



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## KONSTRUKČNÍ NÁVRH BRUSKY PRO OSTŘENÍ PILOVÝCH KOTOUČŮ

DESIGN OF GRINDING MACHINES CIRCULAR SAW BLADES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Tatíček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2016



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Vojtěch Tatíček**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

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 bakalářské práce:

## Konstrukční návrh brusky pro ostření pilových kotoučů

### 1. Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete a konstrukčně zpracujete řešení manuální brusky pro ostření pilových kotoučů z nástrojové oceli. Bruska musí umožňovat seřízení polohy brusného nástroje, tak, aby bylo možné nástroj naostřit s požadovanou geometrií. Všechny pohyby nutné k realizaci broušení budou realizovány manuálně obsluhou zařízení, proto při řešení kladte důraz i na bezpečnost, ergonomii a hygienu práce.

### 2. Cíle bakalářské práce:

3. Důkladná analýza problematiky
4. Návrh variant řešení
5. Konstrukční návrh vybrané varianty - 3D model,
6. Výpočtová dokumentace včetně dimenzování hlavních částí
7. Výkresová dokumentace vybraných uzlů

### 8. Seznam literatury:

SHIGLEY, J.E., CH.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. Brno: Naladatelství VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

JOSTEN, E., REICHE, T. a WITTCHEN, B. (2010): Dřevo a jeho obrábění. Grada, Praha, ISBN 978- 80-247-2961-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

-----  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

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

## **ABSTRAKT**

Tato práce je zaměřena na konstrukci brusky pilových kotoučů. Nejprve jsou důkladně probrány pilové kotouče a informace vhodné k dané problematice. Poté je navrženo několik možných variant řešení této brusky, z nichž je jedna vybrána a dále rozvinuta. Po provedení několika výpočtů jsou detailně rozebrány hlavní části modelu. Nakonec je zde uveden detailní postup práce na stroji včetně upínání pilového kotouče a nastavování řezných podmínek.

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on design of a grinding machine of saw blades. At first there are deeply talked over a saw blades and applicable information given for this problematic. After that there a few solutions of the grinding machine is suggested and one of them was chosen and developed. After solving a few calculations, the main part of the scale were deeply analysed and discussed. At the end there is stated detailed operating advancement of using the machine included fixing of saw blade and setting up a right grinding conditions.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bruska pilových kotoučů, ostříčka pilových kotoučů, ostření nástrojů, broušení zubů pilového kotouče, návrh manuální brusky.

## **KEYWORDS**

Grinding machine of saw blades, saw blade sharpener, sharpening tools, grinding of saw teeth, design of manual grinding machine.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TATÍČEK, V. *Konstrukční návrh brusky pro ostření pilových kotoučů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 64 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D..





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce za podnětné připomínky a dobře míněnou kritiku, která byla určitě přínosem k této práci.

Největší díky bych však směřoval k rodině a své přítelkyni za psychickou podporu, jenž měla pro mne obrovský význam a bez které by se mi psalo velice těžko.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svým přátelům za konzultaci práce ať po stránce stylistické či pravopisné.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. 5. 2017

.....

Tatíček Vojtěch



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1	Základní pojmy .....	17
2.2	Řezání pilovými kotouči .....	17
2.2.1	Řezné rychlosti.....	17
2.2.2	Odstředivé síly .....	18
2.3	Geometrie pilových nástrojů .....	18
2.3.1	Nástrojové úhly: .....	19
2.4	Druhy pilových kotoučů:.....	21
2.4.1	Materiály pilových kotoučů: .....	22
2.4.2	Způsoby vytvrzení ostří zubů:.....	23
2.4.3	Rozvod a pěchování zubů: .....	23
2.4.4	Správné skladování kotoučů .....	24
2.4.5	Způsoby otupení zubů.....	24
2.5	Základní poznatky broušení: .....	25
2.5.1	Brusné materiály: .....	26
2.5.2	Tvary brusných kotoučů: .....	27
2.5.3	Řezná rychlost:.....	27
2.5.4	Výběr brusného kotouče: .....	27
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE .....</b>	<b>29</b>
3.1	Rozšířené zadání: .....	29
3.2	Rozdělení brusek:.....	29
3.3	Současné možnosti na trhu:.....	30
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>33</b>
4.1	Varianta 1 - Lineární posuv kotouče na lineárním suportu .....	33
4.2	Varianta 2 - Rotační součásti místo suportu .....	35
4.3	Varianta 3 - Svislá poloha pilového kotouče .....	36
4.4	Varianta 4 - Hlavní posuv brusným kotoučem .....	37
4.5	Varianta 5 - Kombinace předchozích variant.....	38
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>39</b>
5.1	Výpočty.....	39
5.1.1	Výpočet potřebných otáček:.....	39
5.1.2	Výpočet řezné rychlosti: .....	39
5.1.3	Výpočet výkonu motoru: .....	39
5.2	Volba elektromotoru .....	40
5.3	Analýza Metodou konečných prvků (MKP) vybraných součástí .....	40
5.3.1	Součást odlitku držení motoru .....	40
5.3.2	Výpočet zatížení:.....	41
5.3.3	Součást plechu k držení motoru .....	42
5.4	Posuvná lišta.....	44
5.5	Vymezení správného úběru materiálu .....	44
5.5.1	Dělení s přídavným kotoučem .....	44
5.5.2	Dělicí zarážka.....	45
5.5.3	Dělení pákovým podavačem .....	46
5.5.4	Doraz hlavního posuvu .....	46

