

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie  
obrábění

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Trvanlivost brusných kotoučů při rovinném broušení na dvoukotoučové  
brusce Stähli

Autor: **Bc. Miroslav Tomek**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Zetek, Ph.D**

Akademický rok 2012/2013

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....  
**podpis autora**

## **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Tomek	Jméno Miroslav	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zetek, Ph.D	Jméno Miroslav	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Trvanlivost brusných kotoučů při rovinném broušení na dvoukotoučové brusce Stähli		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>		<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>		<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	
---------------	--	---------------------	--	--------------------------	--

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)  ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce se zabývá problematikou rovinného broušení na dvoukotoučové brusce. Cílem bylo zvýšení životnosti brusných kotoučů a vylepšení výrobního procesu. Na závěr jsou uvedeny ekonomické přínosy této diplomové práce.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Oboustranné rovinné broušení, životnost brusných kotoučů, geometrie a specifické vlastnosti brusných kotoučů, ekonomické hodnocení

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Tomek	<b>Name</b> Miroslav	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2303T004 “ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Zetek, Ph.D	<b>Name</b> Miroslav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Durability grinding wheels for surface grinding on double disc grinding machine Stähli		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>		<b>TEXT PART</b>		<b>GRAPHICAL PART</b>	
----------------	--	------------------	--	-----------------------	--

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This diploma sheet deals with the problem of surface grinding on double disc grinder. The aim was to increase the service life of grinding wheels and the enhancement of the production process. Finally the economic benefits of this diploma sheet.
<b>KEY WORDS</b>	Double-sided surface grinding, grinding wheel life, geometry and specific properties of grinding wheels, economic evaluation

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D a Ing. Josefu Narovcovi za odbornou pomoc, vedení při vypracování mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat firmě Kern-Liebers, za poskytnuté podklady k vypracování diplomové práce.

## Obsah

Obsah.....	6
1 Úvod.....	8
1.1 Historie firmy Kern-Liebers s.r.o.....	9
2 Rozbor současného stavu .....	10
2.1 Teorie Broušení .....	10
2.1.1 Mechanismus tvorby třísky při broušení.....	11
2.1.2 Rozdělení broušení.....	12
2.1.3 Brusné kotouče.....	13
2.2 Oboustranné rovinné broušení .....	15
2.2.1 Dvoustoučková bruska Stähli .....	17
2.2.2 Ovlivňující faktory při rovinném broušení.....	19
2.2.3 Potřebný výkon při rovinném broušení.....	20
2.2.4 Rozměrové nepřesnosti způsobené ohřátím kotoučů.....	21
2.3 Brusné kotouče.....	22
2.3.1 Konstrukce kotoučů pro rovinné broušení .....	22
2.3.2 Značení kotoučů .....	23
2.3.3 Zrnitost .....	23
2.3.4 Koncentrace.....	24
2.3.5 Vazby .....	24
2.3.6 Opatření během pracovního procesu.....	25
2.3.7 Samoostření pracovních kotoučů .....	25
2.3.8 Orovnávací a ostřicí prostředky .....	27
2.3.9 Vliv specifického tlaku.....	29
2.3.10 Vliv směru otáčení .....	30
2.3.11 Trajektorie při rovinném broušení.....	32
2.4 Udržení rovinnosti pracovních kotoučů .....	33
2.4.1 Směrné hodnoty pro pracovní kotouče z diamantu nebo KBN.....	33
2.4.2 Měření axiálního házení pomocí číselníkového indikátoru .....	33
2.4.3 Měření rovinnosti pomocí průměrného pravítka.....	34
3 Návrh a realizace vlastního řešení.....	35
3.1 Úprava specifikace brusných segmentů .....	37
3.1.1 Starší specifikace brusných segmentů od firmy Tesch .....	38
3.1.2 Vylepšená specifikace brusných segmentů od firmy Tesch.....	39
3.2 Rovinnost brusných kotoučů.....	40
3.2.1 Měření a vyhodnocení rovinnosti.....	40
3.2.2 Orovnávání brusných kotoučů .....	43
3.3 Poškození brusných segmentů .....	45
3.3.1 Minimalizace poškození brusných segmentů.....	48
4 Vyhodnocení získaných výsledků.....	49
4.1 Vyhodnocení změny specifikace materiálu.....	49
4.2 Vyhodnocení výsledků při měření rovinnosti brusného kotouče.....	51
4.3 Vyhodnocení poškození brusných segmentů .....	52
5 Ekonomické přínosy.....	54
5.1 Ekonomické vyhodnocení amortizace brusných kotoučů.....	54
5.1.1 Období 01/2012 – 03/2012.....	55
5.1.2 Období 04/2012 – 06/2012.....	56
5.1.3 Období 07/2012 – 09/2012.....	57

5.1.4	Období 10/2012 – 11/2012.....	58
5.2	Finanční úspora vlastního návrhu .....	59
5.2.1	Porovnání celkových zisků v sledovaném období .....	60
5.3	Návrh zvětšení tloušťky KBN segmentů na brusce Stähli .....	61
5.3.1	Varianta A (současná) .....	61
5.3.2	Varianta B (návrh na zlepšení).....	62
6	Závěr.....	63
	Seznam použité literatury:.....	64

# 1 Úvod

Diplomová práce se bude zabývat životností brusných kotoučů při rovinném broušení na dvoukotoučové brusce Stähli. Cílem této diplomové práce bude analýza možných příčin kolísání životnosti brusných segmentů. Tato analýza byla prováděna ve firmě Kern-Liebers CR s.r.o., která souhlasila a poskytla mi všechny data pro vytvoření mé diplomové práce.

Tato diplomová práce je rozdělena do šesti kapitol, na konci je seznam použité literatury a výkresy společně s ostatními dokumenty.

V úvodní kapitole je popsán cíl diplomové práce a představení firmy, pro kterou by měla tato práce přinést užitek.

Následující kapitola se zabývá teorií broušení, oboustranným rovinným broušením, pak značením brusných kotoučů a na konec rovinností brusných kotoučů.

V třetí kapitole je naznačen návrh a realizace vlastního zlepšení životnosti brusných kotoučů a výrobního procesu.

Čtvrtá kapitola se zaměřuje na vyhodnocení jednotlivých zlepšení, které jsou uvedeny a popsány v třetí kapitole.

Pátá kapitola obsahuje ekonomické přínosy vlastního experimentu a další vývoj ve snižování pořizovacích nákladů na brusné kotouče.

V poslední kapitole je provedeno závěrečné zhodnocení všech výsledků této diplomové práce.



## 1.1 Historie firmy Kern-Liebers s.r.o.

Společnost Kern-Liebers datuje své počátky již od roku 1888, kdy byla založena v Německu. V České republice začala společnost působit jako Kern-Liebers CR s.r.o. od roku 1994 výstavbou své pobočky v Českých Budějovicích. Zde zahájila jak výrobu, tak i montáž pružinových mechanismů, převážně mechanismů určených k bezpečnostním pásům v automobilech. Se zdokonalováním výrobních procesů a neustálým vývojem rostla poptávka a v roce 1999 pobočka díky podpoře mateřské firmy rozšířila nabídku o přesně stříhané díly. S rozšiřováním výroby vzrostly i požadavky na prostory výrobní haly. Nový objekt společnosti byl dokončen v roce 2002. S novou výrobní halou o rozloze 12 093 [m<sup>2</sup>] bylo naplno zavedeno oddělení tepelného zpracování pro vyrobené díly, ale i pro zakázkové tepelné zpracování.

V roce 2003 přibýlo i oddělení nástrojárny za účelem plnění náročných termínů dodání produktů. Ke konci roku 2007 (tj. před příchodem tzv. „finanční krize“) měla pobočka Kern-Liebers v Českých Budějovicích 375 zaměstnanců a za období 2007/2008 činil obrát 773 mil. Kč. Svou produkci firma produkuje do celého světa. Všichni zaměstnanci mají možnosti sebevzdělávání, například v cizím jazyce. Firma má zavedené systémy jako systém řízení jakosti, systém ochrany životního prostředí či systém bezpečnosti práce.



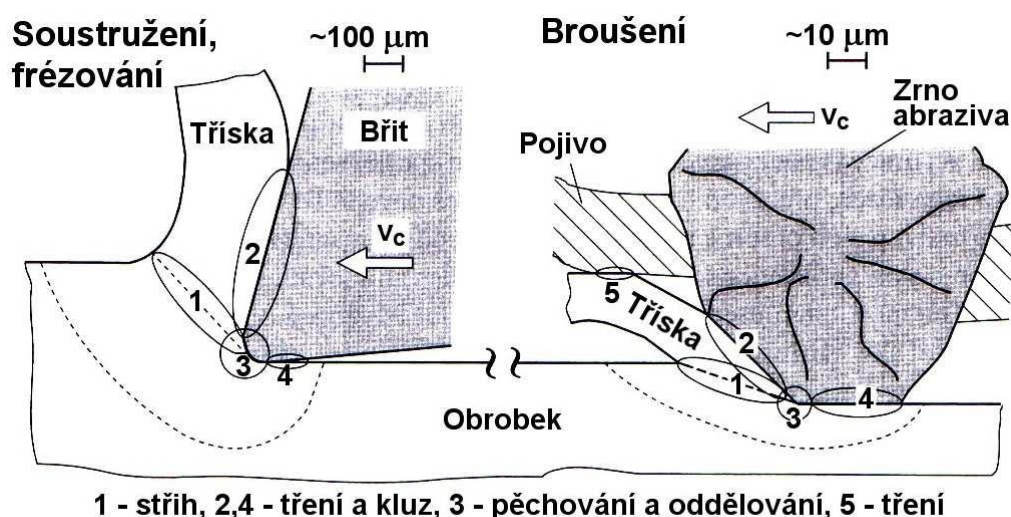
**Obr. 1-1** Budova firmy Kern-Liebers s.r.o. v Českých Budějovicích [7]

## 2 Rozbor současného stavu

### 2.1 Teorie Broušení

Broušení patří spolu s honováním, lapováním a superfinišováním k abrazivním metodám obrábění. Abrazivní metody jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií. Při broušení vzniká tříška (viz obrázek č.2-1) a jde tedy o metodu třískového obrábění. Z historického hlediska se jedná o jednu z nejstarších metod obrábění materiálu, kterou lidé využívali k ostření nástrojů a jiných pomůcek k životu.

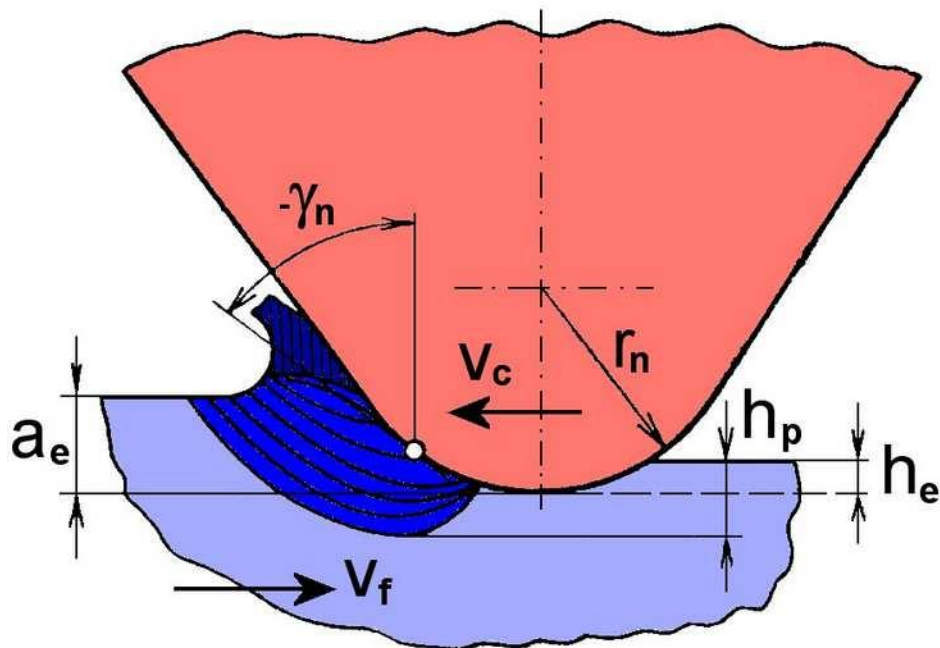
Dnes patří broušení k hlavním dokončovacím metodám obrábění. Touto dokončovací metodou lze dosáhnout přesnějších rozměrů a vysoké kvality povrchu. Broušením lze dále dělit nebo obrábět těžko obrobitelné materiály a ostřit nástroje. Brousí se rovinné, válcové, tvarové plochy jak vnější tak vnitřní. Tato metoda, při použití rotačního nástroje, je velice blízká frézování, od kterého se nejvíce liší nástrojem. Nástrojem k broušení je mnohabřitý rotační kotouč, který vykonává hlavní řezný pohyb. Je složený z jednotlivých brusných zrn spojených pojivem, viz níže. Jednotlivá zrna mají různé tvary a různé řezné úhly – nedefinovaná geometrie. Při broušení je v záběru velké množství zrn-břitů a tím, že dochází ke tření mezi obráběným materiálem a brusnými zrny za vysokých řezných rychlostí, vznikají vysoké teploty, které nutí k dostatečnému chlazení. [9]



Obr. 2-1 Schematické porovnání vzniku tříšky a deformačních oblastí při soustružení, frézování a broušení [9]

### 2.1.1 Mechanismus tvorby třísky při broušení

Tvoření třísky při broušení je ovlivňováno povrchem brousícího kotouče. Po celém povrchu jsou různá zrna s různou geometrií, což způsobuje proměnlivost odřezávané hloubky. Dalším činitelem je ohřev materiálu v místě obrábění. [9]

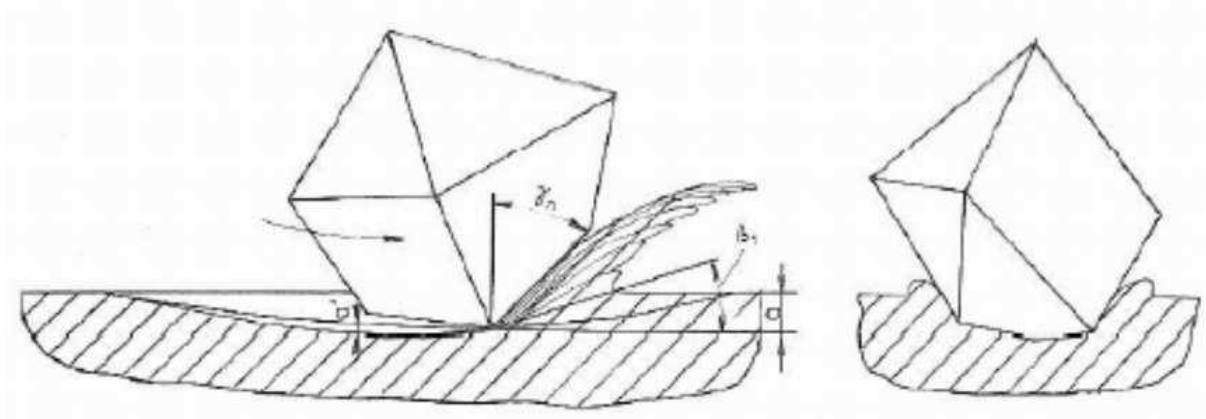


Obr. 2-2 Schematické znázornění vzniku třísky s označenými základními parametry [9]

V obrázku č.2-2 je znázorněn  $\gamma_n$  (normální úhel ostří),  $r_n$  (poloměr zaoblení ostří),  $h_p$  (vrstva ovlivněná plastickou deformací) a  $h_e$  (vrstva ovlivněná pružnou deformací). [9]

Při tvorbě třísky probíhají tři procesy. Pružná a plastická deformace a samotné oddělení třísky. Tyto procesy probíhají s každým brusným zrnem, které odebírá materiál. Přesné informace o tvorbě třísky při broušení lze stejně jako u jiného třískového obrábění zkoumat pomocí experimentálních metod. Brousící zrna, která jsou všeobecně orientovaná, tvoří v záběru plynulou třísku. Mez plastické deformace, která je ohraničená úhlem  $\beta$ , viz obrázek č.2-3, odděluje nedeformovanou část od třísky. U třísky dochází ke značné plastické deformaci. Velikost deformace ovlivňují jednotlivá zrna, jejich tvar, poloha a tření mezi obráběným materiálem a brusným kotoučem.

Při tvorbě třísky ve směru obrábění, dochází i k deformaci materiálu v příčném směru. Povrch broušené plochy je pokryt soustavou rýh po brousících zrnech a stopami po plastické deformaci v příčném směru. Velké plastické deformace a tření způsobují vznik vysokých teplot. Třísky se pak často ohřejí k tavné teplotě a vytvoří kapky nebo shoří. Hoření třísek je viditelné ve formě jisker, z kterých jde odhadnout přítomnost některých prvků v obráběném materiálu na základě tvaru a barvě jisker. [9]



Obr. 2-3 Schematické znázornění brusného zrna v záběru z bočního a předního pohledu [9]

### 2.1.2 Rozdělení broušení

- podle typu broušení (rovinné, rotační a tvarové)
- podle broušených ploch daným typem broušení (*rotační* - vnější a vnitřní, *rovinné* - obvodem a čelem, *tvarové* - speciální, závity a ozubená kola)
- podle typu brusky (hrotové, bezhroté, na díry, rovinné, nástrojové, speciální)

### 2.1.3 Brusné kotouče

Brusný kotouč je tvořen směsí **brusiva** a **pojiva** zformované do požadovaného tvaru. Důležitým faktorem je tvar kotouče (např. plochý, jednostranně a oboustranně kuželový, zkosený, prstencový, brousící tělíska) a jeho rozměry (např. průměry a šířky). [9]

#### 2.1.3.1 Brusivo

Brusivo je řeznou složkou kotouče, která se skládá z jednotlivých brusných zrn. Zrna mohou být volně rozptýlena např. v oleji, tak vznikají lapovací nebo leštící pasty a prášky. Dále mohou být zrna nalepená na papírech – smirkové papíry, nebo smirková plátna. V případě brusných kotoučů jsou zrna spojena pojivem. Tvrdost kotouče je dána pojivem. V případě např. řezných kotoučů se užívají skelná vlákna k vyztužení. [9]

#### *Různé příklady brusiv:*

- **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – umělý korund**  
použití – broušení ocelí, ocelí na odlitky, temperované litiny a bronzů
- **B<sub>4</sub>C – karbid boru**  
použití – broušení průvlaků, výroba lapovacích past, broušení drahokamů
- **N<sub>2</sub>B<sub>3</sub> – kubický nitrid boru**  
použití – broušení materiálu s vysokou tvrdostí
- **SiC – karbid křemíku**  
použití – broušení šedé a bílé litiny, mědi, hliníku a měkkého bronzu
- **Umělý Diamant**  
použití – broušení slinutých karbidů, skla, keramiky, titanových slitin

#### 2.1.3.2 Pojivo

Jednotlivá brusná zrna jsou mezi sebou spojena pojivem, které mezi zrny vytváří tzv. můstky. Pojivo má vliv na tvrdost kotouče a zároveň ovlivňuje tzv. samo ostřicí schopnost kotouče. Výběr pojiva je důležitý, aby se můstek mezi otupeným zrnem a zrny ostatními přerušil a otupené zrno odpadlo. Tím vzniká nový povrch s ostrým zrnem. Výběr pojiva je tedy závislý na tvrdosti zrna a jeho rychlosti otupení. [9]

### Základní rozdělení pojiva :

- **organická** – pryž (používá se pro řezné a leštící kotouče)
  - umělé pryskyřice (používá se pro vysoce výkonné řezné kotouče)
- **anorganická** – keramická (nejvíce využívaná, různé stupně tvrdosti kotoučů)
  - magnezitová (používá se pro ostření nástrojů)
  - silikátová (používá se pro broušení nástrojů s tenkým ostřím a broušení obrobků s velkou styk. plochou mezi obrobkem a nástrojem)

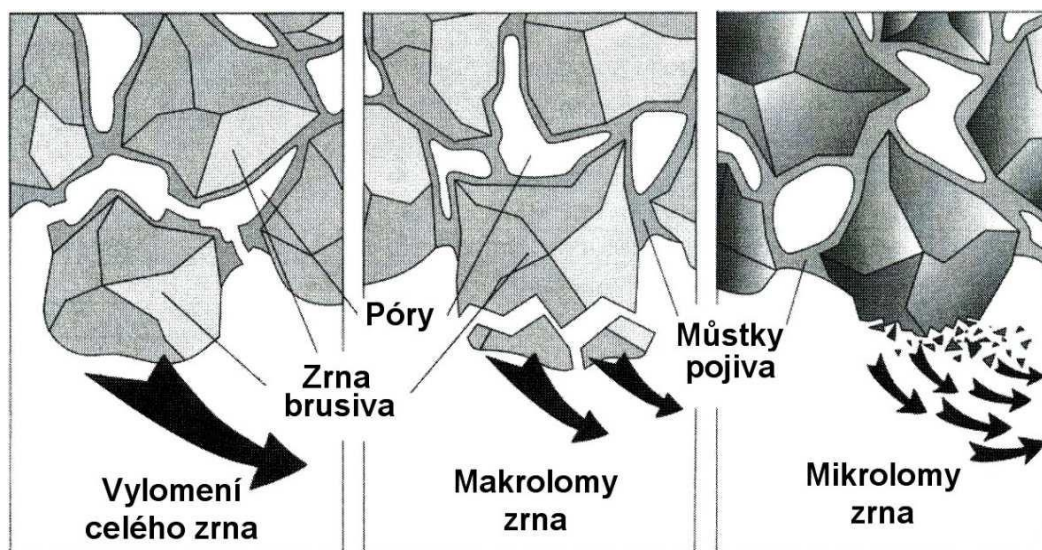
### 2.1.3.3 Zrnitost

Volí se dle předepsané drsnosti povrchu. Je určena měrným rozměrem zrna. [9]

- *hrubé zrno* - velké úběry materiálu, velké styčné plochy mezi obrobkem a nástrojem a velké řezné rychlosti
- *jemné zrno* - menší drsnosti povrchu

### 2.1.3.4 Tvrdost

Tvrdost je dána pojivem. Měkké pojivo se snadněji drolí a kotouč se tak sám ostří. Naopak tvrdé pojivo drží jednotlivá zrna velice pevně. Pro tvrdé materiály se volí měkkí kotouče. Pro měkké materiály se volí tvrdší kotouče. Tvrdost kotoučů se značí písmeny E – Z.



