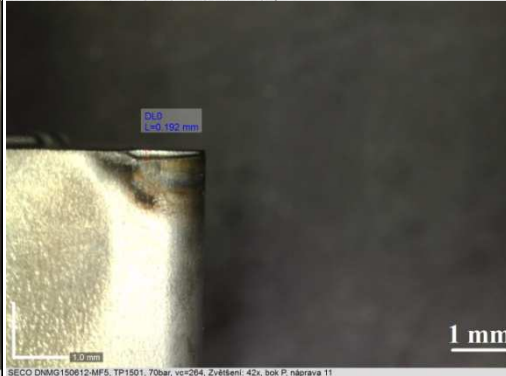
Tab. 29 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 1)

Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	240	264
Čelo VBD dráha 299,7 mm		
Hřbet VBD dráha 299,7 mm		

Během obrábění následujících vagónových náprav dochází k rozvíjení opotřebení hřbetu. Po obrobení celkem 11 náprav, což odpovídá dráze o délce 1798,2 mm, nabývalo opotřebení hřbetu při řezné rychlosti 240 m/min hodnoty 0,118 mm, jak lze vidět na snímku v Tab. 30. Při navýšení tohoto řezného parametru o 10 %, opotřebení břitové destičky již dosahovalo hodnoty 0,192 mm. Tento naměřený rozdíl mezi rozdílnými řeznými rychlostmi je nyní mnohem výraznější, než tomu bylo v případě obrobení první nápravy. Hodnota 0,192 mm opotřebení hřbetu nástroje při rychlosti 264 m/min odpovídá hodnotě naměřené po obrobení 22. nápravy, za stejných řezných podmínek v případě řezné rychlosti o 10% nižší. Je tedy zřejmé, že míra difference opotřebení vyměnitelné břitové

destičky se s časem, kdy se řezný nástroj nachází v řezu, zvyšuje a lze tak očekávat, že tato tendence bude nadále pokračovat. Na čele nástroje je již viditelný vzniklý výmol a také opotřebení v oblasti břitu nástroje, které je pravděpodobně způsobeno odcházející třískou při procesu obrábění. Geometrie špičky břitové destičky není nijak narušena žádnými vrypy nebo jakoukoliv deformací, z těchto důvodů je řezný nástroj v obou případech schopen pokračovat nadále v experimentu.


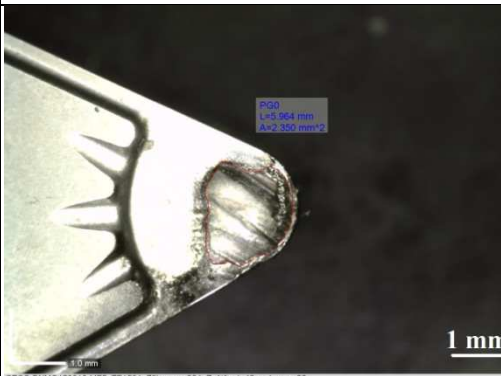

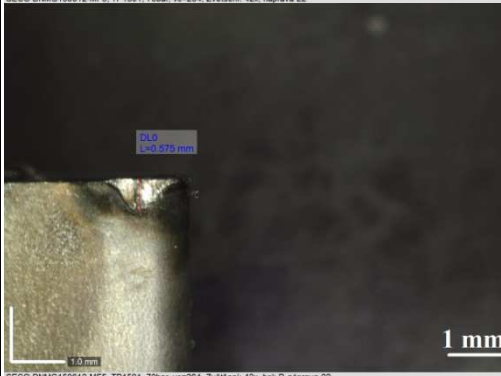
Tab.30 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 6)

Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	240	264
Čelo VBD dráha 1798,2 mm		
Hřbet VBD dráha 1798,2 mm		