5.6	Uchycení pilového kotouče .....	46
5.7	Otočný kloub .....	47
5.7.1	Pohybový šroub .....	48
5.8	Otočné klouby motoru.....	49
5.9	Odměřovací stupnice.....	49
5.10	Nastavení a postup při broušení .....	50
5.10.1	Nastavení velikosti kotouče a jeho upnutí .....	50
5.10.2	Nastavení pro broušení čela zubu .....	51
5.10.3	Nastavení pro broušení hřbetu zubu .....	51
5.10.4	Postup broušení .....	52
5.11	Bezpečnost a ochranná opatření:.....	52
<b>6</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>59</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>61</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>63</b>

# 1 ÚVOD

V souvislosti se zvyšováním používání dřeva jakožto stavebního a konstrukčního prvku se zvýšily požadavky na jeho opracování a tedy zvýšení kvality pracovních nástrojů. Ačkoli u samotného dělení materiálu bylo nejvíce využíváno katrů, se vzrůstající produktivitou a náročností práce se v některých odvětvích začaly uplatňovat pily kotoučové, které bylo možné lépe přizpůsobit na vzrůstající množství dělených materiálů, jako jsou například OSB desky, laminát, dřevotříska nebo plast, díky konstantní řezné rychlosti. Samozřejmě pilový kotouč je v procesu řezání nástroj a jako i jiné nástroje vyžaduje určitou údržbu. Nejdůležitějším faktorem jeho údržby je broušení jeho ostří, aby práce vykonaná tímto nástrojem byla co nejefektivnější s ohledem na spotřebovanou energii a kvalitu řezu. Ovšem s tím souvisí také vývoj nástrojů na jejich ostření. Zatímco na začátku používání řezných nástrojů si bylo potřeba vystačit třeba jen s pilníkem, v dnešní době již existuje mnoho důmyslných zařízení k jejich ostření, jež mnohonásobně zvýšily účinnost i kvalitu pilových nástrojů.

S přibývajícím počtem aplikací samozřejmě roste také množství druhů pilových kotoučů. Podle užití se mění materiál, velikost a šířka kotouče a samozřejmě počet a tvar zubů. Kvůli tomu je třeba při návrhu brusky dbát na dostatečnou variabilitu stroje, tedy aby se s bruskou dalo nabrousit dostatečné množství druhů pilových kotoučů. Zároveň by měla být práce s ní dosti pohodlná a uživatelsky přívětivá. Ovšem nejdůležitějším faktorem je pro nás samozřejmě funkce a kvalita provedené práce.

Není však jednoduché přijít s něčím úplně novým. Často ale stačí zkombinovat některé stávající řešení, aby vzniklo něco nového a byl dosažený postup v jejich vývoji. Proto je v této práci vycházeno z již fungujících řešení, která byla různě kombinována a upravována, aby vzniklý produkt byl jednoduchý, levný a spolehlivý.

Mezi cíle této práce patří přiblížení problematiky broušení pilových kotoučů i lidem, kteří ji využívají v domácím prostředí bez speciálních přípravků a složitých strojních zařízení, která jsou navíc velice drahá a pro obvyklé lidi cenově nedostupná. Výstupem by mělo být řešení, které by dostatečně postihovalo kvalitu a přesnost ostření spolu s kompaktností stroje za přiměřeně dostupnou cenu.





## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Základní pojmy

Obrábění - proces u kterého dochází k úběru materiálu nástroji tak, že postupem práce vzniká obrobená plocha určitých vlastností a určité funkce. [4]

Obrobitelnost - schopnost nástroje obrábět daný materiál na základě určitých materiálových charakteristik. Souvisí s řezným výkonem, řeznými odpory a jakostí výsledného povrchu, popřípadě s trvanlivostí řezného nástroje. Zpravidla, čím horší obrobitelnost, tím menší trvanlivost nástroje. [4]

V procesu řezání pilovým kotoučem je řezným nástrojem právě kotouč a obrobek je námi dělený materiál, pro nás tedy nejčastěji dřevo. Děleným materiálem mohou být také plasty, měkké kovy (hliník) nebo různé průmyslově upravené dřevěné materiály jako jsou například dřevotřískové OSB desky. V procesu broušení nástroje je nástroj brusný kotouč a obrobek je právě pilový kotouč (pilový nástroj).

### 2.2 Řezání pilovými kotouči

Pro správné pochopení ostření pilových kotoučů je třeba se důkladně seznámit s procesem řezání na kotoučových pilách.

Při řezání koná pilový kotouč rotační pohyb, což je pohyb hlavní. Vedle toho je zde ještě pohyb vedlejší, tedy posuv obrobku do místa řezu a tak výsledný pohyb tohoto řezného procesu má tvar cykloidy. Avšak při úvaze relativně velmi malé posuvové rychlosti oproti otáčivému pohybu nástroje je posuvová rychlost zanedbatelná, a tak se řezná rychlost počítá pouze z hlavního pohybu podle rovnice 1. [4]

Rychlost hlavního pohybu:

$$(1) v = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n_p}{60} [m \cdot s^{-1}] [3]$$

kde  $D_p$  je průměr pilového kotouče [m] a  $n_p$  je počet otáček [ $\text{min}^{-1}$ ] pilového kotouče. [3]