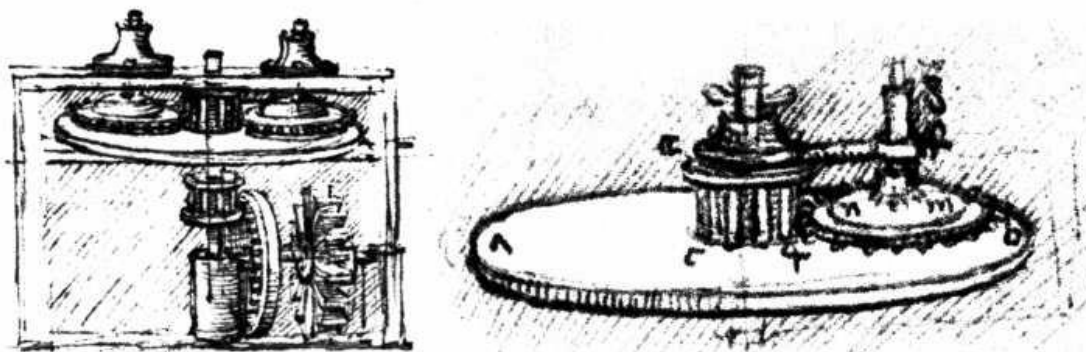
Obr. 2-4 Schematické znázornění vzniku ostrých hran (samoostření) [9]

### 2.1.3.5 Struktura

Je dána poměrem objemu brusiva, pojiva a pórů v kotouči. Značí se čísly 1 – 12 (1 = velmi hutná struktura, 12 = velmi pórovitá struktura). Pro tvrdý a křehký materiál je vhodná hutná struktura. Pro houževnatý materiál je vhodná pórovitá struktura. [9]

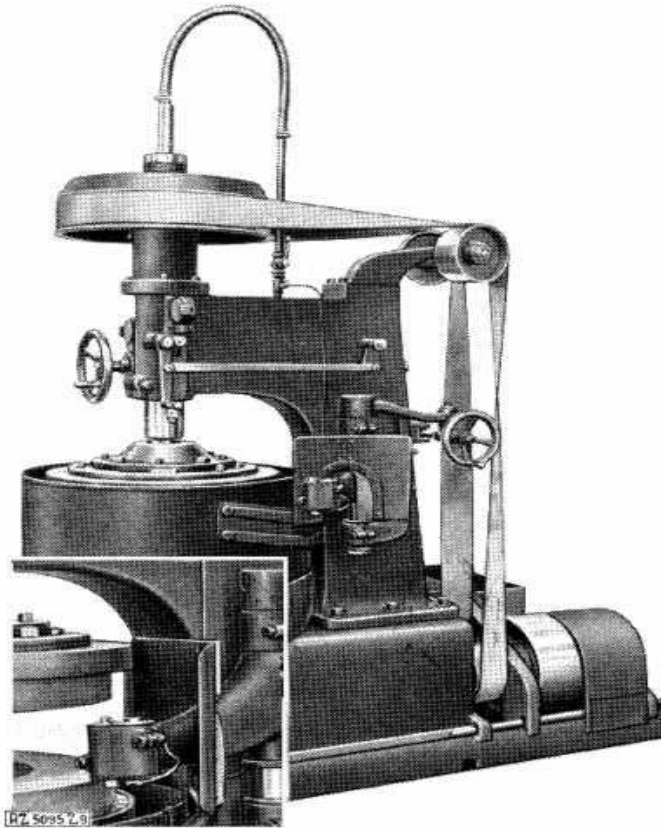
## 2.2 Oboustranné rovinné broušení

Touto problematikou se zabýval již v 15. století Leonardo da Vinci. Samozřejmě že v těchto dobách se ještě nemohlo jednat o stroj ve smyslu který známe dnes, ale šlo především o vytvoření principu tohoto typu broušení a lapování.



Obr. 2-5 Náčrt planetového broušení Leonarda Da Vinciho [10]

Oboustranné rovinné broušení je úzce spjato s technologií lapování-superfinašování. V 30. letech minulého století začínají vznikat dvoukotoučové lapovací stroje se svislou osou lapovacích kotoučů. Na obrázku č.2-6 je zobrazen jeden z prvních strojů vedoucích k vývoji dnešních dvoukotoučových strojů se svislou osou. Již v roce 1932 byly místo původních lapovacích kotoučů na základě požadavků spojených se zvýšením produktivity a kvality z hlediska rovinnosti, použity na stejném stroji brusné kotouče. Povrch obrobků však tehdy nebyl tak kvalitní. Díky tomu se začínala řešit kinematika broušených dílů a vzniká planetové broušení. Planetové broušení vytváří na povrchu obrobku nespočet rýh, které se však překrývají a vzniká tak kvalitnější povrch. Planetové broušení rovinných dílů nenahrazuje metodu lapování, planetový pohyb ale vytváří kvalitní povrch z hlediska drsnosti a navíc oboustranným broušením se dosahuje vysokých přesností z hlediska rovinnosti. [10]



**Obr. 2-6** Dobová fotografie jednoho z prvních lapovacích a brousicích strojů [10]

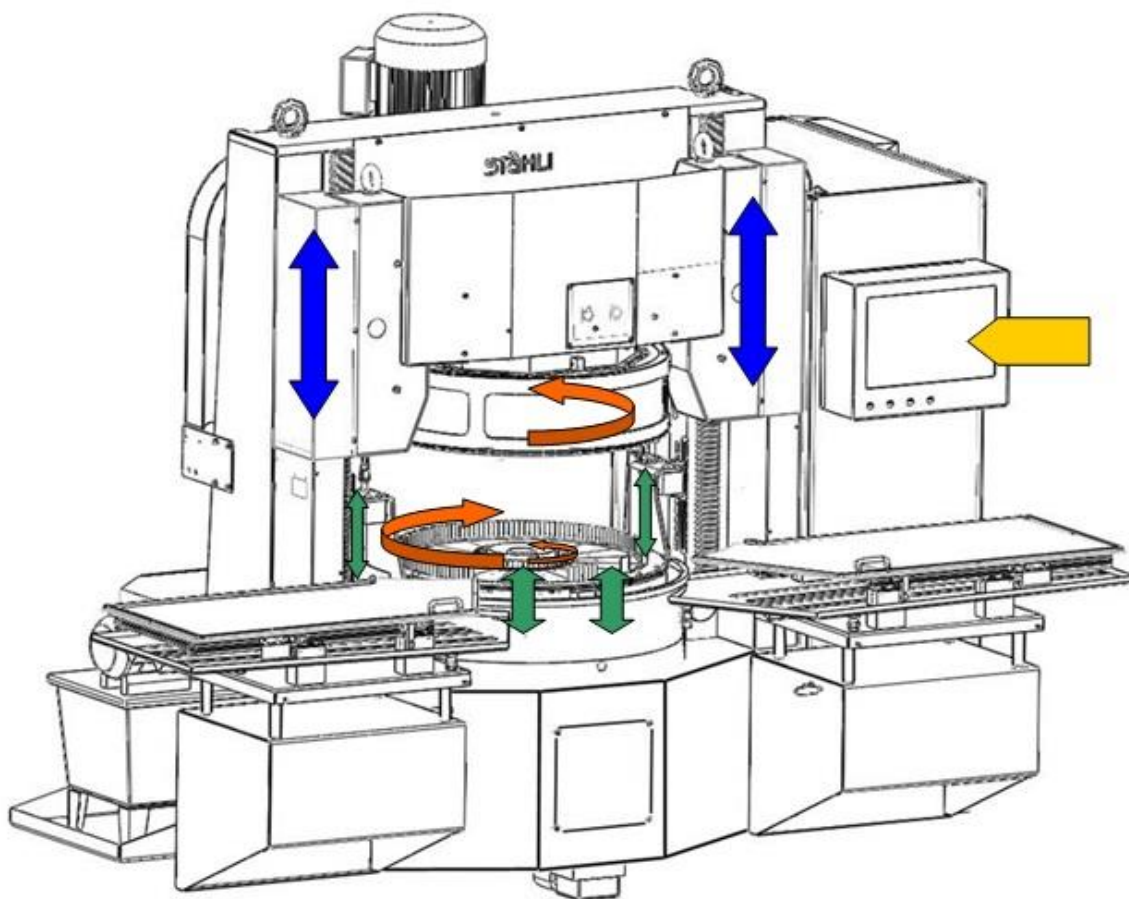
Velkou výhodou oboustranného broušení na dvoukotoučových bruskách je možnost výroby dílů s vysokou přesností na rovinnost a rovnoběžnost. Výroba rovinných dílů oboustranným broušením na moderních strojích přináší i možnosti výroby rozměrů v tolerancích tloušťky až 1 [μm]. Kromě výhod spojených s rozměrovou přesností, je nesporná výhoda v možnosti obrábění více dílů při jednom procesu, jehož doba trvání se výrazně zkracuje automatickým vkládáním dílů a automatickým řízením broušícího cyklu. Vzhledem k tomu, že nastavení stroje a programu na daný broušený díl je časově náročné, jsou dvoukotoučové brusky vhodné pouze do sériové a velkosériové výroby. [10]



### 2.2.1 Dvoukotoučová bruska Stähli

#### *Funkční princip:*

- Řízení se skládá z průmyslového počítače s jednotkou Siemens S700 SPS (řízení s programovatelnou pamětí)
- Dva hydraulické válce jsou určeny pro pohyb traverzy a řídí nárůst tlaku během procesu.
- Dva pracovní kotouče a střední kolíkový věnec jsou poháněny samostatnými motory.
- Nakládací, vykládací segmenty a vnější kolíkový věnec se aktivují pneumatickými válci.



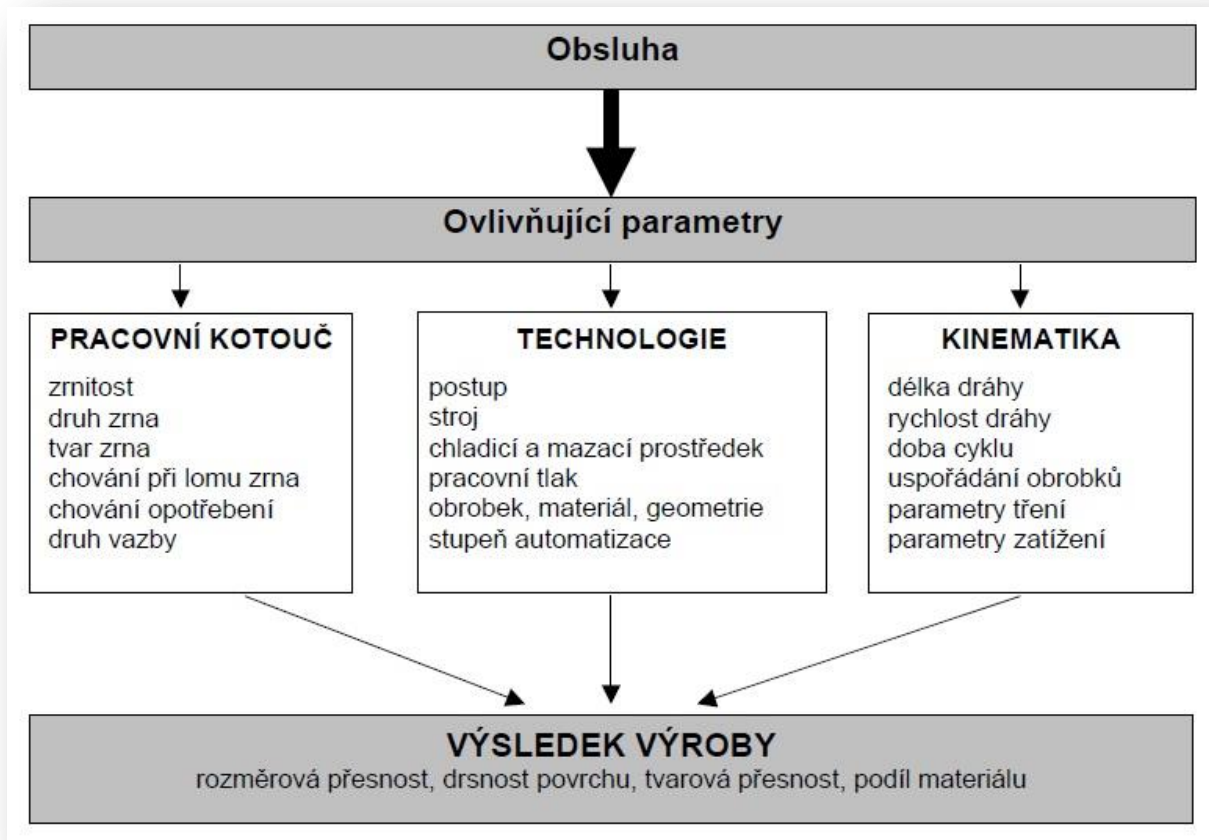
Obr. 2-7 Funkční princip brusky Stähli [8]



**Obr. 2-8** Fotografie základního typu brusky Stähli DLM 705 [8]

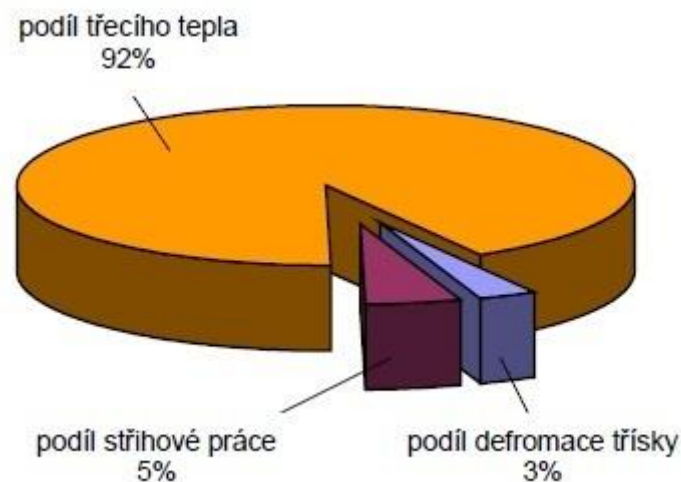
### 2.2.2 Ovlivňující faktory při rovinném broušení

Jako u mnoha druhů obrábění, mají také při rovinném broušení zčásti podstatný vliv na konečný výsledek mnohé různé parametry.



Obr. 2-9 Ovlivňující faktory při rovinném broušení [8]

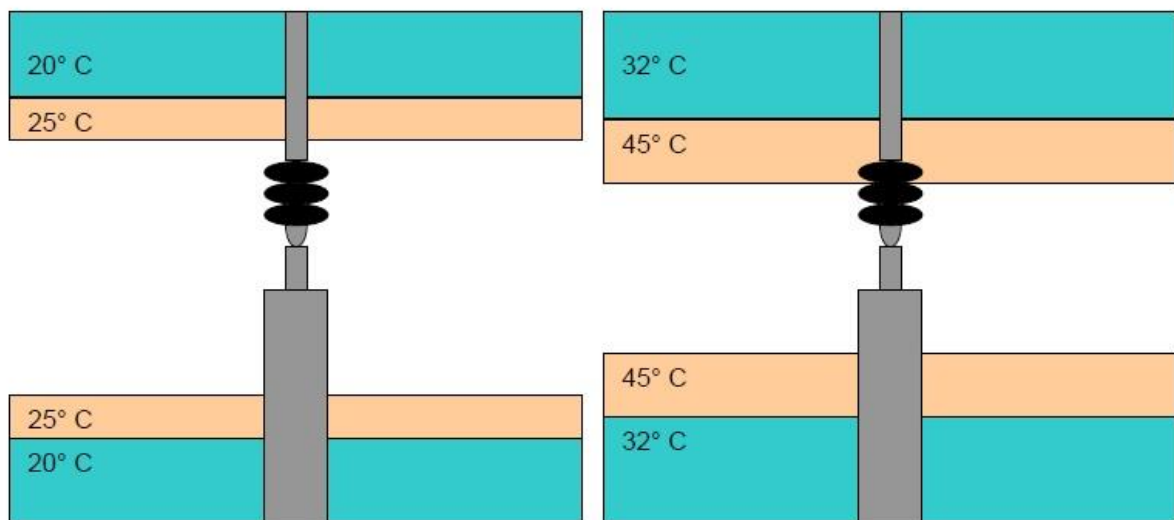
### 2.2.3 Potřebný výkon při rovinném broušení



Obr. 2-10 Potřebný výkon při broušení [8]

- Asi 90-92% potřebného výkonu se přemění na teplo v důsledku tření, mačkání a deformace. Stříhová práce a pýchování třísky spotřebují zbytek výkonu.
- Tření vzniká v první řadě mezi třískou a řeznou hranou zrna, ale také u úhlu hřbetu.
- Mnohé řezné hrany zrn jsou pro tvorbu třísek nevhodné kvůli jejich tvaru a poloze. Proto pouze tlačí a ořou na povrchu obrobku.
- Potřebný výkon závisí na procesních podmínkách. Pomocí dobře mazacího chladicího prostředku je možné tento výkon velmi silně snížit. [8]

## 2.2.4 Rozměrové nepřesnosti způsobené ohřátím kotoučů



**Obr. 2-11** Ohřátí brusných kotoučů při broušení [8]

Oba obrázky znázorňují pracovní kotouče, které se skládají ze základního tělesa a z diamantového povlaku nebo povlaku z KBN. Je zřetelné, že při vzrůstající teplotě se obrobek zmenšuje, případně se musí tepelná roztažnost kompenzovat pomocí korekční hodnoty.