V průběhu dalšího obrábění dochází k rozšiřování výmolu na čele břitové destičky. Na snímcích v Tab. 31 lze vidět stav výmolu po obrobení 22. nápravy, což se rovná dráze o délce 6593,4 mm. Při řezné rychlosti 240 m/min nabývá plocha výmolu na čele hodnoty  $1,13 \text{ mm}^2$ , což odpovídá 48% plochy výmolu na čele  $2,35 \text{ mm}^2$  při řezné rychlosti 264 m/min. Z pořízených snímků za pomoci digitálního mikroskopu je patrné, že hloubka výmolu při navýšení řezné rychlosti o 10 % je výrazně vyšší. V tomto případě došlo i k úplné deformaci utvařeče třísek. Po 25 minutách, kdy se řezný nástroj nacházel v řezu při řezné rychlosti 264 m/min, dosáhlo opotřebení hřbetu břitové destičky hodnoty 0,575 mm. V případě řezné rychlosti 240 m/min, kdy řezný nástroj odebral stejné množství

materiálu z obrobku, dosahovala hodnota opotřebení hřbetu pouze hodnoty 0,192 mm. Ze snímku je patrná deformace tvaru rádiusu špičky a také vrubového opotřebení na hlavním břitu. Z důvodu pravděpodobného přetížení břitu a následné destrukce špičky při dalším procesu obrábění bylo měření při řezné rychlosti 264 m/min ukončeno. V případě nižší řezné rychlosti je destička schopna pokračovat v obrábění dalších 4 náprav, aniž by se objevila závažná příčina vedoucí k ukončení měření. Z důvodu vyčerpání náprav typu 136.51, na kterých bylo prováděno měření, musel být tento experiment ukončen. Avšak z dostatečného množství naměřených dat je možno vyvodit výsledky tohoto měření.

Tab.31 Vyměnitelná břitová destička SECODNMG150612-MF5 (měření 22)

Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	240	264
Čelo VBD dráha 6593,4 mm		
Hřbet VBD dráha 6593,4 mm		