#### 2.2.1 Řezné rychlosti

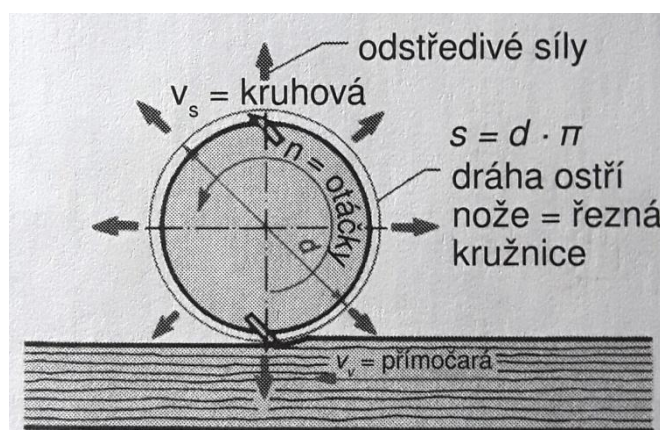
Velikosti řezných rychlostí pilových kotoučů se liší především podle druhu procesu obrábění, materiálu nástroje a hlavně podle materiálu obrobku. Vybrané druhy materiálů a jejich doporučené řezné rychlosti jsou zobrazeny v tabulce na obrázku 1.

Ocelové pilové kotouče (HSS)	60 m/s
Plátkové pilové kotouče (HS (SK) plátky)	
Podélný řez, masivní dřevo	80-90 m/s
Příčný řez, masivní dřevo	70-80 m/s
Dřevotřískové desky, překližky	70-80 m/s
Desky potažené umělou hmotou	70 m/s
Umělohmotné a vrstvené desky	70-80 m/s
Neželezné kovy (hliník)	20-50 m/s

Obr. 1) Tabulka doporučených hodnot řezných rychlostí pilových kotoučů [3]

### 2.2.2 Odstředivé síly

Vysoké řezné rychlosti spolu s velkými průměry kotoučů spolu nesou jisté úskalí v podobě velkých odstředivých sil na zubech nástrojů. Odstředivé síly na rotačních strojích vytvářejí kruhová pole (viz obrázek 2), která se při zcela vyváženém a geometricky přesném tvaru zubů vzájemně vyruší a tedy jejich provoz je zcela plynulý. Avšak při vzniku zcela malé nevývahy začnou odstředivé síly vytvářet na zbytek stroje dosti značné namáhání a na stroji se vytvoří nepříznivé vibrace. Zatíženo je samozřejmě i ostří, které pak nepracuje zcela rovnoměrně a má nižší trvanlivost a tím pádem i nižší účinnost. V krajním případě začnou vznikat vibrace dostatečně velké na to, aby v konečném důsledku mohly způsobit fatální následky, například až roztržení kotouče nebo únavový lom nosné hřídele. [3]

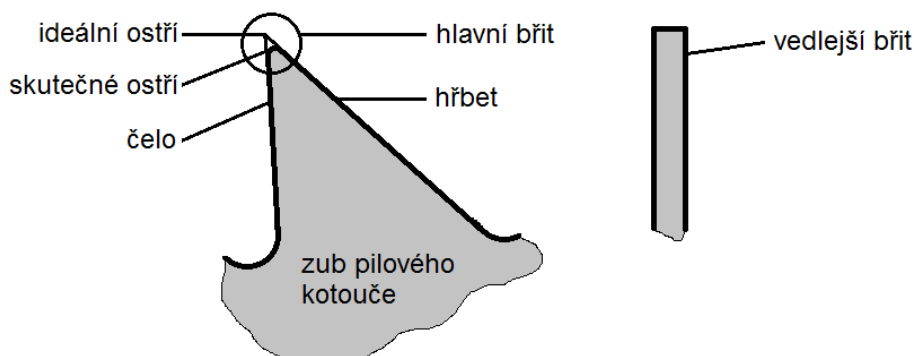


Obr. 2) Znázornění odstředivých sil na pilovém kotouči [3]

Vzniku nevývah se snažíme předejít především správným upnutím kotouče a geometrickou přesností vyrobeného kotouče. Na geometrickou přesnost je třeba brát zřetel i právě při broušení kotoučů. Důležité je, aby úběr materiálu byl rovnoměrný po celém obvodu, tedy na každém zubu stejný. Toho lze docílit správnými přípravky, které vymezí přesný úběr materiálu na každém zubu. U návrhu brusky pilových kotoučů jsou tyto přípravky právě jedny z nejdůležitějších aspektů pro přesnost zubů a jejich ostří.

### 2.3 Geometrie pilových nástrojů

Pro správné nabroušení nástroje je třeba znát základní pojmy i přesné hodnoty, které nástroj definují. Podle nich lze s jistotou určit jejich rozměry a tvar.