Při nadměrném ohřátí pracovních kotoučů může, kromě rozměrových nepřesností, dojít k deformaci kotoučů (deformace geometrie) změnou pojící struktury.

Aby se tento vliv podstatně eliminoval, vybavují se stroje chlazením základových desek. Tímto způsobem může být teplota kotoučů udržována konstantní.

Tepelná roztažnost je u různých kotoučů rozdílná, jelikož se pro základová tělesa používají různé materiály a vazba zrn. [8]

Voda má ve srovnání s olejem dvakrát vyšší tepelnou kapacitu a pětikrát lepší tepelnou vodivost, proto lépe chladí. Při rovinném broušení se normálně nedosahuje velmi vysokých teplot, ale byly již provedeny první kroky v broušení vysokou rychlostí, kde je nutno počítat se zvýšenými teplotami. Voda se vypařuje již při 100°C, proto nemůže být použita pro vysokorychlostní procesy. [8]

Mazání olejem		Mazání vodou	
Výhody	Nevýhody	Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimální ochrana proti korozi, šetří stroj</li> <li>- Menší opotřebení kotoučů</li> <li>- Vyšší objem za čas</li> <li>- Jemnější hodnota Ra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Díly hydrodynamicky prokluzují spíše</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dobré chlazení</li> <li>- Drsnější kotouč</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Napadá prvky stroje. Škody na laku a koroze</li> </ul>

Tab. 2-1 Vlastnosti různých druhů chlazení brusných kotoučů [8]

## 2.3 Brusné kotouče

### 2.3.1 Konstrukce kotoučů pro rovinné broušení

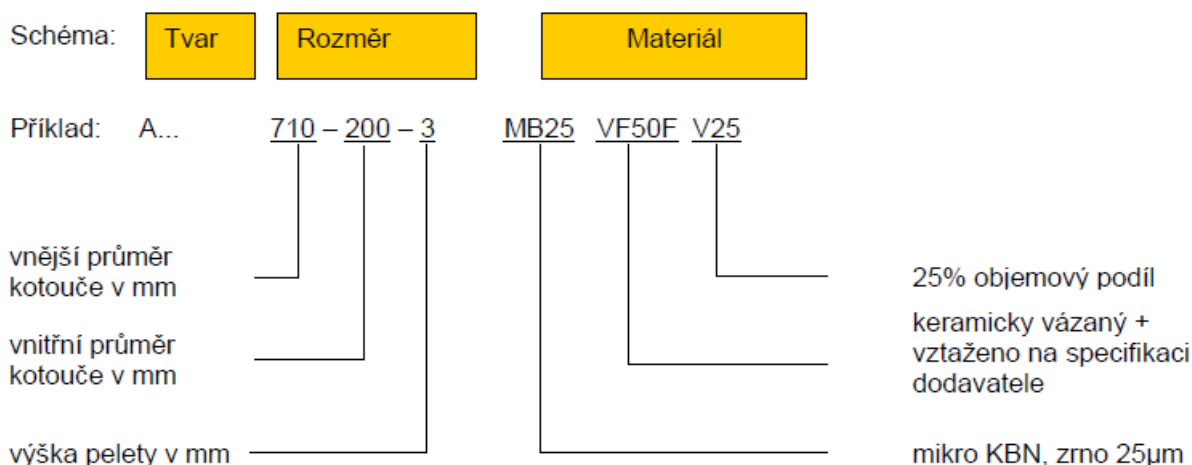
Používané kotouče se skládají ze základového tělesa z oceli, polymerního betonu nebo hliníku. Na základovém tělese je diamantový povlak nebo povlak z KBN. [8]

	Diamant	KBN
Výskyt v přírodě	ano	ne
Výchozí materiál	grafit, černý, měkký	bornitrid, bílý, měkký
Proces přeměny	p=70 -120 kbarů T = 1550 -2500°C	p=50 -90 kbarů T = 1550 -2600°C
Chemické složení	uhlík C	BN bor a dusík)
Kryst. struktura	kubická	kubická
Hustota	3520 kg/m <sup>3</sup>	3480 kg/m <sup>3</sup>
Mikrotvrdost	7000 Kg/mm <sup>2</sup>	4700 Kg/mm <sup>2</sup>
Teplotní chování	přeměna mřížky od 700-900°C	mřížka stabilní až do 1400°C
	sklon k difúzi u ocelí od 700°	žádné chem. opotřebení
Tepečná vodivost	velmi vysoká	vysoká

Tab. 2-2 Tabulka vlastností různých druhů povlaků [8]

### 2.3.2 Značení kotoučů

Výrobci kotoučů pro rovinné broušení mají většinou vlastní značení, co se týká složení vazeb, jelikož je chtějí držet v tajnosti. Detailním rozbořem označení kotouče se budu zabývat ve vlastním řešení. [8]



### 2.3.3 Zrnitost

Na obráběcí proces mají rozdílné vlivy různé tvary zrn. Diamantová zrna existují ve formách - snadno se štípající, křehká a bloková.

Mesh je americké označení pro zrnitost (velikost zrn). Mesh znamená počet ok síta na délku jednoho palce (25.4 mm). To znamená počet otvorů v sítu na délku 25.4 mm. V Evropě se udává zrnitost v µm, respektive průměrem otvorů v sítu.

Zrnitosti větší než 126 µm se při broušení rovinných ploch používají spíše ojediněle. Níže uvedená tabulka ukazuje přehled zrnitostí, které se používají v oblasti broušení rovinných ploch. [8]

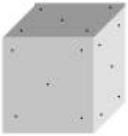
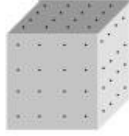
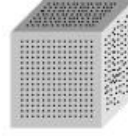
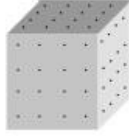
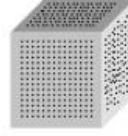
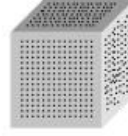
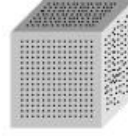
Zrnitost v µm	126...91	91...40	40...16	16...4
Značení	Hrubé	Střední	Jemné	Velmi jemné

Tab. 2-3 Tabulka zrnitosti rovinného broušení [8]

### 2.3.4 Koncentrace

Koncentrace v karátech na  $\text{cm}^3$  (1 karát odpovídá 0.2 g) udává podíl zrn v objemu povlaku kotouče. U diamantu se podíl zrn označuje písmenem „C“ pro koncentraci. U kotoučů KBN se objem zrn většinou označuje písmenem „V“.

Spodní tabulka ukazuje podíl zrn v karátech na  $\text{cm}^3$  ve vztahu ke koncentraci a objemu v %.

Granulometrické složení	1 $\text{cm}^3$		1 $\text{cm}^3$			1 $\text{cm}^3$	
							
Koncentrace	25	50	75	100	125	150	200
Karáty / $\text{cm}^3$	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	8.8
Objem zrn v %	6.25	12.5	18.75	25	31.25	37.5	50

Tab. 2-4 Tabulka podílu zrna v karátech [8]

### 2.3.5 Vazby

Existují různé druhy vazeb, které drží zrna pohromadě. Nejčastěji se používá keramická nebo pryskyřičná vazba. [8]

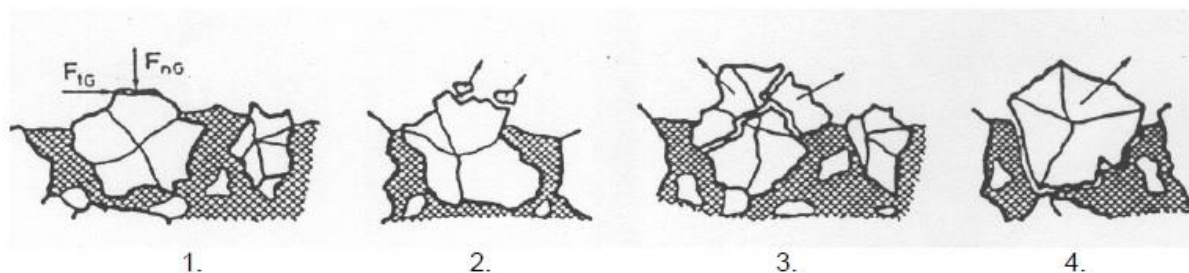
Druhy vazeb				
Značení	Druh vazby	Pojivo	Vlastnosti	Oblasti použití
V	keramická vazba	živec jíl křemenný písek	porézní, křehká, citlivá na úder, minimální tepelná roztažnost	hrubé a jemné honování, úzké tolerance $\pm 1\mu\text{m}$
B BF	umělohmotná vazba	fenolová pryskyřice s chladicími nebo stabilizujícími plnivy	křehká, elastická, výbrus za studena	hrubé a jemné honování $\pm 2\mu\text{m}$
R RF	umělohmotná vazba	guma (přírodní pryskyřice)	citlivá na teplo, elastická	křemíkové zmo
M	kovová vazba	slnuté kovy, bronz, tvrdokov, wolfram	tuhá, vysoká přídržná síla zrn, vysoká tlaková zatížení, malé opotřebení	broušení kotoučů
G	galvanická vazba	galvanický nános kovu	vysoká drsnost v důsledku vyčnívajících zrn	listy pily

Tab. 2-5 Tabulka různých druhů vazeb [8]



### 2.3.6 Opotřebení během pracovního procesu

Níže uvedené obrázky ukazují různé situace opotřebení. Přejeme si takový průběh, který je znázorněn na druhém a třetím obrázku. Jestliže nastane první situace, tak se kotouč otupí a řeže již nedostatečně. U situace na čtvrtém obrázku je již vylámáno tolik drahého povlaku, že se hospodárné obrábění stává nevhodným ( ztráta materiálu, rozměrové nepřesnosti, vady geometrie ). [8]



Mikroopotřebení		Makroopotřebení	
1 Tvorbá ploch	2 Mikrovýlomky	3 Vylomení části zrna	4 Vylomení zrna
vysoké tlaky	mechanickými silami	mechanickými silami	uvolnění zrna
vysoké teploty	únavové trhliny	únavové trhliny	tepelné přetížení vazby
mechanický otěr	způsobené mechanickým	způsobené mechanickým	chem. opotřebení vazby
přeměna mřížky	a tepelným proměnlivým	a tepelným proměnlivým	abrazivní opotřebení
chem. opotřebení	namáháním	namáháním	vazby
oxidace			
lepší drsnost	stále nové řezné hrany	stále nové řezné hrany	méně řezných hran
vyšší brusné síly	samoostření	samoostření	stoupající drsnost
	rovnoměrný proces	rovnoměrný proces	malé brusné síly
			vysoké opotřebení

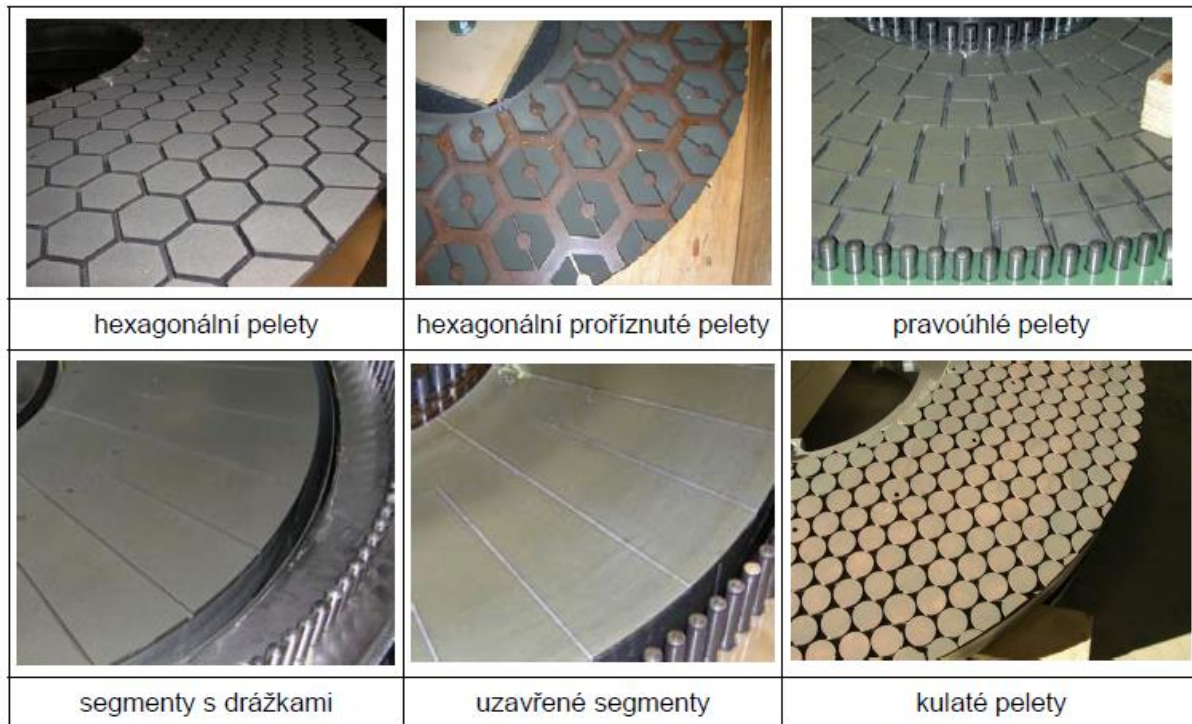
Obr. 2-12 Různé typy opotřebení [8]

### 2.3.7 Samoostření pracovních kotoučů

Optimálních procesů se dosáhne tehdy, když se kotouče během obráběcího cyklu samy doostřují (oživují). K tomuto účelu musí být navzájem sladěny kotouč, obrobek, vyplachovací médium, síla, počet otáček atd.

Každé jednotlivé zrno diamantu nebo KBN potřebuje specifický tlak pro optimální práci. To znamená, aby se optimálně otupovalo, resp. optimálně vylamovalo.

Tady si můžeme představit, že bychom museli u obrobků s velkou plochou nastavit nepředstavitelně vysokou sílu, abychom dosáhli právě tohoto specifického tlaku na diamantové zrno. Aby se působilo proti tomu, existují různé varianty osazení pracovních kotoučů. [8]










**Obr. 2-13** Různé varianty osazení pracovních kotoučů [8]

Pokud kotouč již najednou neřeže podle očekávání, nemusí se ještě bezpodmínečně doostřovat nástroji. Nejdříve by se měl měnit tlak, případně lze docílit požadovaného efektu doostření změnou směru otáčení, přičemž v posledním případě se může také stát, že se kotouče zcela otupí. V tomto případě se musí použít nástroje na doostření. [8]

### 2.3.8 Orovnávací a ostřicí prostředky

Existují různé druhy orovnávacích a ostřicích nástrojů. Jednotlivé nástroje reagují na každý kotouč jinak. Proto platí, že pro každý specifický kotouč se nejdříve musí stanovit optimální orovnávací a ostřicí nástroj. Nicméně existuje několik hodnot na základě zkušeností, co funguje spíše dobře a co nikoliv. [8]

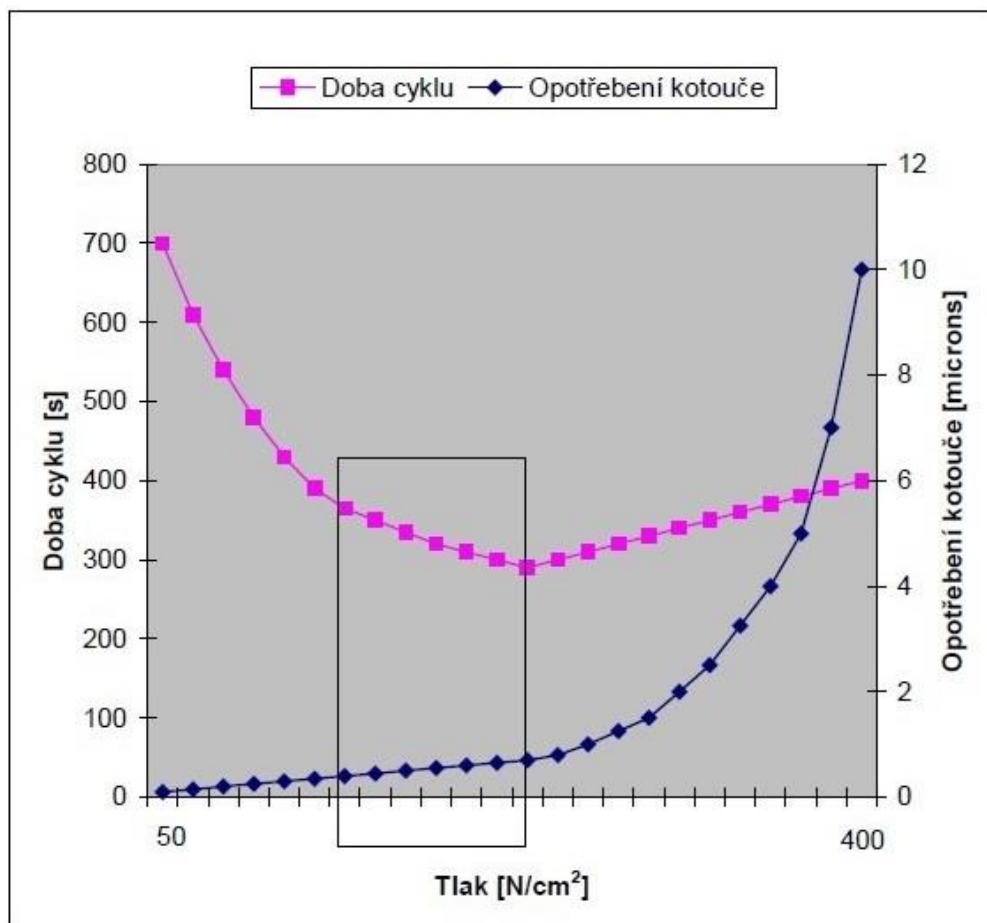
	Oblast použití	Obrázek
Bílé korundové kameny	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ostřicí nástroj</li> <li>-Doostření kotouče tím, že se mu obnoví pojivo (odkrytí zrn diamantu nebo KBN).</li> <li>-U mnoha kotoučů může pojivo kotouče tak silně napadnout, že se uvolní celá zrna a vzniknou velké nerovnosti na kotouči.</li> </ul>	
Zelené křemíkové kameny	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ostřicí, orovnávací nástroj.</li> <li>-Hodí se velmi dobře pro orovnávání a ostření většiny kotoučů s pojivem z plastu.</li> </ul>	
Červené křemíkové kameny	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Orovnávací nástroj.</li> <li>-Nástroje, vyráběné především pro orovnávání. Mohou silně napadat mnohé kotouče.</li> </ul>	

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Diamantové kroužky</p>	<p>-Ostřicí, orovnávací nástroj. -Hodí se dobře pro orovnávání a ostření kotoučů s keramickou vazbou. -Spíše jemné zrna kotouče s jemným diamantovým kroužkem a hrubé zrna kotouče s hrubým diamantovým zrnem.</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Přilepené diamantové kroužky</p>	<p>-Musí být ještě testovány.</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Korundové kroužky</p>	<p>-Ostřicí nástroj. -Hodí se dobře pro ostření kotoučů s keramickou vazbou. Ostřit dosti velkým tlakem (100-200daN).</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kartáče</p>	<p>-Nástroj pro čištění. -Kartáčováním se může kotouč doostřit (oživit).</p>	

Obr. 2-14 Přehled orovnávacích prostředků [8]

### 2.3.9 Vliv specifického tlaku

Graf ukazuje, jak se v závislosti na vytvořeném tlaku chová doba cyklu a opotřebení kotoučů, především kotoučů s keramickou vazbou. Je nutno vzít v úvahu, že jsou ukázány pouze tendence, jelikož na proces obrábění má velký vliv kotouč, vazba, počet otáček, vyplachovací médium atd.