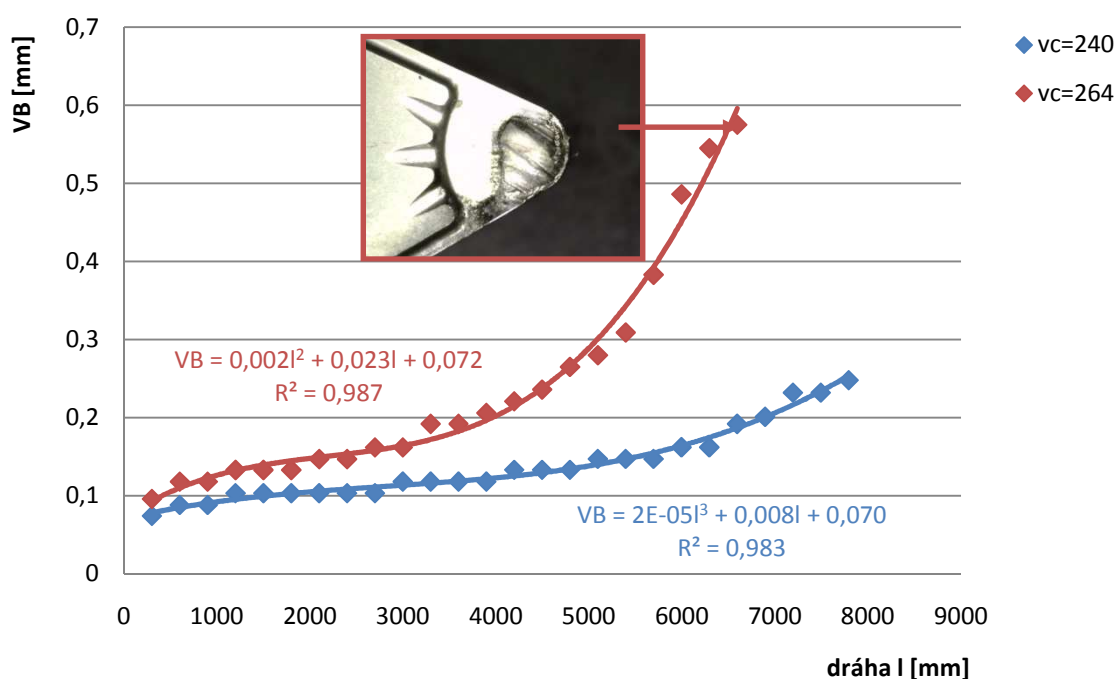
### Vyhodnocení měření

Graf, viz Obr. 43, zobrazuje závislost opotřebení hřbetu vyměnitelné břitové destičky na délce dráhy, kterou řezný nástroj obrábí na vagónové nápravě. Z tohoto grafického znázornění vývoje opotřebení hřbetu vyměnitelné břitové destičky během procesu soustružení je zřejmé, že zvýšení řezné rychlosti o 10 % má za následek dosahování vyšších naměřených hodnot tohoto kritéria. V počátečních fázích obrábění není



rozdíl opotřebení při odlišných řezných rychlost tak výrazný, jako tomu je v pozdějším stádiu procesu soustružení. Křivka průběhu vývoje opotřebení při rychlosti 240 m/min má pozvolný průběh po celou dobu měření. Z dříve uvedeného důvodu nebyly změřeny a zaznamenány hodnoty opotřebení v případě nižší řezné rychlosti. Ale s využitím vyzorovaného chování předešlých břitových destiček se dá předpokládat, že na konci životnosti řezného nástroje při těchto řezných podmínkách dojde rovněž k strmému nárůstu této křivky, obdobně jak tomu je u řezné rychlosti zvýšené o 10 %. V případě řezné rychlosti 264 m/min je průběh vývoje opotřebení hřbetu v prvotních fázích měření pozvolný, ovšem již po obrobení 13. nápravy, což odpovídá dráze o délce 3896,1 mm, dochází k strmějšímu nárůstu naměřených hodnot a difference mezi rozdílnými rychlostmi je již značná. V tomto bodě nastává strmý růst křivky závislosti opotřebení hřbetu na dráze. Během obrábění 18. nápravy dochází k výraznému nárůstu opotřebení hřbetu řezného nástroje a tato tendence dále vzrůstá až do momentu, kdy je měření ukončeno z důvodu deformace geometrie rádiusu špičky.