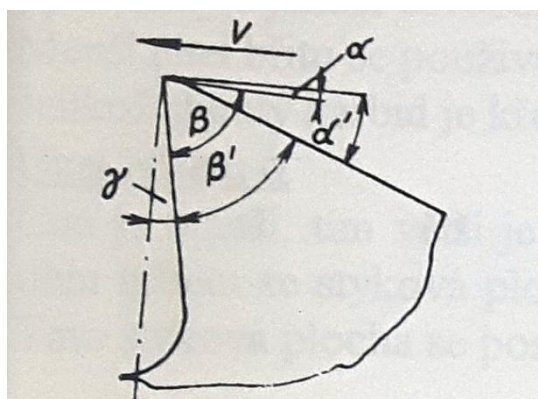


Obr. 3) Hlavní části zubu [4]

Jednotlivé zuby jsou rovnoměrně rozmístěny po obvodu kotouče. Zuby mají tyto hlavní části (obrázek 3): [4]

- Čelo - po něm je odváděna tříska z místa řezu
- Hřbet - polohou je umístěn blíže k obrobku, o který se aspoň částečně otírá
- Ideální ostří - průnik teoretických rovin čela a hřbetu
- Skutečné ostří - průnik skutečných rovin čela a hřbetu nebo aspoň jejich zakřivených ploch
- Hlavní břít - funkční část čela a hřbetu, tvořen zakřivenými plochami čela a hřbetu
- Vedlejší břít (ostří) - průnik roviny čela a boku zubu

Zábřit - ploška na obrázku 4 vytvořená ke zvětšení úhlu břitu a ke zmenšení úhlu hřbetu. Díky ní se zvýší tuhost břitu.

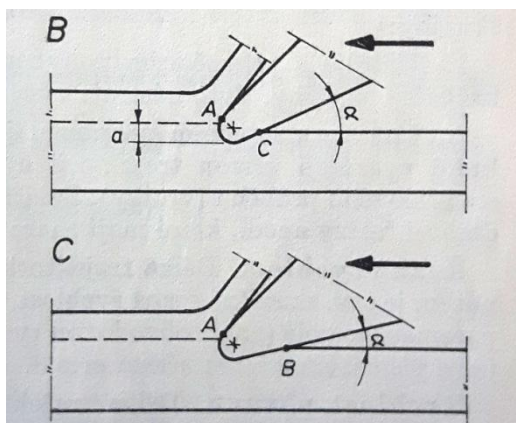


Obr. 4) Zub se zábřitem [4]

### 2.3.1 Nástrojové úhly:

Hlavní nástrojové úhly jsou vyobrazeny na obrázku 4. Jsou měřeny od obrobené plochy k rovině nástroje normálové nebo tečné.

**Úhel hřbetu  $\alpha$**  - úhel mezi hřbetem nástroje a rovinou řezu. V případě zábřitu označeno jako  $\alpha$  a  $\alpha'$  podle obrázku 4. Velikost ovlivňuje tření hřbetu s obrobkem tak, jak je to zobrazeno na obrázku 5. Velký úhel hřbetu zajišťuje menší tření a má přímý vliv na rychlost otupování. S postupným otupením břitu se třecí plocha zvětšuje. Čím větší je třecí plocha vzniklá z otupení, tím větší je řezný odpor. Rozměry hřbetního úhlu se běžně pohybují mezi  $10^\circ$  až  $30^\circ$ . [4]



Obr. 5) Různé úhly břitu, vliv na řezný odpor [2]

**Úhel čela  $\gamma$**  - úhel, který svírá základní rovina (normálová rovina řezu) a rovina čela. Úhel může nabývat v některých případech až záporných hodnot. V takovém případě se jedná o negativní úhel čela a dochází k tzv. škrabání. Ovšem v drtivé většině případů je úhel čela kladný a při řezném procesu dochází k tzv. vytrhávání vláken. Z pravidla platí, že větší velikost úhlu čela snižuje řezný odpor, avšak snižuje tuhost břitu a zvyšuje tedy rychlost otupení. Je tedy třeba volit optimální úhel podle materiálu břitu i řezaného materiálu. [3],[4]

**Úhel břitu  $\beta$**  - úhel svírající rovina čela a hřbetu. ( $\beta'$  v případě zábřitu) Lze dopočítat vztahem:  $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$ . Ovlivňuje řezný odpor a rychlost otupování. Čím menší je úhel břitu, tím menší je odporová síla, ale nástroj se více otupuje. Menšího úhlu je použito pro měkké dřevo. Pro tvrdé dřevo je úhel břitu větší. Podobně se pak u tvrdších materiálů nástroje (slnuté karbidy) používá větších úhlů břitu než u nástrojových ocelí. [4]

**Úhel řezu  $\delta$**  - lze dopočítat vztahem:  $\delta = 90^\circ - \gamma = \alpha + \beta$ . Tento úhel sdružuje vlastnosti ostatních základních úhlů a jeho velikost ovlivňuje kromě řezného odporu i kvalitu řezu a výslednou drsnost povrchu obrobku. [4]