Obr. 2-15 Závislost tlaku, doba chodu a opotřebení kotoučů [8]

Při malém tlaku sice stěží dojde k opotřebení kotoučů, ale doba cyklu je dlouhá. Optimální je, když se pracuje v označeném poli. Potom je totiž opotřebení kotouče ještě relativně malé a doba cyklu je minimální. Jestliže se tlak dále zvyšuje, tak se případně doba cyklu dokonce lehce zvyšuje, jelikož diamantová zrna se příliš rychle vytrhávají z vazby a nepracují správně. To se potom odrazí v extrémním opotřebení kotoučů.

Pro každou dvojici obrobek-kotouč se musí zjistit ideální tlak. Tento tlak se musí většinou během obrábění měnit vlivem otupení kotoučů. Po doostření nebo orovnnání se musí tlak často snížit. [8]

### 2.3.10 Vliv směru otáčení

Směr otáčení má podstatný vliv na konečný výsledek. Spodní tabulka ukazuje teoretický vliv směru otáčení na obrobek a kotouč. Existují případy aplikací, v nichž obrobky a kotouče reagují jinak. Proto jsou nutné pokusy, aby se zjistily příslušné vlivy. [8]

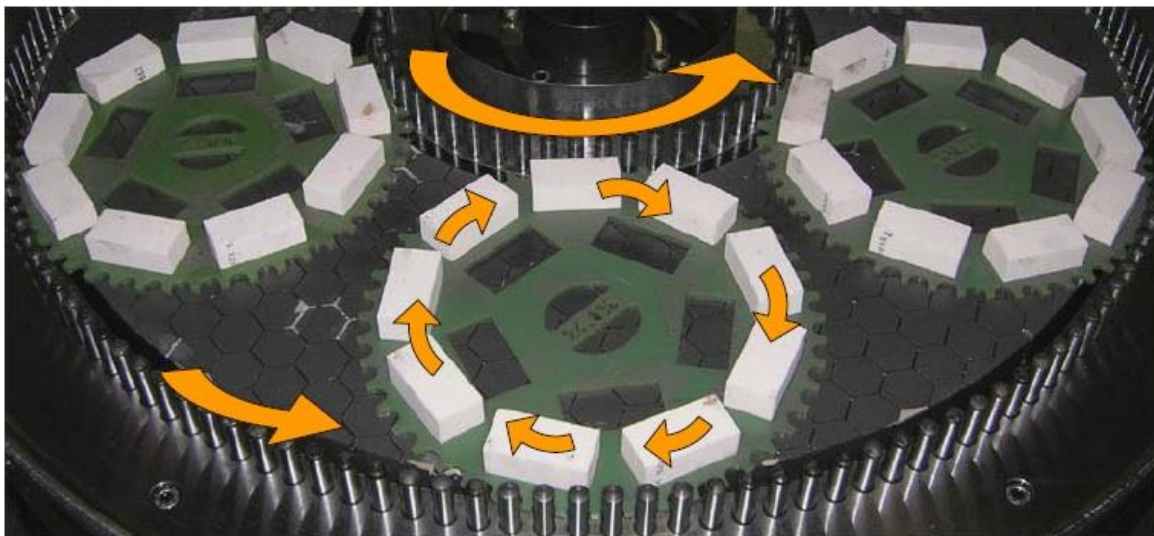
	Směry otáčení	kotouč nahoře pohon střed kotouč dole	Vliv na obrobek	Vliv na pracovní kotouče
Dole protiběh	L L R	R R L	Větší úběr na spodní straně, jelikož protiběžný chod. Může snížit vibrace.	Horní kotouč se stává konvexní  Spodní kotouč se stává konkávní
Nahoře protiběh	L R R	R L L	Větší úběr na horní straně, jelikož protiběžný chod. Může snížit rozptyl rozměrů.	Horní kotouč se stává konkávní  Spodní kotouč se stává konvexní
Všechno souběžný chod	R R R	L L L	Menší úběr, jelikož žádný protiběžný chod. Podle případu použití se může značně zlepšit rozptyl rozměrů a rovinnost.	Horní kotouč se stává konvexní  Spodní kotouč se stává konvexní
Střed projíždět	R L R	L R L	Podle případu použití se může značně zlepšit rozptyl rozměrů a rovinnost.	Horní kotouč se stává konkávní  Spodní kotouč se stává konkávní

**Tab. 2-6** Vliv směru otáčení na obrobek a kotouč [8]

Ve stejném programu lze provést změnu směru otáčení. Například pracovat v předbroušení a hrubování v protiběžném chodu a v dobroušení nechat všechno otáčet v souběžném chodu, aby se podle použití dosáhla dobrá rovinnost a rozptyl rozměrů. [8]

### Souběžný chod (+ a + nebo - a -)

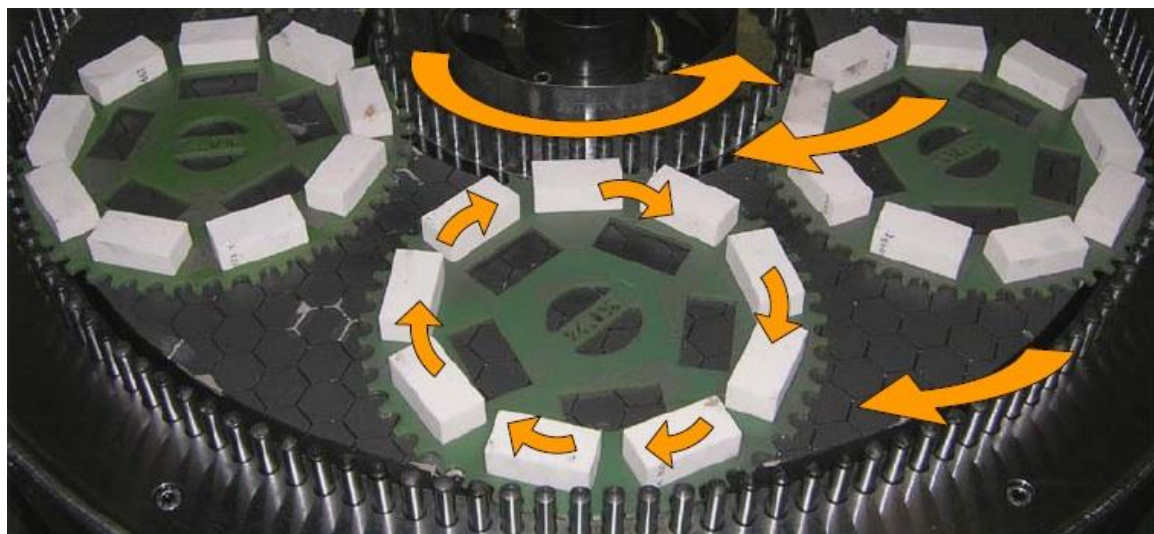
Když je střední kolíkový věnec s pracovním kotoučem poháněn v souběžném chodu, máme ve vnitřní oblasti souběžný chod a ve vnější oblasti protiběžný chod. Proto máme ve vnější oblasti kotouče vyšší úběr a můžeme srovnat konkávní kotouč. [8]



Obr. 2-16 Souběžný chod [8]

### Protiběžný chod (+ a - nebo - a +)

Když je střední kolíkový věnec s pracovním kotoučem poháněn v protiběžném chodu, tak máme ve vnitřní oblasti protiběžný chod a ve vnější oblasti souběžný chod. Proto máme ve vnitřní oblasti kotouče vyšší úběr a můžeme srovnat konvexní kotouč. [8]

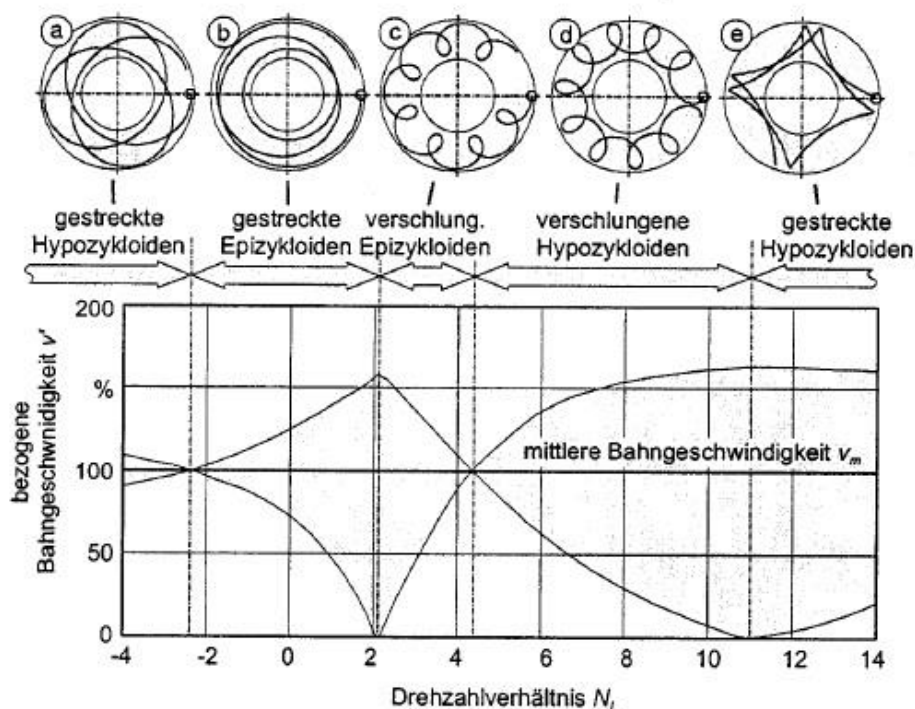


Obr. 2-17 Protiběžný chod [8]

### 2.3.11 Trajektorie při rovinném broušení

Při rovinném broušení opisují obrobky na první pohled podivuhodné trajektorie na brusných kotoučích. Poměr otáček pracovního kotouče a pohonu středního kolíkového věnce přitom určují tvary trajektorií, jak lze vyrozumět z níže uvedeného grafu.

Je zřejmé, že místo, kde vzniká opotřebení, může být určeno až do jistého bodu pomocí poměru otáček. To nám pomáhá v tom, abychom udrželi kotouč rovný pokud možno po dlouhou dobu. [8]



Obr. 2-18 Různé typy trajektorií při rovinném broušení [10]

Vzorec pro výpočet poměru otáček je:

$$N_L = \frac{n_{\text{stř. kolíkový věnec}}}{n_{\text{pracovní kotouč}}}$$

Většinou se pracuje v oblasti poměru otáček od **0,2 do 10** ( případně **-0,2 do -10** ).



## 2.4 Udržení rovinnosti pracovních kotoučů

### 2.4.1 Směrné hodnoty pro pracovní kotouče z diamantu nebo KBN

Pracovní kotouče jsou pravděpodobně nejdůležitější ovlivňující faktory při rovinném broušení, tudíž je nutno o ně příslušně pečovat a kontrolovat je.

Max. chyba nového kotouče, nenamontovaný	Max. chyba používaného kotouče, namontovaný
Rovinnost povlakované strany: 0.010 mm Rovinnost zadní strany: 0.010 mm	Rovinnost povlakované strany: 0.050 mm (v závislosti na rovinnosti u obrobku)
Paralelita: 0.020 mm	Axiální házení: 0.050 mm
Kotouče je nutno skladovat čisté a chráněné proti poškození.	(měřeno číselníkovým indikátorem na 360°).

### 2.4.2 Měření axiálního házení pomocí číselníkového indikátoru

Magnetický stojan s číselníkovým indikátorem se upevní na vnějším kolíkovém věnci. Paralelní obrobek se použije jako díl vložený mezi číselníkový indikátor a kotouč. Spodní kotouč se pohání v pomalém chodu otáčkami asi 5-10 ot./min. Výchylka číselníkového indikátoru udává informaci o axiálním házení kotouče. [8]



Obr. 2-19 Měření axiálního házení [8]

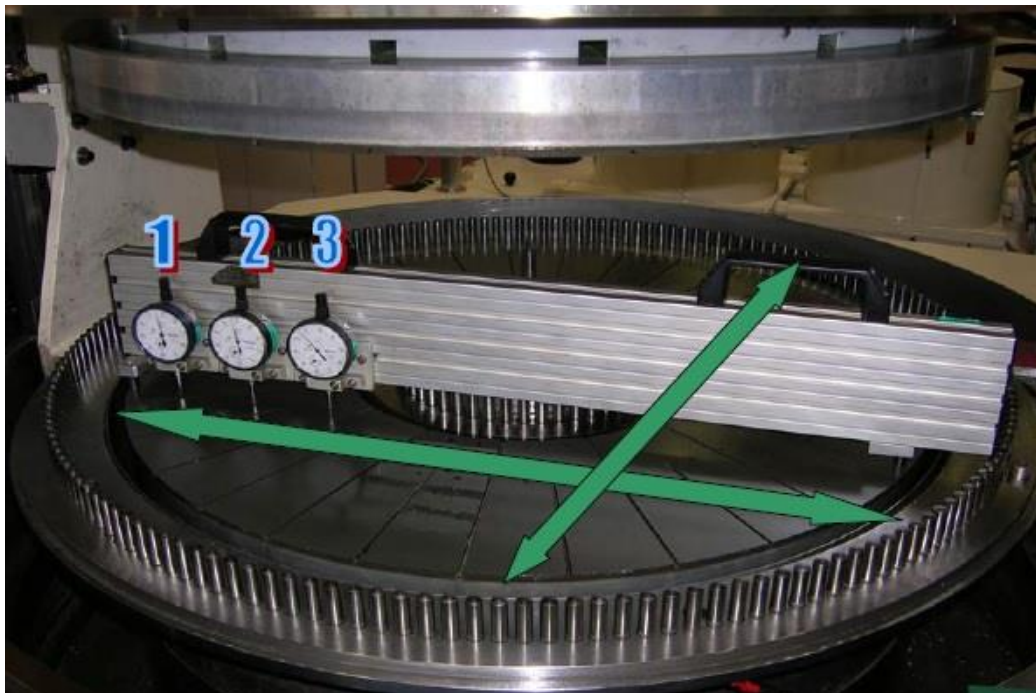
### 2.4.3 Měření rovinnosti pomocí průměrného pravítka

Příměrné pravítko se musí před každým použitím cejchovat na granitové desce. Při cejchování by se mělo dbát na to, aby byl rozsah měření „mm“ nastaven na 5 mm a rozsah  $\mu\text{m}$  nastaven na 0. Je to pouze doporučení, aby nedocházelo k chybám při odečítání naměřených hodnot. [8]



Obr. 2-20 Cejchování průměrného pravítka [8]

Horní a spodní kotouč se musí vždy proměřit nejméně na dvou různých přímkách. Na kotouči se měří tři body 1, 2 a 3. Vnější nohy se berou za nulovou základnu. [8]



Obr. 2-21 Měření rovinnosti brusných kotoučů [8]

### 3 Návrh a realizace vlastního řešení

V této kapitole se budu zabývat vlastním návrhem na řešení problematiky opotřebení brusných kotoučů. Po krátkém úvodu problematického období budou následovat ve třech podkapitolách jednotlivá zlepšení výrobního procesu.

Po období říjen až listopad bylo zjištěno, že se objevily velké problémy s opotřebením brusných KBN segmentů. Už jen to, že životnost brusných kotoučů byla pouze dva měsíce, se jevílo jako velmi podezřelé, protože obvyklá životnost je přibližně tři měsíce.

Období	Počet založení	Celkový úbytek	Úbytek horního kotouče	Úbytek dolního kotouče
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10	2348	2,42	1,23	1,19
11	1301	3,07	1,42	1,62
12	Sada spotřebovina			

Období	395467/2-(48,55)	395467/1-(48,27)	
	Horní kotouč:	Spodní kotouč:	Spotřeba/založení
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10	47,04	47,36	0,0010306
11	45,62	45,74	0,00235
12	Sada spotřebovina		

Tab. 3-1 Tabulka s vypočtenými hodnotami za období 10/12 – 11/12 [autor]

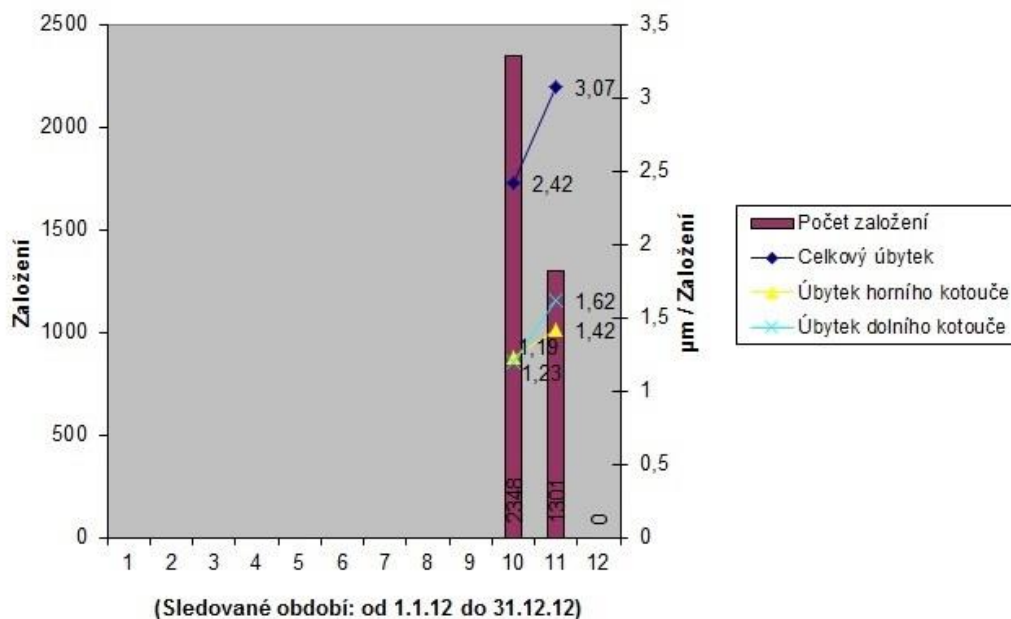
K získání hodnot o **počtu založení** jednotlivých dílů v tabulce č. 3-1, která je vytvořena v programu Excel, jsme použili formulář na sledování hodnot opotřebení. Ukázka tohoto formuláře je vyobrazena v příloze této diplomové práce. V kolonkách **horní kotouč** a **spodní kotouč** je uvedené označení kotouče a rozměr nového kotouče při dodání od výrobce. Od tohoto počátečního rozměru se odečte rozměr, který se změní po měsíčním používání těchto brusných kotoučů.

(příklad výpočtu:  $48,27 - 47,42 = 0,85 \dots$  opotřebení kotouče za měsíc)

Když se toto opotřebení (**úbytek**) sečte u **horního** a **dolního** kotouče získá se tím celkové opotřebení (**celkový úbytek**) KBN segmentů za jeden měsíc. Následně se pak spočítá **celková spotřeba na počet založení** za sledovaný měsíc.

Z hodnot v tabulce jsme následně vytvořili graf, který je společně s ostatními informacemi vyobrazen na obrázku č. 3-1. Tyto informace jsou spíše informativního charakteru a slouží k orientaci při vyhledávání různých dat.

výrobce kotouče: **TESCH** GMBH  
typ kotouče: **1A2 720/200/3 H252 T48 V546 B 39 C125 horní i dolní kotouč**  
díly: **Link L , Thrust Race, Link M, Thrust Spacer**  
stroj: **DLM 705 Stáhli**



Obr. 3-1 Graf opotřebení za období 10/12 – 11/12 [autor]

Jak bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, toto období bylo z hlediska životnosti brusných kotoučů velmi nevhodné. Je proto samozřejmé, že i z ekonomického hlediska amortizace brusných kotoučů se nejednalo o dobré výsledky (podrobně popsáno v kapitole č. 5). Proto bylo nasnadě se podrobněji zabývat touto problematikou a v rámci této diplomové práce se snažit ke zlepšení všech výsledků.