### Vliv řezné rychlosti na $VB=f(l)$

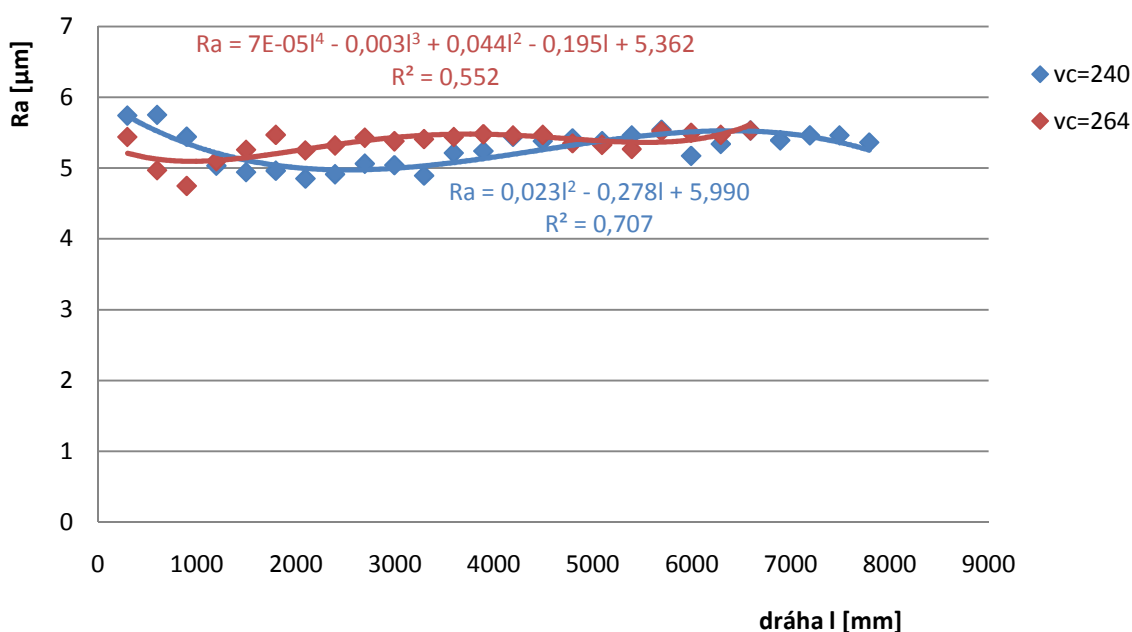


Obr. 43 Grafické znázornění závislosti  $VB$  kritéria na dráze  $l$

Pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-201 byl zaznamenáván vývoj dosahované drsnosti obrobené plochy v průběhu měření při dvou rozlišných řezných rychlostech. Jak lze pozorovat z grafického znázornění závislosti, viz Obr. 44, při navýšení řezné rychlosti o 10 % je v prvních fázích procesu obrábění dosahováno nižších hodnot drsnosti obrobené plochy, než je tomu při rychlosti 2240 m/min. V případě vyšších řezných parametrů dochází k rychlejšímu opotřebování vyměnitelné břitové destičky, což má za následek

zvyšování naměřené drsnosti povrchu. Řezná rychlost 240 m/min má za následek pozvolnější opotřebenění břitové destičky, z tohoto důvodu dochází k postupnému snižování naměřených hodnot drsnosti a následně po dosažení určitého bodu opotřebenění řezného nástroje k opětovnému navýšování drsnosti obrobenej plochy. V závěrečných fázích měření jsou diference křivek naměřených hodnot drsnosti obrobenej povrchu téměř totožné a v tomto momentě nelze pozorovat výrazný vliv řezné rychlosti na dosahovanou drsnost.

### Vliv řezné rychlosti na $Ra=f(l)$



Obr. 44 Grafické zobrazení závislosti drsnosti obrobenej plochy na dráze  $l$

V této části experimentu došlo k navýšení řezné rychlosti o 10 % původní hodnoty 240 m/min na hodnotu 264 m/min. Tato změna měla snížit čas potřebný k obrobenej části vagónové nápravy a to sedel určených k nalisování kol a taktěž sedel určených pro brzdové kotouče, které jsou rovněž na nápravu nalisované. Z důvodu předpokladu enormního snížení životnosti vyměnitelné břitové destičky v případě značného navýšení původní hodnoty řezné rychlosti, bylo zvoleno maximální možné navýšení o 10 %. Během měření bylo zjištěno, že navýšení řezné rychlosti o tuto hodnotu způsobuje předpokládaný strmý nárůst opotřebenění. Diference mezi jednotlivými naměřenými hodnotami je v pozdějších fázích obrábění i více než dvojnásobný. Tento strmý růst opotřebenění při řezné rychlosti 264 m/min, viz Tab. 32, má za následek také zkrácení životnosti řezného nástroje. Snížení času procesu obrábění sedel nápravy činilo pouhých 0,11 min. V Tab. 32 jsou zaznamenány veškeré naměřené hodnoty kritéria VB opotřebenění a taktěž naměřené drsnosti obrobenej ploch.