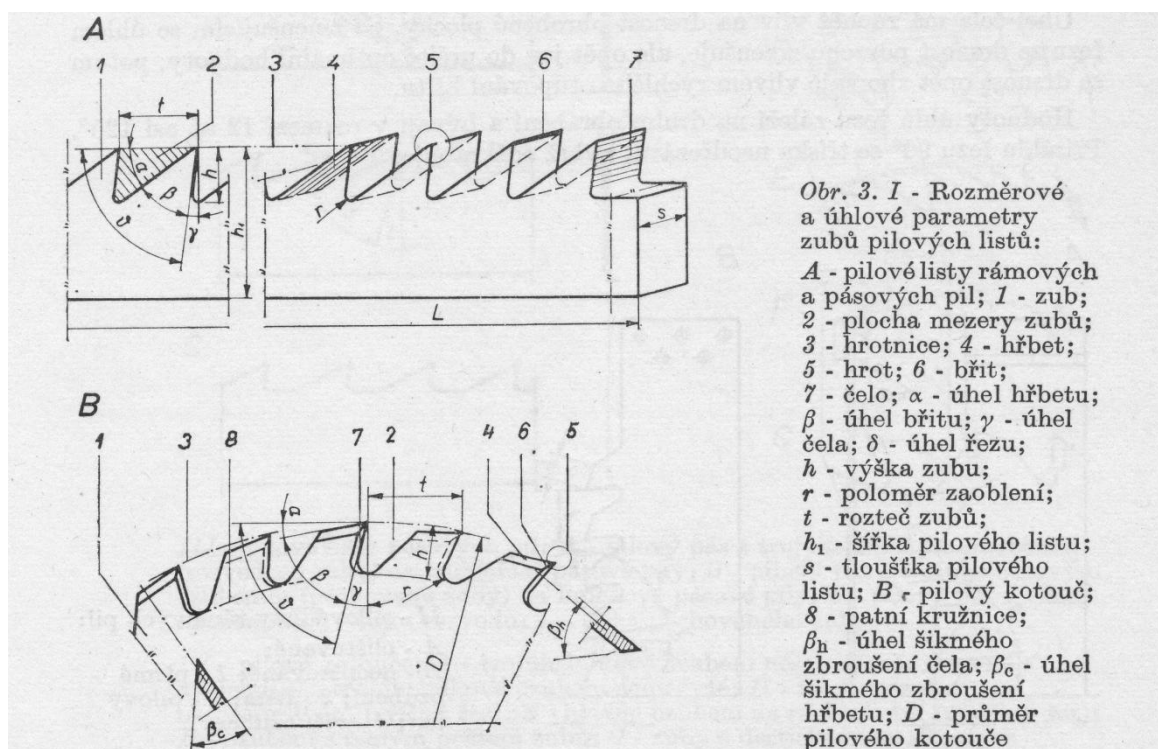
**Úhel zúžení čela  $\varepsilon$**  - úhel svírající mezi čelními bočními břity a základní rovinou. Usnadňuje pohyb kotouče obrobkem. Obvyklá hodnota je  $0^\circ$  až  $5^\circ$ . [4]

**Úhel zúžení hřbetu  $\varepsilon'$**  - úhel mezi boční čelní hranou a rovinou kotouče (určen v průmětu k rovině řezu). Podobně jako úhel zúžení čela  $\varepsilon$ . [4]

**Úhel šikmého zbroušení čela  $\beta_h$**  - úhel, o který je čelo zbroušeno vůči rovině kotouče

**Úhel šikmého zbroušení hřbetu  $\beta_c$**  - úhel, o který je hřbet zbroušen vůči rovině kotouče

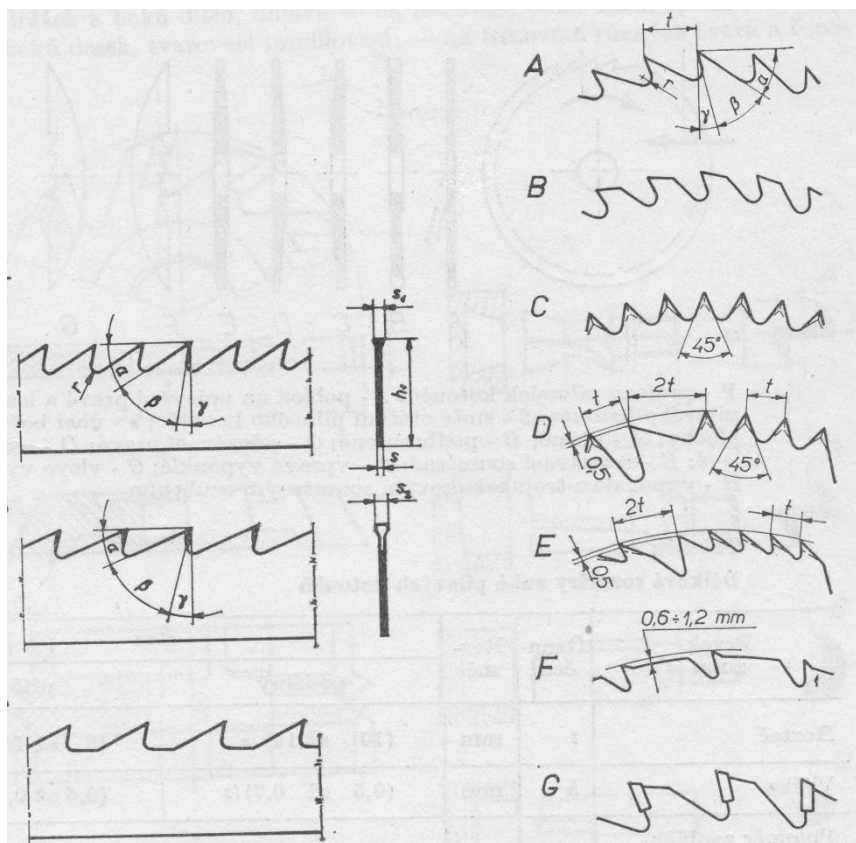
Další parametry, které definují tvar a velikost kotouče: počet zubů, výška zubu, šířka pilového listu, tloušťka pilového kotouče a poloměr zaoblení zubové mezery. Schematicky to znázorňuje obrázek 6.