### 3.1 Úprava specifikace brusných segmentů

Pro broušení kalených dílů se na brusce Stähli používají kotouče se segmenty od firmy Tesch. Tyto kotouče se dodávají v sadě o dvou kusech. Každá sada má své šestimístné označení a každý kotouč je ještě označen číslem xxxxxx/1 nebo číslem xxxxxx/2.

Podmětem pro úpravu specifikace brusných segmentů bylo zvyšování produkce dílu Spacer (X) v polovině roku 2012. Tento díl nám kvůli svým rozměrům, především průměrem ( $\varnothing 15$  mm) a tloušťkou, dělal problém při broušení. Díky svému malému průměru se díl nevhodně pohyboval po brusných segmentech, nejvíce problémů bylo na přechodu mezi jednotlivými segmenty. Proto se došlo společně s výrobcem brusných segmentů k názoru, že by bylo vhodné změnit šířku mezi jednotlivými segmenty z původních **2 mm** na menší rozměr. Po mé rozvaze jsme společně s odborníkem firmy Tesch navrhli změnu šířky na novou hodnotu **1 mm**.



Obr. 3-2 Problematický díl Spacer (X) [autor]

### 3.1.1 Starší specifikace brusných segmentů od firmy Tesch

#### **Specifikace brusných segmentů:**

1A2 720/200/3 H252 T48 V546 B 39 C125 SW 20;

**Spalt 2 mm**; Mikropelletiert, Pelletshöhe 3 mm

#### **vysvětlení jednotlivých částí specifikace:**

**1A2** – firemní označení segmentů pro kalené díly

**720/200/3** – průměr kotouče/ velikost mezikruží se segmenty/ výška CBN segmentů [ mm ]

**H252** – průměr díry v brusném kotouči [ mm ]

**T48** – celková šířka brusného kotouče [ mm ]

**B 39** – velikost zrna [  $\mu\text{m}$  ]

**C125** – koncentrace

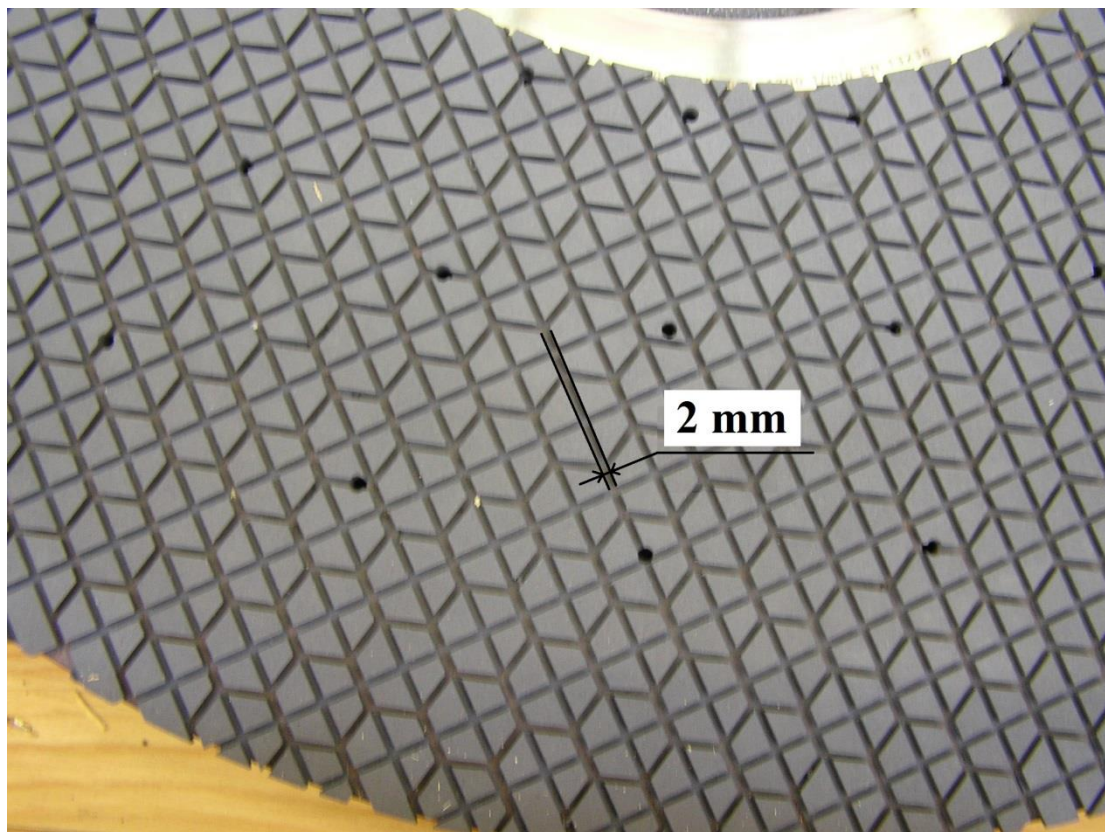
**V546** – keramické pojivo

**SW 20** – typ a velikost segmentu ( hexagonální tvar segmentů )

**Spalt** – šířka mezery mezi jednotlivými segmenty [ mm ]

**Pelletshöhe** – výška CBN segmentů [ mm ]

**Mikropelletiert** – hexagonální segment rozříznutý dvěma drážkami



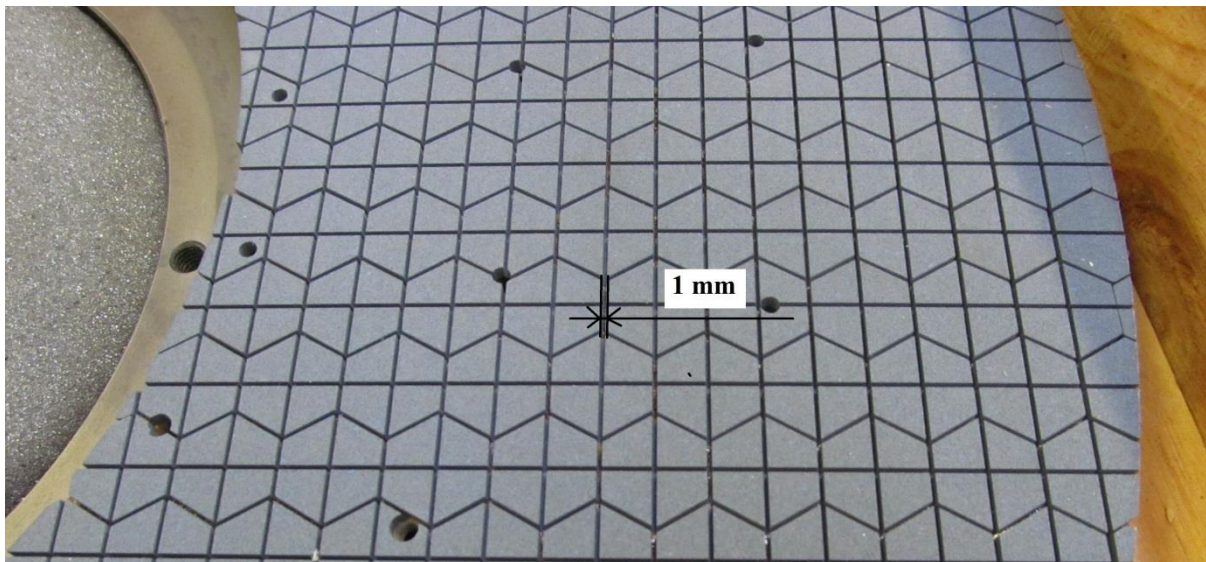
**Obr. 3-3** Detail starší specifikace brusných segmentů (šířka mezi segmenty 2 mm) [autor]

### 3.1.2 Vylepšená specifikace brusných segmentů od firmy Tesch

#### *Specifikace brusných segmentů:*

1A2 720/200/3 H252 T48 V546 B 39 C125 SW 20;

**Spalt 1 mm;** Mikropelletiert, Pellets Höhe 3 mm



**Obr. 3-4** Detail vylepšené specifikace brusných segmentů (šířka mezi segmenty 1 mm) [autor]



**Obr. 3-5** Foto vylepšené specifikace brusných segmentů (šířka mezi segmenty 1 mm) [autor]

### 3.2 Rovinnost brusných kotoučů

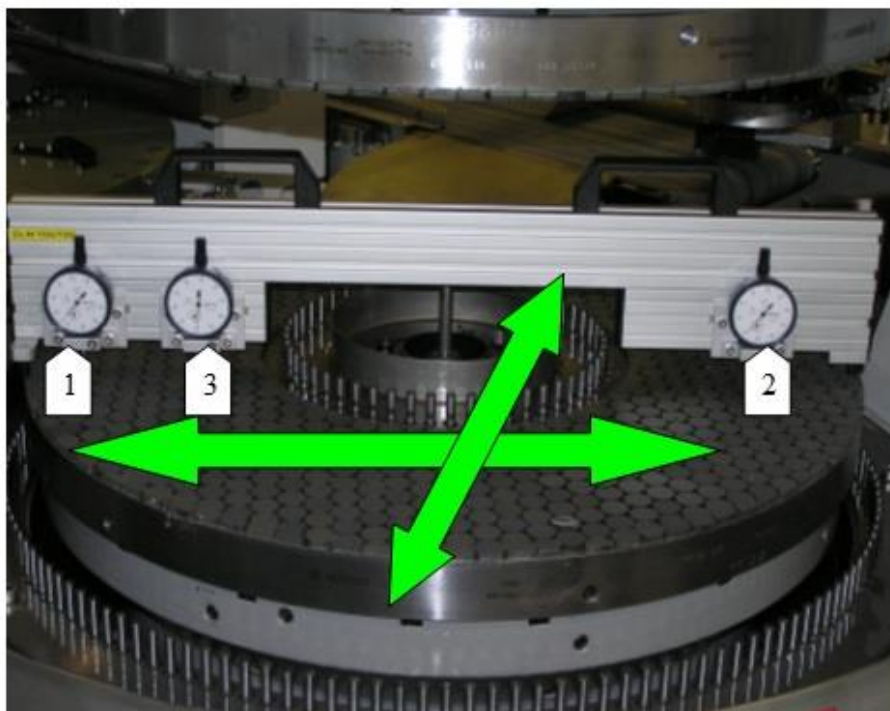
Je velmi důležité, aby brusný kotouč byl stále co nejrovnější. Proto se používají brusné orovnávací kotouče, aby nedocházelo k nerovnoměrnému opotřebení KBN brusných segmentů.

Musíme si uvědomit, že pracovní kotouče jsou nejdůležitější ovlivňující faktory při rovinném broušení, tudíž je nutno o ně příslušně pečovat a kontrolovat je.

#### 3.2.1 Měření a vyhodnocení rovinnosti

V první řadě se musí důkladně změřit rovinnost brusných segmentů. Před tím je dobré opláchnout brusné kotouče a ostatní části pracovního prostoru speciálním programem vytvořeným pro tento účel. Díky tomuto programu budou kotouče poměrně suché a nebude nikde kapat žádný olej.

Před samotným měřením se musí přiměrné pravítko cejchovat na granitovém stole. Při cejchování se musí dbát na to, aby byl rozsah měření v  $\mu\text{m}$  nastaven na hodnotu **0**. Poté se již může začít s měřením. Na kotouči se měří rovinnost ve třech bodech **1**, **2** a **3** jak je ukázáno na obrázku č. 3-6. Vnější nohy se berou za nulovou základnu. Horní a spodní kotouč se musí vždy proměřit nejméně na dvou různých přímkách.



**Obr. 3-6** Ukázka měření rovinnosti brusných kotoučů [autor]



Výsledky z měření se poté musí zapsat do kontrolního listu kotouče (viz obrázek č. 3-7), který jsem vytvořil speciálně pro tento účel. Kotouče by se dle mého nařízení měli proměřovat minimálně jednou za den, protože v minulosti jsme měli velké problémy s nerovnostmi brusných kotoučů. Četnost měření se samozřejmě také odvíjí od velikosti produkce jednotlivých dílů.

<b>KERN-LIEBERS</b> <small>ČESKÁ REPUBLIKA</small>		<b>Geometrie brusných kotoučů- bruska Stähli</b>				<b>Datum: 04/2013</b>	
<b>Horní brusný kotouč</b>				<b>Spodní brusný kotouč</b>			
<i>Specifikace br.kotouče</i>		<i>SAP-označení</i>		<i>Specifikace br.kotouče</i>		<i>SAP-označení</i>	
B 39 -V546/SW 20/C 125		398916/1		B 39 -V546/SW 20/C 125		398916/2	

<b>Datum:</b>	Naměřené hodnoty (μm)	1	2	3	<b>Profil:horní</b>	<b>Datum:</b>	Naměřené hodnoty (μm)	1	2	3	<b>Profil:horní</b>		
		Ø											
		Or.program:											
	<b>Poznámky</b>	Naměřené hodnoty (μm)	1	2	3		<b>Profil:spodní</b>	<b>Poznámky</b>	Naměřené hodnoty (μm)	1	2	3	<b>Profil:spodní</b>
			Ø										
Or.program:													

**Obr. 3-7** Formulář na zapisování naměřených geometrických hodnot [autor]

Podle naměřených a zapsaných hodnot zjistíme, jaký tvar má spodní i horní kotouč. Zda se jedná o tvar konkávní, konvexní nebo rovný.



**Obr. 3-8** Příklad možného tvaru brusného kotouče [8]

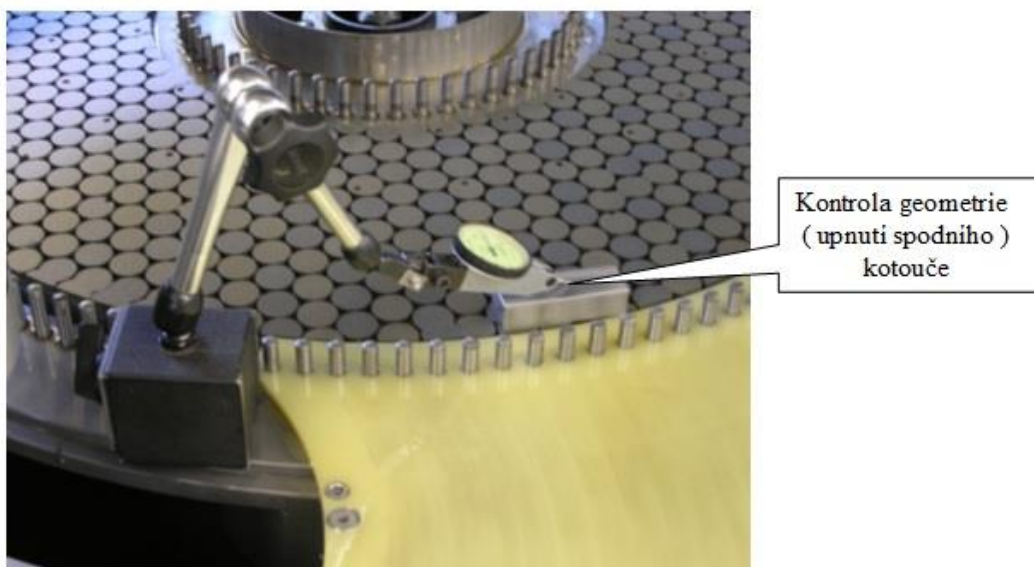
Nejvýše přípustná odchylka je vždy závislá na požadované jakosti obrobků. Všeobecně lze říct, že čím větší chyba, o to obtížnější jsou korekce. Hodnoty maximálních chyb, které udává výrobce, jsou uvedeny v tabulce č. 3-2.

Max. chyba nového kotouče, nenamontovaný	Max. chyba používaného kotouče, namontovaný
Rovinnost povlakované strany: 0.010 mm Rovinnost zadní strany: 0.010 mm	Rovinnost povlakované strany: 0.050 mm (v závislosti na rovinnosti u obrobku)
Paralelita: 0.020 mm	Axiální házení: 0.050 mm
Kotouče je nutno skladovat čisté a chráněné proti poškození.	(měřeno číselníkovým indikátorem na 360°).

Tab. 3-2 Důležité hodnoty pro pracovní kotouče z KBN [8]

### **Měření axiálního házení pomocí číselníkového indikátoru**

Magnetický stojánek s číselníkovým úchylkoměrem se upevní na vnější kolíkový věnec. Paralelní mezikus se použije jako díl vložený mezi číselníkový úchylkoměr a brusný kotouč. Spodní brusný kotouč se otáčí v pomalém chodu otáčkami asi 5-10 ot./min. Výchylka číselníkového úchylkoměr udává informaci o axiálním házení kotouče.



Obr. 3-9 Měření axiálního házení spodního kotouče [autor]

### 3.2.2 Orovnávání brusných kotoučů

Po vyhodnocení jaký má spodní i horní kotouč tvar, se musí v databázi orovnávacích programů najít příslušný program s tvary obou kotoučů. Program pro orovnávání se určuje proto, aby se korigovala geometrická chyba. Příklad orovnávacího programu je na níže uvedeném obrázku (Obr. 3-9).

H: Konvexní S: Konvexní



	P0	P1	P2	P3	P4	P5	
Kraft	50	80	80	50	50	50	daN
Stop bei Mass	1	5	5	1	1	1	"
Laufzeit	3	30	30	1	1	1	"
Abtrag		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	µm/"
ψ - Oben		-22	20	0	0	0	l/min
ψ - Mitte		5	5	0	0	0	"
ψ - Unten		20	-20	0	0	0	l/min
		5	5	0	0	0	"

Obr. 3-10 Příklad orovnávacího programu pro brusku Stähli [8]

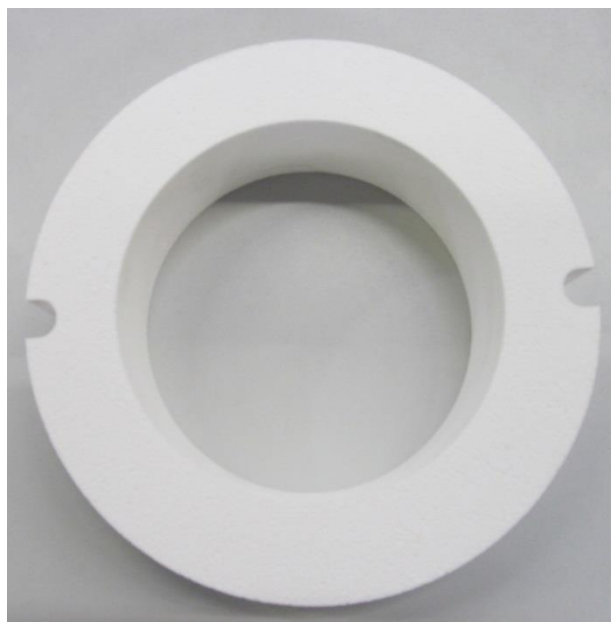
Typ orovnávacích kotoučů, používaných pro orovnání KBN brusných segmentů (broušení kalených dílů).

výrobce: **fy Tesch**

specifikace: **Schärfringe Edelkorund Weiß**

**2-224 x 55 XW 37 20A 220/00**

**E 13P11V55 9983800/1 32M/S 2730 UPM EN 12413**



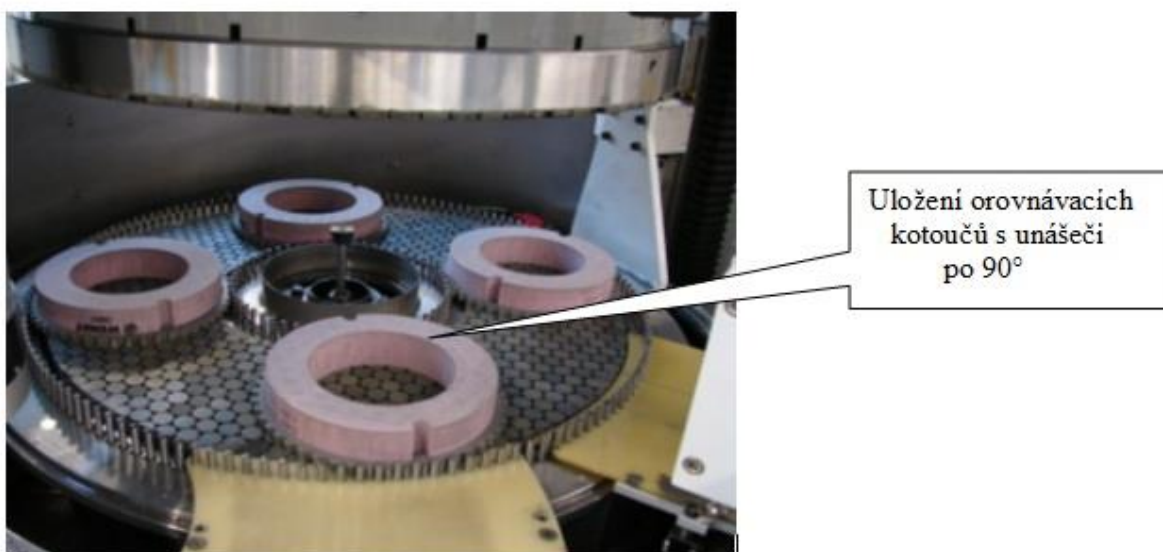
Obr. 3-11 Fotografie nového orovnávacího kotouče [autor]

Orovnávací kotouče mají na svém boku dvě tvarová vybrání, do kterých se vsadí speciální unášeče. Tyto unášeče zajistí, že se orovnávací kotouče mohou pohybovat stejně jako unášeče s díly.