Tab. 32 Naměřené hodnoty

Řezná rychlost [m/min]		240			264		
Počet náprav [ks]	Dráha [mm]	Čas [min]	VB [mm]	Ra [μm]	Čas [min]	VB [mm]	Ra [μm]
1	299,7	1,25	0,074	5,74	1,14	0,096	5,44
2	599,4	2,50	0,088	5,75	2,28	0,118	4,97
3	899,1	3,75	0,088	5,44	3,42	0,118	4,75
4	1198,8	5,00	0,103	5,03	4,56	0,133	5,10
5	1498,5	6,25	0,103	4,94	5,70	0,133	5,26
6	1798,2	7,50	0,103	4,96	6,84	0,133	5,47
7	2097,9	8,75	0,103	4,85	7,98	0,147	5,25
8	2397,6	10,00	0,103	4,91	9,12	0,147	5,32
9	2697,3	11,25	0,103	5,06	10,26	0,162	5,43
10	2997	12,50	0,118	5,04	11,40	0,162	5,38
11	3296,7	13,75	0,118	4,89	12,54	0,192	5,41
12	3596,4	15,00	0,118	5,21	13,68	0,192	5,44
13	3896,1	16,25	0,118	5,24	14,82	0,206	5,48
14	4195,8	17,50	0,133	5,44	15,96	0,221	5,46
15	4495,5	18,75	0,133	5,38	17,10	0,236	5,47
16	4795,2	20,00	0,133	5,42	18,24	0,265	5,35
17	5094,9	21,25	0,147	5,38	19,38	0,28	5,33
18	5394,6	22,50	0,147	5,46	20,52	0,309	5,27
19	5694,3	23,75	0,147	5,54	21,66	0,383	5,52
20	5994	25,00	0,162	5,17	22,80	0,486	5,50
21	6293,7	26,25	0,162	5,34	23,94	0,545	5,47
22	6593,4	27,50	0,192	5,53	25,08	0,575	5,53
23	6893,1	28,75	0,201	5,39	26,22		
24	7192,8	30,00	0,232	5,46	27,36		
25	7492,5	31,25	0,232	5,46	28,50		
26	7792,2	32,50	0,248	5,36	29,64		

## 7 TECHNICKO-EKOMOMICKÉ HODNOCENÍ

Hlavním hlediskem při optimalizaci technologie procesu výroby je minimalizace výrobního času, který má významný vliv na zefektivnění výroby. Dochází tak k redukci výrobních nákladů, což je hlavním požadavkem společnosti. Doba procesu dokončování jedné nápravy činí průměrně 20 min, přičemž záleží na složitosti dané železniční nápravy. Za jednu hodinu je obsluha stroje schopna obrobit 2 ks, zbývající čas je vyhrazen k odstranění třísek z obrobeného povrchu, kontrole opotřebení řezných nástrojů, rozměru a drsnosti obrobeného povrchu. Také dochází k nahrazení nápravy za pomocí automatického dopravníku a následně upnutí hrubované nápravy mezi hroty CNC soustruhu. Během 12-ti.hodinové směny je tak obrobena v průměru 24 náprav. Při třech dokončovacích stanovištích podnik průměrně obrobí 4320 ks náprav za měsíc. Náklady na hodinový provoz obráběcího stroje značky DANOBAT s označením TCN-16-2T BC3000 bez DPH dosahuje 1707,8 Kč/hod. Minutová sazba tedy je 22,46 Kč. Hodinová mzda operátora CNC soustruhu je 212,08 Kč/hod, tedy 3,53 Kč/min [29].