Obr. 6) Znázornění jednotlivých nástrojových úhlů pilového kotouče [2]

## 2.4 Druhy pilových kotoučů:

Hlavní rozměry kotouče jsou jeho průměr, šířka a tloušťka. Pilové kotouče dělíme především podle tvaru ozubení a podle průřezu. To se mění podle způsobu použití. Hlavní typy pilových ozubení jsou vyobrazeny na obrázku 7. [2]



Obr. 7) Druhy ozubení [2]

A - trojúhelníkové ozubení nesouměrné; B - vlčí ozubení; C - trojúhelníkové ozubení souměrné; D - ozubení hladící na přerézávání (příčný řez); E - hladící ozubení na rozřezávání (podélný řez); F - ozubení s malým počtem zubů; G - zuby s destičkami ze slinutých karbidů [2]

Ačkoliv počet, velikost a rozmístění zubů je dán podle druhu obrábění, druhu materiálu obrobku a potřebné kvality obráběné plochy, tak pro představu přibližných rozměrů nám může pomoci tabulka na obrázku 8, ze které si lze přibližně nějakou představu o rozměrech zubů udělat. Zpravidla pro tvrdší dřevo a lepší kvalitu obrobenej plochy se využívá jemnějšího ozubení s větším počtem zubů. Naopak pro měkké dřevo a vyšší výkonnost obrábění se používá menší množství větších zubů.



Prvek zubu	Označení	Rozměr	Řez	
			podélný	příčný
Rozteč	$t$	mm	$(10 \text{ až } 14) \cdot s$	$(8 \text{ až } 10) \cdot s$
Výška	$h$	mm	$(0,5 \text{ až } 0,7) \cdot t$	$(0,6 \text{ až } 0,9) \cdot t$
Poloměr zaoblení mezery	$r$	mm	$0,2 \cdot t$	
Minimální počet zubů kotouče	$Z_{\min}$	ks	$(0,31 \text{ až } 0,22) \frac{D}{s}$	$(0,4 \text{ až } 0,3) \frac{D}{s}$

Obr. 8) Tabulka délkových rozměrů zubů pilových kotoučů [2]

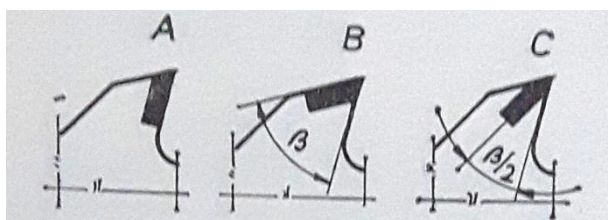
#### 2.4.1 Materiály pilových kotoučů:

Pro běžné použití se používají nástrojové uhlíkové a nízkolegované oceli. U uhlíkových ocelí ovlivňuje výsledné vlastnosti především obsah uhlíku. Takové nástroje je třeba ještě povrchově upravit (žihání a kalení). Obsah uhlíku se pohybuje od 0,6 až po 1,1 % uhlíku. [2]

Pro nároky vyšší trvanlivosti nástroje se používají vysokolegované oceli. Stejně jako do nízkolegovaných ocelí se zde ovšem ve větším množství přidávají tzv. legury, které výrazně zlepšují vlastnosti legovaných materiálů. Velice významné legury jsou chrom, wolfram, vanad a mangan, které zvyšují tvrdost a ořezavost a přispívají k lepší prokalitelnosti materiálu. [2]

Pokud ani vysokolegované oceli nesplní svůj účel, kvůli tvrdosti obráběného materiálu (například kvůli lepidlům u dřevotřískových materiálů, popřípadě ztíženým pracovním podmínkám a nečistotám), tak lze na zuby přidělat destičky ze slinutých karbidů. Slinuté karbidy disponují velkou tvrdostí, avšak jsou velice křehké, a proto je u nich třeba dbát na správné skladování. Geometrie zubů se také přizpůsobuje jejich křehkosti a to tak, že se zvyšuje úhel břitu. Díky jejich tvrdosti a vyšší trvanlivosti se snižují náklady na výměnu nástroje a jeho ostření. Při delším provozování se tím pádem dorovnají náklady na jejich pořízení, které jsou samozřejmě vyšší. [2]

Destičky ze slinutých karbidů se na nástroje připevňují především elektrickým indukčním nebo odporovým pájením. Poloha se někdy liší, jak je to na obrázku 9. Kvůli malé tepelné vodivosti je třeba slinuté karbidy ostřit velice opatrně, bez velkých přítlačných sil, aby kvůli teplotní nestálosti nevznikaly v břitu zbytečné trhlinky. Samozřejmě u destiček ze slinutých karbidů není potřeba dělat rozvod zubů, protože destičky zpravidla bývají širší než je tloušťka kotouče. Podobný přístup se volí u destiček z polykrystalického diamantu (PKD). [2]



Obr. 9) Způsoby uložení destiček ze slinutých karbidů [2]

### 2.4.2 Způsoby vytvrzení ostří zubů:

Zvýšení trvanlivosti nástroje lze dosáhnout i povrchovou úpravou. Dva nejzákladnější způsoby jsou elektrokontaktní kalení a nitridace. Existují i jiné způsoby, ale jejich účinnost není tak velká, a proto se na našem území tolik nevyskytují. Pro slinuté karbidy se již žádné povrchové úpravy nepoužívají. [2]