**Obr. 3-12** Fotografie orovnávacího kotouče v unášeči [autor]

Unášeče s orovnávacími kotouči se zakládají v počtu čtyř kusů po 90 stupních, jak je ukázáno na níže uvedeném obrázku č. 3-13. Poté již můžeme zapnout orovnávací program a orovnat brusné segmenty. Podle velikosti nerovnosti můžeme orovnáání opakovat, dokud nebude kotouč v toleranci rovinnosti.



Uložení orovnávacích  
kotoučů s unášeči  
po 90°

**Obr. 3-13** Rozmístění orovnávacích kotoučů v brusce při orovnávání [autor]

### 3.3 Poškození brusných segmentů

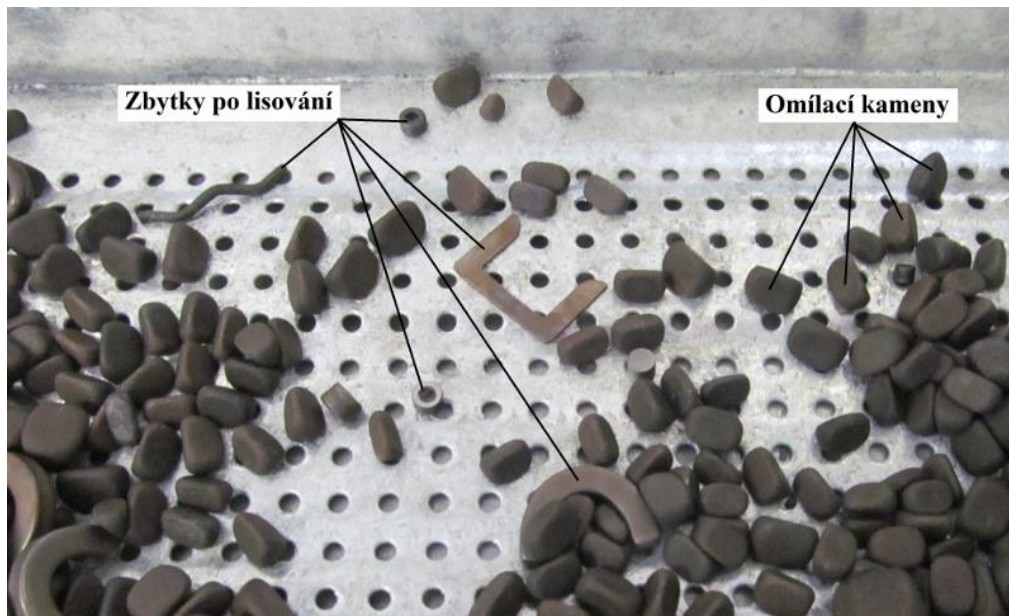
K poškození brusných KBN segmentů může dojít při zakládání dílů do meziprostoru mezi horní a dolní kotouč. Díl se po naložení vzpříčí a po automatickém zapnutí brousícího programu může způsobit poničení velmi drahých brusných kotoučů. Druhý méně častý způsob poškození kotoučů je, že se díl svým pohybem při broušení vysmekne z unášče a začne volně rotovat mezi pracovními kotouči. Jelikož se používají poměrně velké otáčky a velké brusné kotouče společně s přiváděným olejem, jakýkoliv uvolnění předmět se stává nebezpečný pro brusné segmenty.

Mnohem častěji je poničení brusných segmentů způsobeno nečistotami po předchozích operacích. Jedná se především o operace lisování a omílání. Po operaci lisování se jedná o nespočet jiných dílů, které se vůbec nebrousí a nemají tudíž co dělat v přepravních bednách. Nebo se může jednat o zbytky po lisování dílů, které se mají brousit. To je ta úplně nejhorší varianta, protože se především jedná o malé části z lisovaných otvorů. Tyto malé části se velmi dobře mohou dostat do otvorů jiných dílů a ty se pak dostanou do brousícího prostoru. Na obr. 3-14 jsou zvýrazněny nečistoty po lisování nashromážděné za čtyři pracovní dny.



**Obr. 3-14** Ukázka nečistot v přepravních bednách-odpad po lisování [autor]

Další operací, po které vznikají nečistoty, je omílání. V tomto případě jsou největším problémem omílací kameny, které jsou velmi tvrdé a nepoddajné. Když se dostanou tyto kameny do kontaktu s KBN brusnými segmenty nastává velká destrukce segmentů.



**Obr. 3-15** Detail nečistot v přepravních bednách-odpad po lisování a omílání [autor]

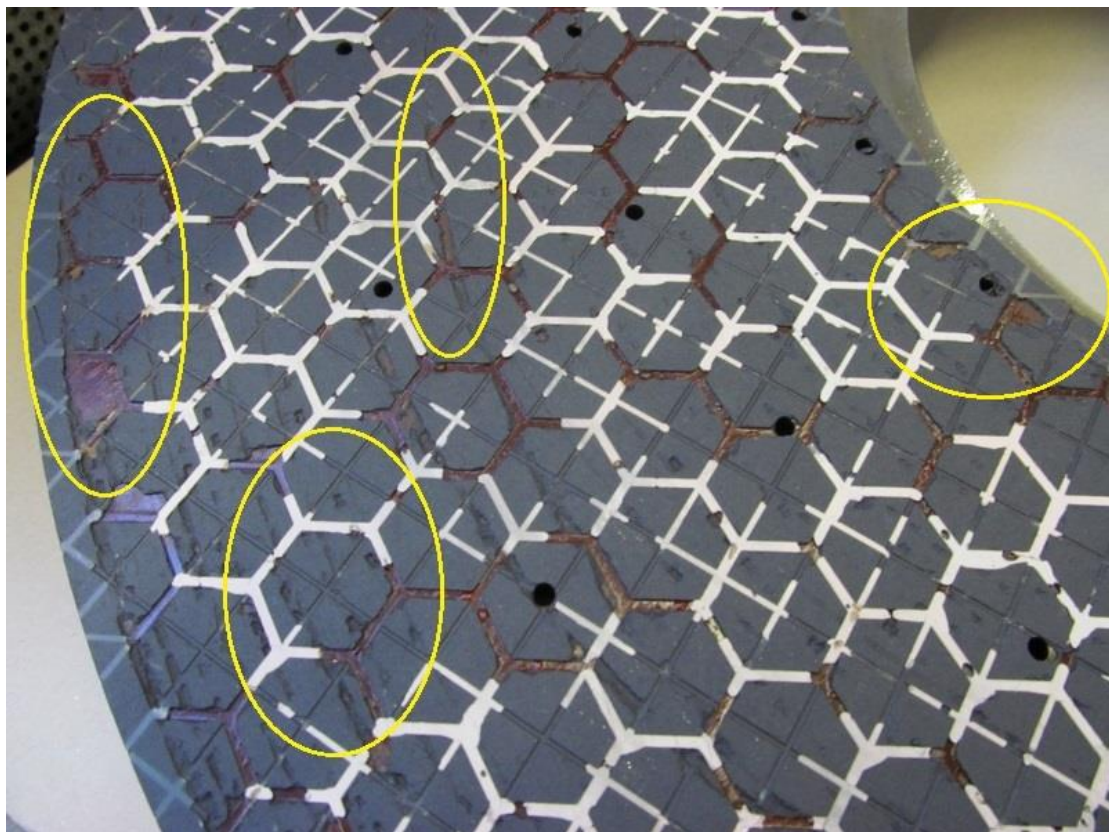
Nejhorším případem nečistot z omílání je, když se malý kámen zasekne do díry ve výrobku, jak je ukázáno na obrázku č. 3-16. Jelikož má tento kámen stejnou nebo menší tloušťku než broušený díl, kontrolní zařízení nedokáže zjistit, že se jedná o nebezpečí. Pokud tuhle chybu neodhalí brusič, může se tento díl dostat do broušícího prostoru a napáchat velkou škodu.



**Obr. 3-16** Fotografie kamenu zaseknutého v otvoru výrobku [autor]

Když se brusné segmenty poškodí, musejí se opravovat pomocí tmelu, který je podobný tmelu používající na opravu plechových částí u automobilů. Jelikož se používají poměrně velké přitlačné tlaky mezi kotouči, dochází většinou k poškození dolního i horního kotouče.

Nejčastějším poškozením bývá drážka v brusných segmentech, která může být v celém obvodu nebo jen z části kruhu. Nejlépe to ukazuje obrázek č. 3-17, na kterém jsou žlutě zvýrazněné poničené části. Z obrázku je také patrné, že tento kotouč již byl v minulosti opravován, kvůli poškození některých částí brusných segmentů. Je samozřejmé, že tyto poškození neprospívají životnosti brusných kotoučů. Ani samotné opravování není bez problému, poněvadž se ve většině případu musejí brusné kotouče vymontovat z brusky, což znamená odstavení stroje minimálně na jednu pracovní směnu. Po opravě a usazení brusných kotoučů do brusky se musejí orovnat, aby si tzv. sedli na správné místo. Jakékoliv orovnávání kotouče samozřejmě zmenšuje jeho životnost, tudíž je nežádoucí, ale potřebné pro správný tvar brusných segmentů.



**Obr. 3-17** Fotografie poškozených brusných segmentů od nečistot v přepravních bednách [autor]

### 3.3.1 Minimalizace poškození brusných segmentů

Jelikož se problémem nečistot v bednách moji kolegové ve firmě nehodlali moc zabývat, nebo jen s minimálním počátečním zájmem, rozhodl jsem se aspoň minimalizovat počet nečistot, které by se mohli dostat do prostoru mezi pracovní kotouče.

Jako první nápravné opatření jsem provedl školení brusičů, kteří pracují na brusce Stähli. Zdůraznil jsem jim, na co si mají dávat pozor při plnění unášečů díly, které se mají brousit. Poněvadž se některé díly plní ručně a jiné pomocí dopravníku bylo zvlášť důležité poukázat na rozdílné problémy při těchto úkonech.



Obr. 3-18 Pracovní svítilna IP 20 [11]

Dalším opatřením bylo pořízení malé pracovní svítilny (Obr. 3-18), kvůli zlepšení viditelnosti na daném pracovišti. Mohlo by se to zdát jako obyčejná hloupost, ale jelikož se na této brusce se pracuje někdy i na tři směny bylo to více než žádoucí. Na noční směně, v počátcích ranní směny nebo naopak v podvečer odpolední směny nebylo dostatečné denní světlo pro zpozorování některých nečistot při zakládání unášečů s díly do otočného stolu. Musíme brát v potaz, že i obyčejný malý kousek nečistoty může způsobit poškození brusných segmentů a také zastavení stroje na několik hodin.



## 4 Vyhodnocení získaných výsledků

Při vyhodnocení třech vylepšení výrobního procesu, které byly popsány v předchozí kapitole, jsme vyházeli z toho, že se jednalo o zlepšení jak technologické tak i ergonomické.

Je důležité si uvědomit, že jakýkoliv velký zásah do výrobního procesu by znamenal nutnost nového vzorkování vyráběných dílů. Tyto díly by samozřejmě museli odsouhlasit všichni zákazníci, protože jakákoliv větší změna výrobního procesu se musí s nimi konzultovat. To by znamenalo velké komplikace pro výrobu a ztrátu zisku pro firmu, takže se tak děje jen v nejnútnejších případech.

Jednotlivé zhodnocení vylepšení jsem opět rozdělil, kvůli přehlednosti do tří podkapitol. V každé z podkapitol, je podrobně popsáno jaký přínos měla jednotlivá vylepšení z hlediska výrobního procesu broušených dílů.

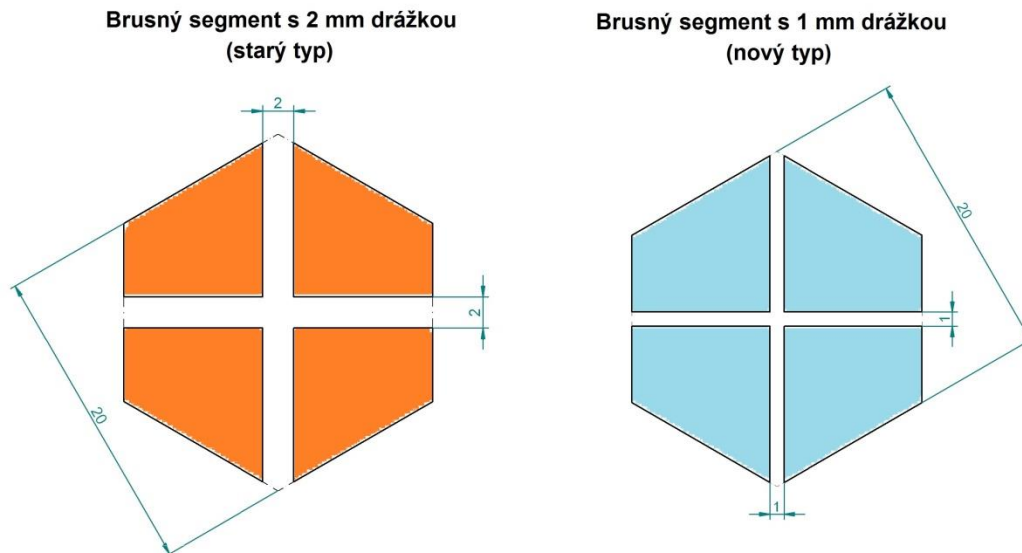
### 4.1 Vyhodnocení změny specifikace materiálu

Hlavním důvodem, proč se prováděla tato změna, byl problémový pohyb dílu Spacer (X) po brusném kotouči při broušení. Po změně šířky drážky v brusných segmentech bylo znát zlepšení pohybu dílu, protože se zmenšila četnost dílů, které měli tendenci se vzpříčit při broušení.

Největší obavy spojené se změnou šířky drážky, tj. odvádění brousícího oleje v drážkách, se prokázali jako neopodstatněné. Odvod oleje je totiž velmi důležitý pro teplotu brusných kotoučů. Kdyby přehřátý olej zůstával ve větším množství v pracovním prostoru, mělo by špatný vliv na odměřování stroje při broušení. Tento problém by se nejvíce projevoval v letních měsících, kdy je ve výrobní hale velká teplota. Také by se s přítomností oleje mohl začít vytvářet u některých dílů aquaplaning a tím pádem by díly začali takzvaně „plavat“.

Tento jev je samozřejmě nežádoucí, protože by to mělo vliv na přesnost broušených dílů. Pro odstranění tohoto problému by se musela zvyšovat přítlačná síla, což by mělo za následek snižování životnosti brusných kotoučů. Dalším problémem mohlo být opravování brusných segmentů po jejich poškození. Toto poškození mohly způsobit jak různé nečistoty z přepravních beden, tak i špatně založené díly. Se speciálním kitem při opravě kotoučů nebyl žádný problém, takže i tento fakt hodnotím pozitivně.

Na obrázku č. 4-1 jsou ukázány jak starší typ brusného segmentu (používaný od r. 2011 do února 2013) taký novější vylepšený typ (používaný od března 2013 do současnosti). Tvar a rozměr šestihhranného segmentu zůstal stejný, pouze se změnila šířka drážek z 2 mm na 1 mm.



**Obr. 4-1** Obrázek starého a nového typu brusného segmentu [autor]

Jak je patrné změnou šířky drážky jsme také získali větší brousící plochu segmentu. Starší typ měl brusnou plochu  $940 \text{ mm}^2$  a novější typ má  $1047 \text{ mm}^2$ . Tento nárůst plochy je přibližně o **11,5 %**. To sice není moc, ale musíme si uvědomit, že pořizovací cena kotouče s novým typem brusných segmentů byla stejná jako se starým typem. Podle předběžných výsledků, vyhodnocení děláno začátkem května tohoto roku, se díky změně šířky drážky životnost brusných kotoučů bude mírně zvyšovat.

Závěrem lze konstatovat, že změna šířky drážky byla správným krokem ke zlepšování výrobního procesu. Jako mé další vylepšení v oblasti brusných segmentů bude následovat změna výšky segmentů ze současných 3 mm na nových 5 mm. Tato změna by znamenala poměrně velkou ekonomickou úsporu při nákupu nové vrstvy KBN brousících segmentů (viz kapitola 5.3). Po předložení mého návrhu vedoucím pracovníkům, bylo rozhodnuto vyzkoušet tuto změnu a objednat nově pozměněnou specifikaci brusných kotoučů.

## 4.2 Vyhodnocení výsledků při měření rovinnosti brusného kotouče

V této podkapitole se budu zabývat vyhodnocení nutnosti udržovat brusné kotouče v co nejrovnějším stavu. Jak již bylo zmíněno v kap. 3.2, je velmi důležité udržovat brusné kotouče v dobrém stavu a snažit se co nejvíce zmenšit četnost geometrických odchylek. Největší geometrické chyby vznikají při přetěžování brusných kotoučů nevhodně zvoleným počtem broušených dílů v unášečích. Zatížení kotoučů by nemělo přesáhnout hodnotu 15 %. Toto zatížení se určí tak, že se nejdříve spočítá plocha kotouče a poté plocha broušených dílů. Plocha broušených dílů by neměla přesáhnout 15 % plochy brusného kotouče.

### Shrnutí zlepšení při měření rovinnosti:

- *zvýšení četnosti měření*  
(Je výhodné, když se pracovní kotouče často kontrolují, protože nemůže vzniknout žádná velká geometrická vada brusných kotoučů. Mohou se tak včas provést protipatření, která by eliminovaly tyto vady.)
- *zapisování naměřených hodnot*  
(Zapisování hodnot do příslušné tabulky je dobré pro představivost jaký tvar má horní i dolní kotouč. V minulosti se brousil pouze jeden typ, takže se měnil tvar téměř pořád stejně. V současnosti je dobré zapisovat, jak se daný kotouč orovná, aby se v budoucnu mohlo v případě potřeby zkontrolovat, jak se kotouč opotřeboval.)
- *správnost měření horního i dolního kotouče*  
(Dříve se provádělo nejčastěji proměřování pouze tvaru dolního kotouče. To se mohlo negativně promítat do samotného orovnění, protože pak mohl být nesprávně zvolen orovnávací program k udržení rovinnosti. Na mé doporučení se nyní proměřují vždy dolní i horní kotouč, aby nedocházelo k vzniku velkých geometrických chyb)

Mé doporučení měřit tvar brusných kotoučů každý den nebývá často dodržováno, ale počet měření se určitě oproti dřívější době několikanásobně zvýšil. Což je dobré znamení a dá se předpokládat, že se četnost měření v budoucnu bude zvyšovat.