Cena vyměnitelných břitových destiček společnosti Kennametal a WIDIA je 160 Kč/ks [30], přičemž cena řezné nástroje firmy SDECO TOOLS je 220 Kč/ks [31]. V experimentální části bylo zjištěno, že průměrný počet obrobených náprav na jednu VBD je 5 ks u prvních dvou zmíněných VBD u třetí z nich je to 8 ks. V případě 4320 ks obrobených náprav za měsíc dochází i přes větší pořizovací cenu břitové destičky SECO k úspoře 19 440 Kč za měsíc. Důvodem je menší spotřeba těchto VBD. Při posuzování vlivu tlaku provozní kapaliny na vývoj opotřebení a životnost vyměnitelné břitové destičky bylo dosaženo rozdílu 11 obrobených náprav při vyšším tlaku, což odpovídá 13,75 min. Při tlaku 70 barů řezné kapaliny tak dochází k úspoře času 550 min/měsíc, který je vyhrazen pro výměnu VBD. Výměna vyměnitelné břitové destičky trvá 2,5 minuty, u dvou supportu, kterými je CNC soustruh vybaven tak trvá celková výměna 5 min. Úspora, která je dosažena snížením počtu výměn vyměnitelných břitových destiček tak činí 17 594,5 Kč/měsíc a ročně tedy 211 134 Kč. Z výsledku porovnání opotřebení VBD během obrábění náprav, viz kapitola 6.1, byl vybrán jako nejoptimálnější z hlediska ekonomického i životnosti řezný nástroj firmy SECO TOOLS. V případě použití provozní kapaliny o tlaku 70 barů, dochází k úspoře 110 ks této VBD za měsíc, při ceně 220 Kč/ks [31] bez DPH úspora dosahuje 24 200 Kč za měsíc a roční úspora je 290 400 Kč. Celková roční úspora při tlaku chladicí kapaliny 70 barů tak činí 501 534 Kč.

Tab. 33 Jednotlivé náklady

Parametr	Jednotka	Hodnota
Strojní náklady	[Kč/hod]	1707,8
Mzda operátora CNC soustruhu	[Kč/hod]	212,08
VBD Kennametal DNMG150612MN KCP40	[Kč/ks]	160
VBD WIDIA DNMG150612FF WP15CT	[Kč/ks]	160
VBD SECO TOOLS DNMG150612-MF5 TP1501 (bez DPH)	[Kč/ks]	220

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřená na vývoj opotřebení vyměnitelné břitové destičky při procesu obrábění vagónové nápravy ve společnosti BONATRANS GROUP a.s. Cílem této práce je návrh jak dosáhnout vyšší životnosti řezného nástroje za účelem snížení výrobních nákladů. Ve společnosti BONATRANS GROUP a.s. byl pořízen moderní CNC soustruh DANOBAT s označením TCN-16-2T BC3000, který disponuje použitím vysokotlakého chlazení nástrojů při obrábění vagónových náprav. Tento stroj je svými parametry vhodný pro dokončovací operace při soustružení. Jedním z cílů experimentálních zkoušek bylo zjištění a ověření vlivu tlaku řezné kapaliny na životnost, vývoj opotřebení vyměnitelných břitových destiček a dosažení tak optimalizace řezného procesu.

V první řadě byla za pomoci provedených experimentálních zkoušek zvolena vyměnitelná břitová destička s neoptimálnějšími výsledky. Bylo zjištěno, že doposud používané VBD firmy Kennametal vykazují nižší životnost v porovnání s konkurenčním řezným nástrojem firmy SECO TOOLS a to o 36,8 %. Další posuzovaná břitová destička značky WIDIA dosahovala stejné životnosti jako Kennametal, ovšem naměřené hodnoty během měření opotřebení hřbetu dosahovaly nejvyšších hodnot ze všech zmíněných řezných nástrojů. Veškeré měření probíhalo při soustružení sedel náprav, určených k nalisování kol nebo samostatných brzdových kotoučů.

Následně došlo k samotnému posuzování vývoje opotřebení hřbetu řezného nástroje a jeho životnosti v závislosti na tlaku provozní kapaliny. Původním tlakem užívaným při obrábění železničních náprav byl tlak 10 barů, pro dosažení maximální možné difference naměřených hodnot a dokázání tak vlivu tlaku provozní kapaliny na vývoj opotřebení byl zvolen maximální možný tlak 70 barů. Při těchto experimentálních zkouškách byl měřen i vliv na dosahovanou drsnost obrobené plochy. Po vyhodnocení naměřených hodnot bylo zjištěno, že vyšší tlak zvyšuje životnost VBD SECO TOOLS o 40,7 %. Zvolený vyšší tlak má také vliv na dosahovanou drsnost a to především díky pozvolnějšímu opotřebování řezného nástroje, avšak tyto rozdíly nejsou nijak výrazné.

Na základě provedených testů lze doporučit pro daný proces obrábění VBD firmy SECO TOOLS a hodnotu tlaku řezné kapaliny 70 barů. Díky zvýšené životnosti vyměnitelných břitových destiček bude dosaženo roční úspory 501 534 Kč.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Náprava železničních vozů. *Vagóny* [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/naprava.html>
2. PSZENICA, Mateusz. *Wpływybranychparametrówobróbki na chropowatość powierzchni: przykładtoczeniaosikolejowych*. Gliwice, 2015. Projekt inženýrski. WydziałMechanicznyTechnologicznyPolitechnikaŚląska. Vedoucí práce Drinz. Mariola Jureczko.
3. ZIMA, Radim a Petr JANOŠ. *Dvojkolí: 50 let tradice výroby dvojkolí v Bohumíně, 50nejvýznamnějších projektů*. M-Press plus, s.r.o., 2012.
4. Kovárnanáprav. *BONATRANS* [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.bonatrans.cz/cs/vyrobni-proces/kovarna-naprav>
5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
6. HUMÁR. A. *Technologie obrábění - 1.část. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inž. Ústav strojírénksétech*. 2003, 138x [online] . [cit.2009-05-07]
7. FOREJT, Miloslav. *Morfologie vad a opot\_ebenípovlakovaných\_ezných nástroj\_: Diplomová práce*. Brno: Vysoké u\_ení technické v Brn\_, Fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.
8. FLODR, Vojtěch. *Testování řezných nástrojů povlakovaných nanokrystalickými povlaky*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v brně, Fakulta strojního nženýrství, 2009. s 68., příloh. Vedoucí práce do.Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.
9. DE VOS, Patrick. *Next Step - Obrobitelnost a vlastnosti obráběných materiálů*. [přednáška]. Brno Hotel ATLANTIS, a.s., březen 2015
10. PRAMET TOOLS, s.r.o., *Katalog Soustružení*. 2010 [cit. 2016-04-18]

11. DE VOS, Patrick, Jan-Eric STAHL, Miroslav PÍŠKA a Kateřina DUFKOVÁ. *Opotřebení rezných nástrojů - praktické zkušenosti: SecoTools AB*. Fagersta, Švédsko: Elanders, 2014.
12. Pramet tools, s.r.o. *Příručka obrábění CZ 2004*, 101 s. [cit. 2016-04-18].
13. *DANOBAT OFFER: TCN-16-2T BC3000*. Elgoibar, 2014.
14. Dino-Lite Specialist Illumination: AM413T-FVW. *Dino-Lite Digital Microscope: The Industry Standard* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20].  
Dostupné z: <http://www.dinolite-uk.com/index.php/accesoiries/item/20-am413t-fvw>
15. Scinet: AM413T-FVW-Dino-Lite. *Scinet* [online]. 2010 [cit. 2016-04-20].  
Dostupné z: <http://scinet.com.au/am413t-fvw-dino-lite-pro-whiteuv-led-handheld-digital-usb-microscope/>
16. *Dino-Lite: Digital Microscope* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20].  
Dostupné z: <http://www.dino-lite.cz/>
17. *WHP TECHNIK: Surf test SJ-210P* [online]. [cit. 2016-04-20].  
Dostupné z: <http://www.whp.cz/drsnomer-surf test-sj-210p.html>
18. *MM Průmyslové Spektrum: Přenosné drsnoměry* [online]. 2011 [cit. 2016-04-20].  
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prenosne-drsnomery.html>
19. *Yihuaxin: SJ-201 drsnoměr* [online]. 2011 [cit. 2016-04-20].  
Dostupné z: [http://www.yihuaxin.net/products\\_neiy.asp?id=230&](http://www.yihuaxin.net/products_neiy.asp?id=230&)
20. LAZAR, Martin. *VNO137.41.00EA4T: Náprava po soustružení načisto*. BONATRANS GROUP a.s. Bohumín, 2016.
21. LAZAR, Martin. *VNH136.51.00EA1N: Náprava po soustružení načisto*. BONATRANS GROUP a.s. Bohumín, 2016.