I přesto, že je tělo průměrného pravítka vyrobeno z hliníkového profilu, váha je pořád poměrně velká. Při měření spodního kotouče to není takový problém jako u horního kotouče. Proto jsem se rozhodl v krátkém horizontu nechat navrhnout a vyrobit speciální držák, aby bylo možné s pravítkem lépe měřit horní kotouč.

### 4.3 Vyhodnocení poškození brusných segmentů

V poslední podkapitole je popsáno vyhodnocení poškození brusných segmentů nečistotami z přepravních beden. Po domluvě s kolegou se začal řešit problém s nečistotami vzniklých po lisování. Nastanou nějaké úpravy zařízení, které odděluje hotové díly od zbytků po lisování. Bohužel kameny, které se vyskytovaly po operaci omílení, nadále dělají problém při broušení a pohybu dílů.

Z počátku si pracovníci nemohli zvyknout na novou pracovní svítilnu, která vytvářela nezvyklé osvětlení na jejich pracovišti. V dnešní době je to už mnohem lepší a pracovníci ji využívají poměrně často. Myslím si, že toto drobné vylepšení pracovišti nepomáhá jen z hlediska výrobního, ale i také z hlediska ergonomického. Dvěma brusičům, kteří pracují na brusce Stähli, je něco přes padesát let a jak je známo s přibývajícím věkem se zrak u většiny lidí zhoršuje.

Jak je zřejmé z obrázků č. 4-2 a 4-3, rozdíl mezi osvětlenou a neosvětlenou pracovní pozicí je poměrně značný a tím se tak zlepšili podmínky pro kontrolu ještě nenabroušených dílů i nečistost. Je velmi důležité se na celý proces broušení dívat jako souhrn malých činností, jen tak se může dosahovat lepší celkových výkonů.



**Obr. 4-2** Fotografie nevhodně osvětleného pracoviště [autor]



**Obr. 4-3** Fotografie vhodněji zvoleného osvětlení pracoviště [autor]

Na závěr lze říci, že pořízení pracovní svítilny za přibližně dva tisíce korun, bylo dobré vylepšení proti nečistotám z přepravních beden. Může se tím zabránit poničení brusných segmentů v hodnotě téměř půl miliónu a také zastavení výroby dílů. To je samozřejmě nežádoucí a v budoucnu se tímto problémem budu muset v rámci svého zaměstnání více zabývat. Důležité bude si určit, kde a jak by byl tento problém možné odstranit nebo aspoň trochu zmírnit. Pokud by to nebylo technicky možné odstraňovat omílací kameny po operaci omílání, museli by se tak dělat před přípravou na broušení.

## 5 Ekonomické přínosy

Tuto kapitulu jsem rozdělil na jednotlivé podkapitoly. Ta první se zabývá ekonomickým hodnocením amortizace brusných kotoučů ve sledovaném období. V druhé kapitole je vyčíslena finanční úspora mého vlastního řešení. V poslední kapitole je nastíněno jakým způsobem, by se v krátkém horizontu, mohlo dosáhnout výrazného snížení pořizovací hodnoty brusných kotoučů a tím pádem ušetření nemalé finanční částky.

### 5.1 Ekonomické vyhodnocení amortizace brusných kotoučů

Sledované období pro toto vyhodnocení bylo od ledna r. 2012 až do listopadu r. 2012. Vždy se vyhodnocovali jednotlivé sady kotoučů. V grafu je vždy znázorněn podíl jednotlivých dílů (počet založení) ve sledovaném období. Pro všechna období platí údaje v níže uvedené tabulce. V této tabulce je vždy uveden u názvu jednotlivých dílů cena amortizace kotouče a počet dílů v jednom založení (šest kusů unášeců je jedno založení). Jak je patrné z této tabulky, hodnocení je provedeno u čtveřice dílů, které tvoří převážnou část výroby na této brusce.

Název dílu	Cena amortizace kotouče EUR/ks	Počet dílů v založení
Link M	0,0202	180
Spacer X	0,0186	270
Thrust Race	0,0182	108
Link L	0,0202	170

Tab. 5-1 Tabulka ceny amortizace jednotlivých dílů [autor]

Pracovníci zapisují do příslušného formuláře mimo jiné i počty založení jednotlivých dílů za kalendářní měsíc. Tyto zapsané hodnoty se po zbrúšení celé sady zadají do tabulky, která je vytvořená v programu Excel. Z toho se následně vypočítá počet nabroušených jednotlivých dílů a zisk z těchto dílů. Od tohoto zisku se odečtou pořizovací náklady brusných kotoučů a tím se zjistí celkový zisk v Eurech amortizace brusných kotoučů za dané období.

Počet založení	Link M	Sledované období			Celkem založení	Nabroušených dílů	Zisk	Zisk za dané období	Pořizovací náklady brus. kotoučů	Celkový Zisk
		1.12	2.12	3.12						
	Link M	241	361	567	1169	210420	4250,5	28691,3 EUR	17090 EUR	11601,3 EUR
	Spacer X	111	94	327	532	143640	2671,7			
	Thrust Race	1780	1432	1233	4445	480060	8737,1			
	Link L	1141	1405	1249	3795	645150	13032,0			

Tab. 5-2 Tabulka ukazující výpočet zisku v daném období [autor]

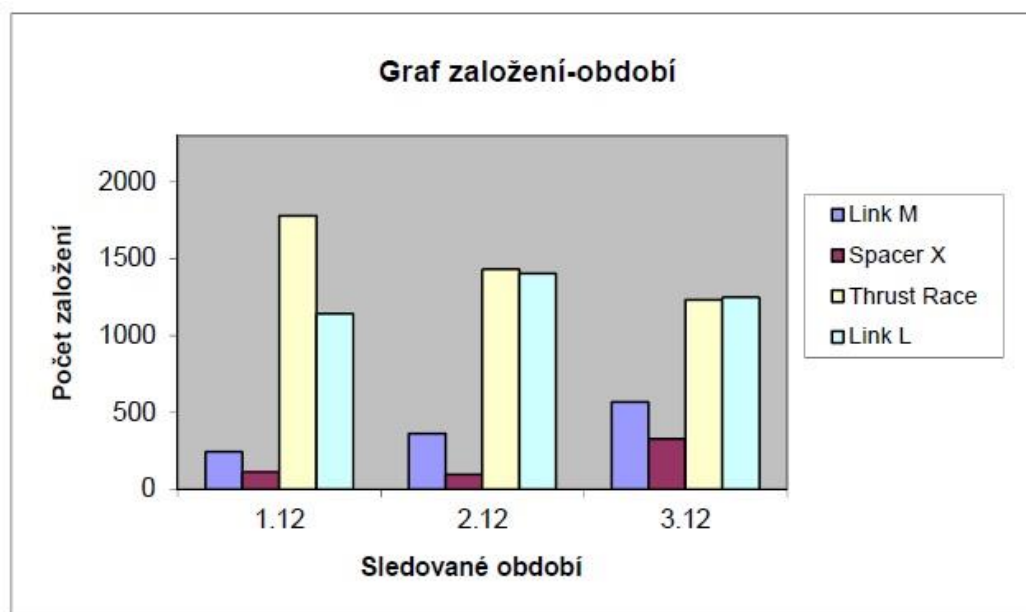
### 5.1.1 Období 01/2012 – 03/2012

V tomto období bylo broušeno se sadou brusných kotoučů s označením SAP 386898. Jak je vidět z níže uvedené tabulky, celkový zisk za toto období činí přibližně **11 600 EUR**. Tato částka je vzhledem k dalšímu vývoji sledovaných období velmi dobrá.

Počet založení	Sledované období	Sledované období			Celkem založení	Nabroušených dílů	Zisk	Zisk za dané období	Pořizovací náklady brus. kotoučů	Celkový Zisk
		1.12	2.12	3.12						
	Link M	241	361	567	1169	210420	4250,5	28691,3 EUR	17090 EUR	11601,3 EUR
	Spacer X	111	94	327	532	143640	2671,7			
	Thrust Race	1780	1432	1233	4445	480060	8737,1			
	Link L	1141	1405	1249	3795	645150	13032,0			

Tab. 5-3 Tabulka hodnot za období 01/12 – 03/12 [autor]

Z každé tabulky v daném období samozřejmě také vzniká graf počtu založení jednotlivých dílů za určité období. Z tohoto grafu si můžeme vytvořit grafickou představu o podílu jednotlivých dílů v sledovaném období.



Obr. 5-1 Graf počtu založení a období 01/12 - 03/12 [autor]

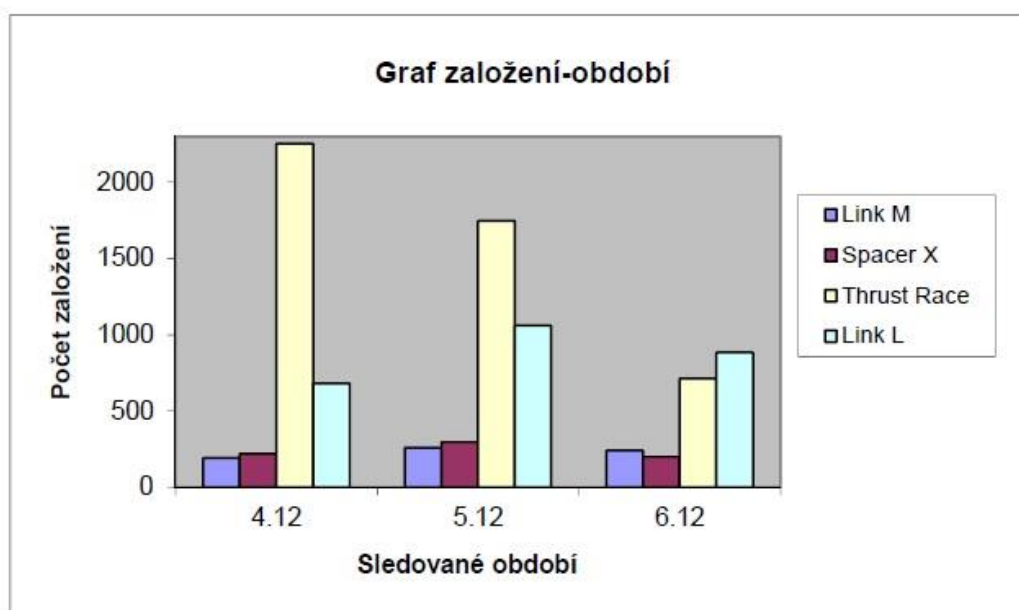
### 5.1.2 Období 04/2012 – 06/2012

V tomto období bylo broušeno se sadou SAP 391847. Celkový zisk přibližně **7 260 EUR** nám trochu poklesl oproti předchozímu období, ale hodnota je pořád poměrně dobrá. Tento mírný pokles mohl znamenat, že se změnil pouze počet jednotlivých dílů.

		Sledované období			Celkem založení	Nabroušených dílů	Zisk	Zisk za dané období	Pořizovací náklady brus. kotoučů	Celkový Zisk
		4.12	5.12	6.12						
Počet založení	Link M	190	259	239	688	123840	2501,6	24352,8 EUR	17090 EUR	7262,8 EUR
	Spacer X	218	295	198	711	191970	3570,6			
	Thrust Race	2255	1748	713	4716	509328	9269,8			
	Link L	680	1061	883	2624	446080	9010,8			

Tab. 5-3 Tabulka hodnot za období 04/12 - 06/12 [autor]

Grafické srovnání počtu založení v obrázku č. 5-2 nám potvrzuje, že se tento počet založení jednotlivých dílů změnil. Je logické, že se podíl založení bude v takto dlouhém období měnit u každé sady brusných kotoučů.



Obr. 5-2 Graf počtu založení a období 04/12 – 06/12 [autor]



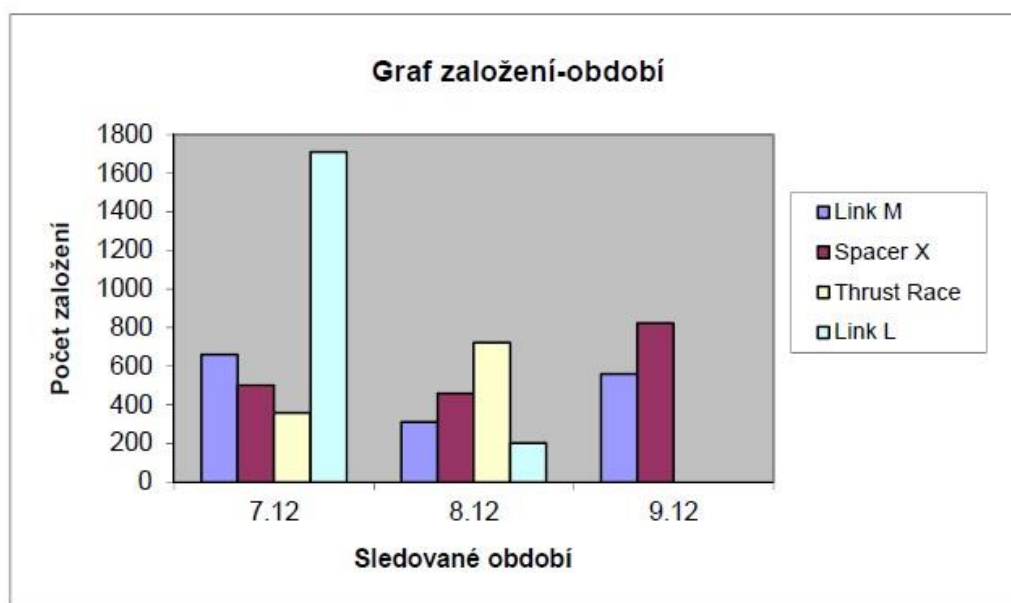
### 5.1.3 Období 07/2012 – 09/2012

V tomto období bylo broušeno se sadou SAP 393112. Celkový zisk v tomto období činil přibližně **6 138 EUR**, což je velmi podobné jako v předchozím období.

Počet založení		Sledované období			Celkem založení	Nabroušených dílů	Zisk	Zisk za dané období	Pofizovací náklady brus. kotoučů	Celkový Zisk
		7.12	8.12	9.12						
	Link M	661	311	561	1533	275940	5574,0	23227,3 EUR	17090 EUR	6137,3 EUR
	Spacer X	502	459	823	1784	481680	8959,2			
	Thrust Race	357	724	0	1081	116748	2124,8			
	Link L	1710	203	0	1913	325210	6569,2			

Tab. 5-4 Tabulka hodnot za období 07/12 - 09/12 [autor]

Z obrázku č. 5-3 a tabulky č. 5-4 je patrné, že v posledním sledovaném období 9.12 nebyly dva typy dílu vůbec broušeny. Toto mohlo mít za následek mírný pokles celkového zisku v období, kdy bylo broušeno s touto sadou brusných kotoučů.



Obr. 5-3 Graf počtu založení a období 07/12 – 09/12 [autor]

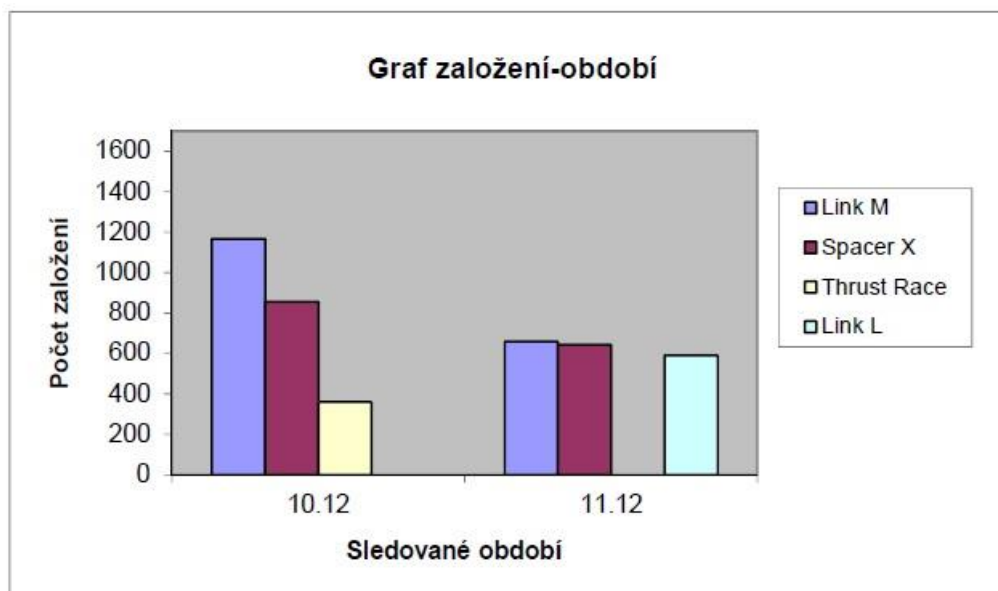
### 5.1.4 Období 10/2012 – 11/2012

V tomto období bylo broušeno se sadou SAP 395467. Celkový zisk se v tomto období dostal poprvé do záporných hodnot, přibližná hodnota činila **-186 EUR**. Tato hodnota prakticky znamenala, že se pořizovací cena této sady brusných kotouče vyrovnala zisku amortizace jednotlivých dílů. Tento fakt není nikterak hrozný, ale vzhledem k tomu, že v předchozích obdobích činili zisky v řádu tisíc EUR, museli se učinit příslušné opatření (viz. kapitola č. 3) k zvýšení celkového zisku.

Počet založení	Sledované období	Sledované období		Celkem založení	Nabroušených dílů	Zisk	Zisk za dané období	Pořizovací náklady brus. kotoučů	Celkový Zisk
		10.12	11.12						
Link M		1168	658	1826	328680	6639,3	16904,0 EUR	17090 EUR	-186,0 EUR
Spacer X		857	643	1500	405000	7533,0			
Thrust Race		359	0	359	38772	705,7			
Link L		0	590	590	100300	2026,1			

Tab. 5-5 Tabulka hodnot za období 10/12 – 11/12 [autor]

Jak je vidět na obrázku č. 5-4 tato sada brusných kotoučů byla používána pouze dva měsíce. Dokonce v těchto měsících nebyly některé díly vůbec broušeny, což by mělo spíše přispívat k delší životnosti brusných kotoučů.



Obr. 5-4 Graf počtu založení a období 10/12 – 11/12 [autor]

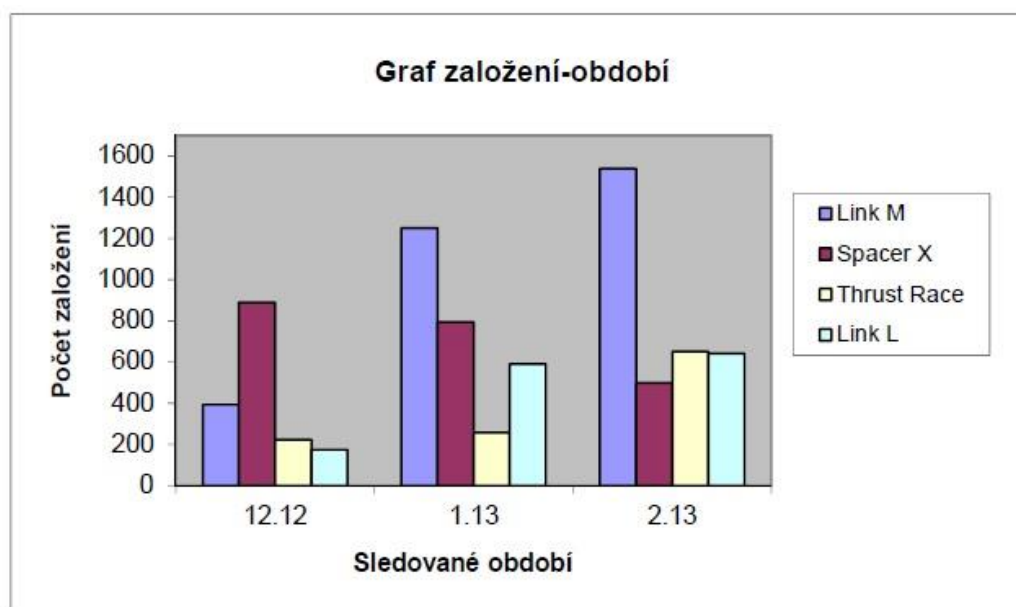
## 5.2 Finanční úspora vlastního návrhu

V tomto období bylo broušeno se sadou SAP 397050. Díky zavedení příslušných opatření se celkový zisk opět začal pohybovat v kladných hodnotách. Vyjádření v přesných číslech byla hodnota zisku téměř **12 500 EUR**. Což oproti předchozímu období je více než velmi dobré a dá se říct, že to byl snad krok správným směrem v udržení tohoto příznivého trendu.

		Sledované období			Celkem založení	Nabroušených dílů	Zisk	Zisk za dané období	Pořizovací náklady brus. kotoučů	Celkový Zisk
		12.12	1.13	2.13						
Počet založení	Link M	392	1251	1540	3183	572940	11573,4	29582,7	17090	12492,7
	Spacer X	890	794	498	2182	589140	10958,0			
	Thrust Race	222	257	652	1131	122148	2223,1	EUR	EUR	EUR
	Link L	175	590	641	1406	239020	4828,2			

Tab. 5-6 Tabulka hodnot za období 12/12 – 2/13 [autor]

Jak je patrné z obrázku č. 5-5 sada brusných kotoučů vydržela svoji životností po celé tři měsíce, na rozdíl od předchozího období. I podíl jednotlivých dílů se rovnoměrně vyrovnal, což jistě přispělo k celkově pozitivnímu hodnocení tohoto období.

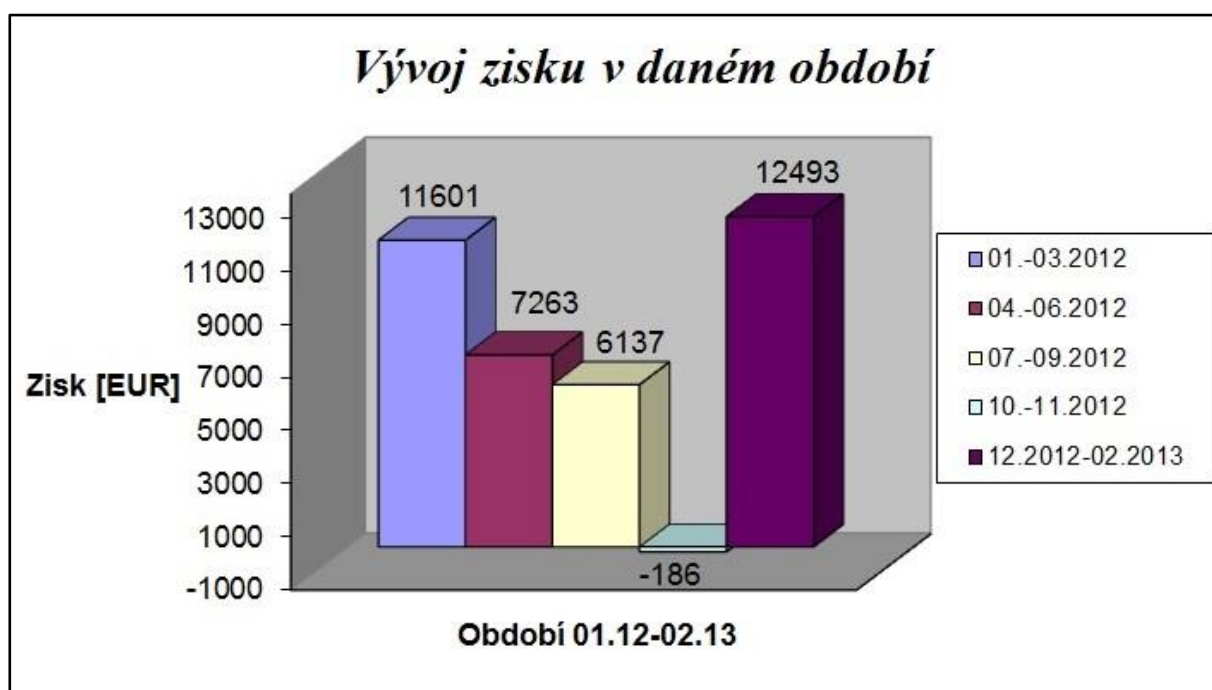


Obr. 5-5 Graf počtu založení a období 12/12 – 2/13 [autor]

### 5.2.1 Porovnání celkových zisků v sledovaném období

V této podkapitole jsou graficky znázorněny celkové zisky pro jednotlivá sledovaná období ( 1/2012 – 2/2013). Jak je patrné z obrázku č. 5-6 největší zisk byl z posledního sledovaného období, kde byly provedeny příslušná opatření k napravení nepříznivého vývoje z předchozího období.

Všechny hodnoty zisků v jednotlivých obdobích jsou sice vyčísleny v poměrně přesných hodnotách, ale musíme brát na zřetel nějakou přípustnou odchylku od těchto hodnot. V těchto vyhodnoceních jde především o to, zda amortizace na jednotlivé sadě kotoučů nejsme v záporných nebo příliš nízkých kladných číslech. Amortizace kotoučů slouží především k tomu, aby se pořizovací cena brusných kotoučů vyrovnala zisku. Pokud je zisk vyšší než pořizovací cena brusných kotoučů tím lépe pro nás.



Obr. 5-6 Graf zisku v jednotlivém období ( 1/12 – 2/13 ) [autor]

Podle předběžných výsledků sady brusných kotoučů, se kterou momentálně brousí, můžeme odhadnout, že příznivý vývoj v ziskovosti bude nadále udržen ve velmi pozitivních hodnotách. Bohužel momentálně se jedná pouze o teoretickou úvahu, protože sada je v současné době přibližně v polovině své životnosti. Proto také údaje z této sady zde nejsou zatím zobrazeny.

### 5.3 Návrh zvětšení tloušťky KBN segmentů na brusce Stähli

V této podkapitole bych se zmínil, jak jsem po dohodě s výrobcem kotoučů (firmou Tesch) dosáhl poměrně velké finanční úspory. Porovnání jsem pro větší přehlednost rozdělil do dvou variant. Ve variantě A jsou současné parametry a ve variantě B je navrhované zlepšení. Specifikace kotoučů zůstala stejná, pouze se změnila výška KBN segmentů (peletek).

#### 5.3.1 Varianta A (současná)

- pořizovací cena jednoho kotouče je **8545 EUR**
- výška CBN segmentů je **3 mm**
- cena 1 mm výšky segmentů jednoho kotouče je tedy **2848 EUR**

DIAMANT - GESELLSCHAFT TESCH GMBH

Carl-Goerdeler-Str. 14 D-71636 LUDWIGSBURG  
Postfach 1023 D-71610 LUDWIGSBURG  
Telefon: (07141) 403-1 Telefax: (07141) 403-217

**FAX - Mitteilung / message** Datum: 14.07.2008 kern05

Anz/to: Hugo Kern-Liebers, Schramberg Name: Herr Mengin / 09 APP/ Ext.: - 244  
Herrn Schwab - 241

zu Händen: Herrn Jochen Staiger Betr.: Ihre Anfrage vom 14.07.08

E-mail: Jochen.Staiger@kern-liebers.de Anzahl Seiten: 1 (einschl. Deckblatt)

**ANGEBOT**

Sehr geehrter Herr Staiger,

bezugnehmend auf Ihre Anfrage bei Herrn Gerlitzky, können wir folgendes Angebot unterbreiten:  
**Für Stähli - Maschine DLM 705**  
**Diamant-Schleifscheiben in Keramikbindung V546 mit hexagonalen Pellets SW20, Spalt 2mm**

2 Stück	Form 1A2 710/200/3 Körnung B39 - Konz. C125 <b>Komplettfertigung</b> Preis:	EUR/St. 9.910,-
2 Stück	Form 1A2 710/200/5 Körnung B39 - Konz. C125 <b>Komplettfertigung</b> Preis:	EUR/St. 12.480,-
2 Stück	Form 1A2 710/200/3 Körnung B39 - Konz. C125 <b>Wiederbelegung</b> der von Ihnen angelieferten Grundkörper Preis:	EUR/St. 8.545,-
2 Stück	Form 1A2 710/200/5 Körnung B39 - Konz. C125 <b>Wiederbelegung</b> der von Ihnen angelieferten Grundkörper Preis:	EUR/St. 11.120,-

**Nach Abklärung aller technischen Randbedingungen, sind wir bereit einen Satz mit X=3 mm auf der Basis zahlbar nach Gutbefund zu liefern**

Lieferzeit: ca. 6 - 8 Wochen bzw. nach Vereinbarung

Wir würden uns freuen, Ihrem Auftrag zu erhalten und verbleiben  
mit freundlichen Grüßen

Diamant-Gesellschaft TESCH GmbH

**Obr. 5-2** Cenová nabídka obnovení KBN segmentů současné varianty [autor]

### 5.3.2 Varianta B (návrh na zlepšení)

- pořizovací cena jednoho kotouče je **10970 EUR**
- výška CBN segmentů je **5 mm**
- cena 1 mm výšky segmentů jednoho kotouče je tedy **2194 EUR**

DIAMANT - GESELLSCHAFT TESCH GMBH

Carl-Goerdeler-Str. 14 D-71636 LUDWIGSBURG  
Postfach 1023 D-71610 LUDWIGSBURG  
Telefon: (07141) 403-1 Telefax: (07141) 403-217

**FAX - Mitteilung / message** Datum: 13.03.2013 Kern-Liebers 6

an/to: Kern-Liebers CR spol. s.r.o., CZ Name: Ralph Schwab / 24/22 APP/Ext.: - 241

zu Händen: Herrn Miroslav Tomek Betr.: Anfrage bei Herrn Raab  
Herrn Zdenek Bihari

E-mail: miroslav.tomek@kern-liebers.cz Anzahl Seiten: 1 (einschl. Deckblatt)  
zdenek.bihari@kern-liebers.cz Number of pages: (incl. cover)

**ANGEBOT**

Sehr geehrter Herr Tomek,  
Sehr geehrter Herr Bihari,

Vielen Dank für Ihre Anfrage. Wir bieten zu unseren Verkaufs- und Lieferbedingungen wie folgt an:

2 Stk. CBN-Schleifscheiben in keramischer Bindung  
Pellets kreuzweise geschlitz - SW20 Spalt 1mm  
Wiederbelegung  
Form 1A2 720 /200 /5 H252 T=50  
Körnung B39 C125  
Ausführung wie Werkzeugnummer 1401548 aber mit X=5

Preis: ..... **10.970,- Euro / Netto / pro Stück**

**LIEFERZEIT:** ca. 9-10 Wochen nach Bestelleingang bzw. nach Vereinbarung

Angebotsgültigkeit: 3 Monate

Wir würden uns freuen, Ihren Auftrag zu erhalten und verbleiben  
mit freundlichen Grüßen  
Diamant-Gesellschaft TESCH GmbH

Obr. 5-2 Cenová nabídka obnovení KBN segmentů vylepšené varianty [autor]

### Vyhodnocení variant

- rozdíl mezi variantami je **3270 EUR** za jeden kotouč, tj. **6540 EUR** za sadu dvou brusných kotoučů
- teoretická úspora je tedy **15 700 EUR/rok** (při uvažovaném opotřebení 1 mm/měsíc)

## 6 Závěr

Tato diplomová práce měla za úkol zvýšit životnost brusných kotoučů na dvoukotoučové brusce a vylepšení celkového výrobního procesu. Hlavním důvodem vytvoření této práce, byl náhlý pokles životnosti brusných segmentů v období října až listopadu roku 2012. Vlastní vylepšení se skládalo jak z technologického tak ergonomického.

Prvním vylepšení bylo zmenšení šířky drážky brusných segmentů, to mělo za následek zlepšení pohybu problematického dílu Spaceru (X) po brusném kotouči a zvýšení plochy jednotlivých segmentů při stejné pořizovací ceně brusných segmentů. Podle předběžných výsledků (s touto sadou brusných kotoučů se stále brousí) se zdá, že z hlediska trvanlivosti brusných kotoučů to byl krok správným směrem. Druhým zlepšením, bylo zavedení častějšího měření rovinnosti pracovních kotoučů a také vytvoření tabulky na zapisování naměřených hodnot. Dobrá rovinnost pracovních kotoučů je velmi důležitá při oboustranném broušení a taky samotné změření aktuálního stavu je důležité. Posledním zlepšením bylo pořízení pracovní svítilny k pracovišti, kde se zakládají díly do unášeců. Toto zlepšení bylo zavedeno, kvůli častým nečistotám z přepravných beden a nevhodně vylisovaným dílům. Díky tomuto vylepšení se mírně podařilo zmenšit počet nečistot, které by mohly vniknout do pracovního prostoru.

Z ekonomického hodnocení vyplývá, že po mírných úpravách řešení v této diplomové práci se opět hodnoty amortizace brusných kotoučů začali pohybovat stejně jako v dřívějších dobách. Po zavedení všech vylepšení měla znovu sada brusných kotoučů životnost něco okolo třech měsíců, takže i z časového hlediska se výrobní proces ustálil na dřívějších hodnotách. Bylo by zcela nevhodné, kdyby se znovu začaly hodnoty zisku dostávat do záporných hodnot. Je nanejvýš pravděpodobné, že se po řádném zaběhnutí všech vylepšení, ještě hodnoty zisku budou mírně zvyšovat.

Celkově lze jednotlivá vylepšení vytvořená v této diplomové práci hodnotit pozitivně, ale pořád bude co zlepšovat při broušení jednotlivých dílů. V budoucnu bude probíhat testování nové výšky segmentů, a pokud výsledky budou vyhodnoceny kladně, bude tato sada kotoučů používána při broušení všech kalených dílů. Tato změna by měla především zmenšit pořizovací náklady kotoučů vůči výšce brusných segmentů.

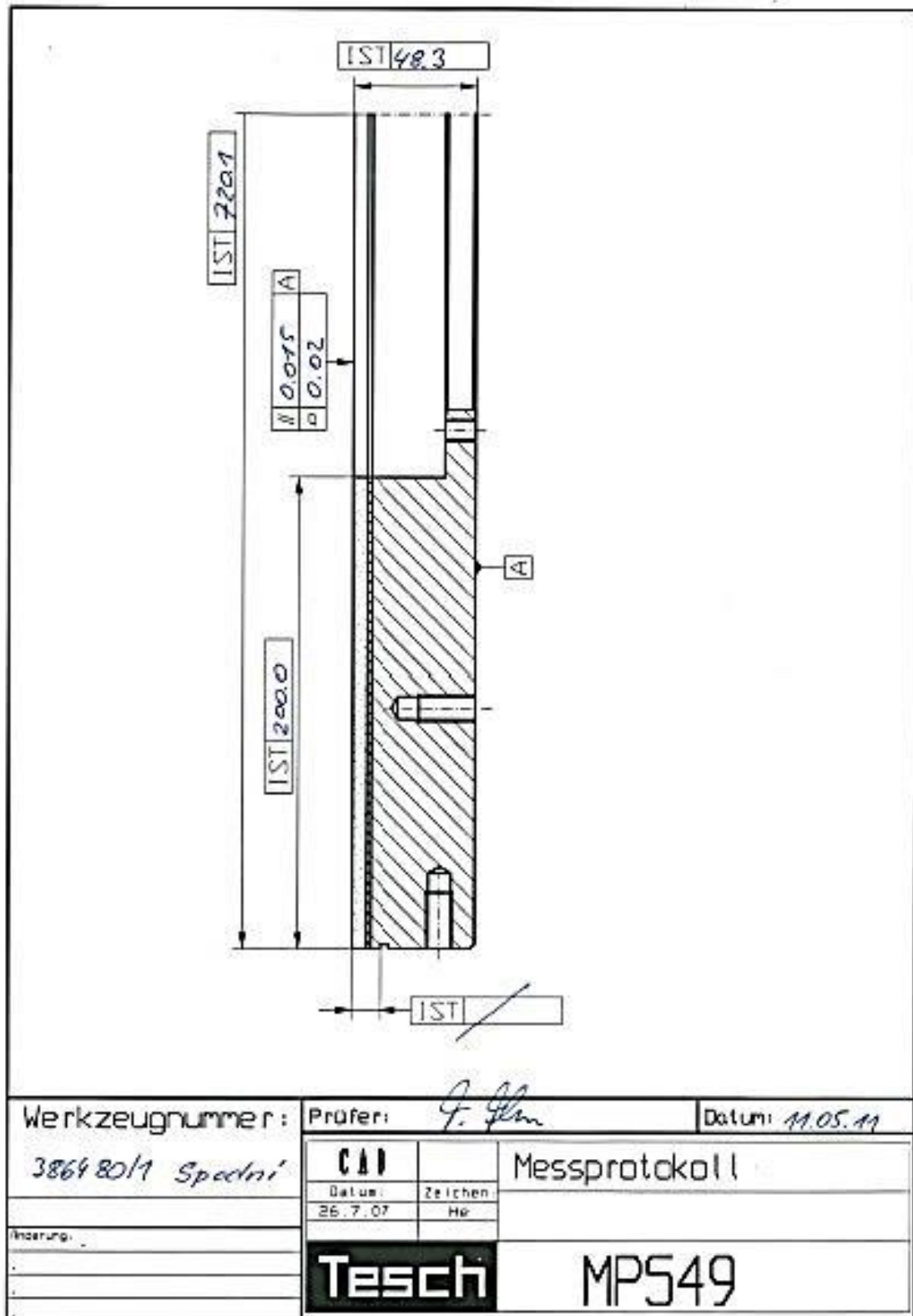
## Seznam použité literatury:

- [1] MÁDL, J. *Teorie obrábění*. Praha: ČVUT, 1994. ISBN 80-01-00323-X
- [2] SOVA, F. *Technologie obrábění a montáže*. 3.vyd. Plzeň: 2001. ISBN 80-7082-823-4
- [3] STAŇEK, J. - NĚMEC, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových prací*. Plzeň: ZČU, 2005. ISBN 80-7043-363-9
- [4] VLACH, B. *Technologie obrábění a montáže*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00143-9
- [5] MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Praha: 1979
- [6] ŠTAJNOCHR, L. *Broušení nástrojů*. Praha: 2004. ISBN 80-247-0742-X
- [7] Fy. KERN-LIEBERS CR [online]. 2013. Dostupné z: <http://www.kern-liebers.cz>
- [8] *Základní vědomosti o dvoukotoučové brusce*. Fy STÄHLI Lapping Technology
- [9] TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část [online]. Brno, 2005. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvencni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf). Učební text. VUT v Brně.
- [10] ARDEL, T. *Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik* Berlin, 2000. ISBN 3-8167-59609-3. Disertační práce
- [11] Internetový katalog firmy HHW, <http://www.hhw.cz/>



## Výkresy a dokumenty

- Výkres nového kotouče při dodání od dodavatele



- Výkres unášeče dílu Spacer (X) pro broušení