20. *Kennametal: A-11-02679 MasterCatstationary ISO ANSI inserts metric.pdf* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/Master%20Catalog%20-%20Metric%20Sections/A-11-02679\\_MasterCat\\_stationary\\_ISO\\_ANSI\\_inserts\\_metric.pdf](https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/Master%20Catalog%20-%20Metric%20Sections/A-11-02679_MasterCat_stationary_ISO_ANSI_inserts_metric.pdf)
23. *WIDIA: Master Catalog 2017 TurningSection, Metric* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.widia.com/content/dam/kennametal/widia/common/resources/downloads/literature/WIDIA%20Catalogs/WIDIA%20Master%20Catalog%202017/WIDIA%20Master%20Catalog%202017%20Sections/A-15-04580\\_Master17\\_Catalog\\_Turning\\_Metric.pdf](https://www.widia.com/content/dam/kennametal/widia/common/resources/downloads/literature/WIDIA%20Catalogs/WIDIA%20Master%20Catalog%202017/WIDIA%20Master%20Catalog%202017%20Sections/A-15-04580_Master17_Catalog_Turning_Metric.pdf)
24. POTÁCEL, Václav. *Písenné sdělení*. (2016-04-28)
25. *Soustružení: Katalog a technický průvodce 2015*. 2014. Elanders.
26. ISO/ANSI CarbideInserts. *WIDIA* [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.widia.com/en/products/30196349/64466767/64481529/64485532/50749871/100005570.html>
27. ISO CarbideInserts. *KENNAMETAL* [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.kennametal.com/en/products/20478624/47535256/63745063/63745065/63840303/63840318/55761683/100002380.html>
28. *KYOCERA: CA5 Series*.
29. STODOLA, Tomáš. *Ústní sdělení*. (2016-03-14)
30. BRADÁČ, Pavel. *Písenné sdělení*. (2016-05-18)
31. MATĚJÍČEK, Jan. *Písenné sdělení*. (2016-05-11)



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	ComputerNumericalControl
CVD	[-]	ChemicalVaporDeposition
DPH	[-]	Daň z přidané hodnoty
NC	[-]	NumericalControl
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
$A_5$	[%]	Poměrné prodloužení v procentech počáteční délky
$H_{obr}$	[-]	Tvrдость nástrojového materiálu
$H_{SK}$	[-]	Tvrдость obráběného materiálu
KT	[mm]	Hloubka výmolu
$R_a$	[ $\mu$ m]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
$R_{eH}$	[MPa]	Horní mez kluzu
$R_m$	[MPa]	Mez kluzu
VB	[mm]	Opotřebenění hřbetu
$VB_B$	[mm]	Průměrné opotřebenění hřbetu
$VB_{max}$	[mm]	Maximální opotřebenění hřbetu
$a_p$	[mm]	Šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv
$f_{BK}$	[mm]	Posuv na sedle brzdového kotouče
$f_{SK}$	[mm]	Posuv na sedle kola
l	[mm]	Dráha řezného nástroje
n	[ $min^{-1}$ ]	Počet otáček vřetene za minutu

<b>p</b>	[bar]	Tlak chladící kapaliny
<b>v<sub>c</sub></b>	[m·min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost