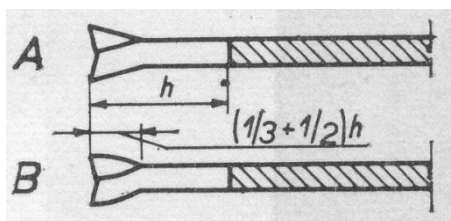
Elektrokontaktní kalení se zaměřuje pouze na zuby pilových kotoučů, kde se k vrcholu zubu připevní elektroda a pomocí elektrického proudu se zvýší lokálně teplota a tím se zub postupně zakalí. Po dvou až třech ostřeních je třeba takové kalení zopakovat. [2]

Nitridace se používá zejména pro úpravu povrchu celých nástrojů, kde se v nitridační lázni za teplot 480 až 540 °C zvýší tvrdost povrchu. Trvanlivost se často zvýší až čtyřnásobně. [2]

### 2.4.3 Rozvod a pýchování zubů:

V procesu řezání je snaha, co možná nejvíce snížit řezný odpor, který klade jak na stroj tak i na kotouč velké silové i teplotní nároky a v některých případech i snižuje kvalitu řezu. Pro snížení tření boků pilového kotouče a obráběného materiálu se dělají různá opatření jako jsou rozvod zubů nebo pýchování.

Rozvod zubů se provádí tak, že se postupně každý druhý zub vychýlí ze střední roviny kotouče o nějaký zlomek šířky kotouče. Zbylé zuby se samozřejmě vychylují o stejnou hodnotu na druhou stranu. Zpravidla se zuby vychylují v  $1/3$  až  $1/2$  výšky zubu. Nejpožívanější druhy jsou přímé rozvody zubů (obrázek 10 A) a rozvod zubů s pootočením (obrázek 10 B), u kterého je zajištěna lepší stabilita při řezání. [2]



Obr. 10) Druhy rozvodů zubů [2]

Důležité je, aby pro obě strany a pro všechny zuby byla hodnota rozvodu stejná, jinak může docházet právě k nadměrnému namáhání a zahřívání nebo k zařezávání nástroje. Pro lepší přesnost je možno využít strojních zařízení, tedy speciálních strojů pro rozvod zubů. Pro domácí použití postačí ruční rozváděcí kleště nebo upravené ruční lisy. Rozvádění zubů se provádí ještě před broušením nástroje, aby nedošlo k jeho opětovnému otupení během procesu broušení.

Hodnotu vychýlení nejvíce ovlivňuje materiál obrobku. U dřeva je tomu tak, že čím tvrdší dřevo je, tím menší vychýlení zubů stačí, což souvisí se stlačitelností jednotlivých druhů dřevin. Významný faktor také hraje vlhkost dřeva. U vlhčího dřeva se naopak používá větších rozvodů. Nikdy však nelze použít rozvod větší než je samotná tloušťka pilového kotouče, protože se pak výrazně zvyšuje řezný odpor a nestabilita řezu. Tabulka doporučených rozvodů je zobrazena na obrázku 11. [2]

<b>Doporučené hodnoty pro pěchování RP</b>	
<b>Dřevo</b>	<b>Rozvod na jednu stranu</b>
Měkké - vlhkost do 25%	0,55 mm - 0,65 mm
Měkké - vlhkost nad 25%	0,65 mm - 0,75 mm
Měkké - zmrzlé	0,55 mm - 0,65 mm
Tvrdé - vlhkost do 25%	0,45 mm - 0,50 mm
Tvrdé - vlhkost nad 25%	0,55 mm - 0,60 mm
Tvrdé - zmrzlé	0,45 mm - 0,50 mm

Obr. 11) Tabulka doporučených rozvodů u pilových kotoučů [22]

Další však méně významnou metodou pro zvětšení šířky účinné plochy pro řezání a snížení odporových účinků je pěchování čel zubů. Prakticky se na čelo zubu působí definovanou silou, dokud se plasticky nezdeformuje a nerozšíří se jeho šířka. Pěchování se provádí jen v určitých speciálních případech a spíše u pilových listů. [2]

#### 2.4.4 Správné skladování kotoučů

Mimo provoz je péče o kotouč zdánlivě nepodstatná. Avšak nesprávné skladování může způsobit pozdější nepoužitelnost. Jelikož má kotouč své ostří kolem celé své plochy, je důležité, aby jeho ostří nebylo zbytečně otupováno stykem s podložkou. Ideálně je dobré mít na kotouč speciální pouzdro, které ostří chrání. Pro domácí použití však postačí například i stará rozříznutá pneumatika z jízdního kola.

Dále je potřeba zajistit polohu takovou, aby se kotouč nemohl prohýbat, a nedošlo tak k trvalému průhybu. Průhyb by totiž mohl způsobit vibrace kotouče při pracovním procesu. Není vhodné tedy kotouč prostě někde opřít, ale pokud možno tak ho zavěsit za jeho upínací otvor, například na stěnu. V neposlední řadě je potřeba dbát na prostředí uskladnění. Ideálně suché prostředí s malými výkyvy teplot. Jedna z možností domácího skladování je na obrázku 12. Popřípadě správné skladování může doporučit přímo výrobce, který kotouče již prodává v určitých obalech, například ve zvláštních kartonových obalech k tomuto účelu určených.



Obr. 12) Správné skladování kotouče - zavěšení v obalu na stěně

#### 2.4.5 Způsoby otupení zubů

##### Nevratné poškození kotouče:

Nejčastěji se jedná o vylomení zubu nebo průhyb kotouče. Takové poškození vytváří přidavné zatížení a výrazně snižuje životnost stroje i kotouče, kvůli vibracím a házení.



## **Vratné poškození**

Nesprávné skladování může u některých způsobit korozi nebo mechanické otupení nástroje, které je však do jisté míry vratné.

### **Běžné otupení při řezání:**

Trvanlivost ostří nástroje nejvíce snižují cizí vměstky v řezném pracovním prostoru nástroje. K běžným nečistotám na povrchu dřeva patří například hlína, která zásadně snižuje trvanlivost ostří. Povrch je tedy třeba před řezáním řádně očistit od podobných povrchových nečistot. Téměř fatální následky na trvanlivost nástroje mají vnitřní vměstky, což jsou například hřebíky, zarostlé kamínky nebo dutiny plné hlíny.

Mezi další negativní vlivy mohou patřit různá lepidla používaná ke spojování dřevěných materiálů, například u dřevotřískových a jiných OSB desek. Dále pak významný aspekt je tvrdost dřeva. Například smrkové (jehličnaté) je daleko měkčí dřevo z hlediska tvrdosti než třeba dubové (obecně listnaté) a tudíž nástroj vydrží déle bez nabroušení, než je tak u tvrdého dřeva. Vliv mají jistě i přirozené vady dřeva jako například tzv. sukovitost, tedy množství suků v řezu, protože suky mají výrazně vyšší tvrdost než samotný kmen.

### **Vliv tupého nástroje na řez**

U tupého nástroje nastává velký odpor nástroje proti vnikání do materiálu obrobku. Na vnikání je třeba větší přitlačná síla. Kotouč i samotný stroj se pak více zatěžují, jak mechanicky tak i teplotně. Zhoršuje se kvalita řezu, kvůli většímu teplotnímu zatížení, a úběr materiálu je znatelně menší. Malý úběr souvisí s menším výkonem práce a kromě zvýšení zatížení pohonu stroje je i poznatelně delší řezný čas. Při nerovnoměrném otupení se může odpor projevit také tak zvaným zařezáváním, kdy se zhorší přímost řezu. Pilový kotouč tak uhýbá od přímého směru a snižuje tak přesnost obrobku.

## **2.5 Základní poznatky broušení:**

Broušení je abrazivní dokončovací metoda obrábění, kde je snaha o vylepšení jakosti povrchu obrobku. Proto je zde oproti ostatním metodám velice malý úběr materiálu (řádově 0,1 až 0,01 mm). Malý úběr materiálu se hodí právě pro ostření nástrojů, kde se snažíme co nejvíce zachovat stejnou geometrii nástroje při co nejmenších úběrech a zároveň vytvořit co nejlepší povrch, který se pak následně promítá na jiné povrchy vytvořené broušeným nástrojem. K broušení je užito brusných zrn, které jsou unášeny v určitém prostředí po obrobku. Pro naše účely bude využito zrna zformované pomocí pojiva do brusného kotouče. [5],[7]

Zrna mají nepravidelný tvar a vzdálenost od broušeného povrchu. Lze u nich však určit přibližnou velikost, která potom přímo souvisí s jakostí povrchu obrobené plochy. Velikost zrn se poté nepřímou podílí na tzv. zrnitosti, která určuje počet zrn vztaženou na jednotkovou plochu. Z dalších zvláštností broušení lze připomenout například záporný úhel čela nebo samoostřící schopnost brusného nástroje. Tvrdost zrn musí být větší než broušeného materiálu. [5]

Vysoká řezná rychlost spolu s negativním úhlem čela umožňuje vznik velkého množství malých třísek, které vznikají plastickou deformací, za vzniku relativně malého množství tepla na třísku. Avšak velké množství třísek uvolní v součtu relativně velké teplo. Povrchová vrstva je pak do značné míry tepelně ovlivněná, a proto je třeba při broušení nástroje dbát na dostatečné chlazení nebo na dostatečně malé úběry. Tepelně ovlivněná vrstva

je nepřípustná. Projevuje se zabarvením ostří, což způsobuje spalování některých přísad, nejčastěji uhlíku a tím pádem snížením tvrdosti nástroje. [3],[5]

### **2.5.1 Brusné materiály:**

#### **Přírodní materiály:**

Korund - označení (E). Je složen z 80 až 90 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Tvrdý, méně křehký materiál s hexagonální krystalickou mřížkou. Podle přísad dělíme na více druhů. Jeho krystalická zrna mají tvar dipyramid. [5]

Smírek (N) - je složen z maximálně 60 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a různých příměsí. Oproti korundu má horší brousící vlastnosti. [5]

Křemen (Kr) - obsahuje převážně oxid křemičitý (až 97 %) a další příměsi. [5]

V dnešní době se používá spíše umělých, tedy syntetických materiálů pro jejich lepší mechanické vlastnosti.

#### **Syntetické materiály:**

Umělý diamant (AS) - při jeho výrobě je použit katalyzátor, aby ho bylo možné získat z různých materiálů obsahujících uhlík (nejčastěji grafit). Jako katalyzátor bývají použity kovy (Cr, Ni, Fe, Co), avšak samotný diamant je složen pouze z uhlíku. Přeměna probíhá za vysokého tlaku a teploty, kde se mění hexagonální mřížka na krychlovou. Díky tomu se diamant řadí mezi nejtvrdší materiály na světě. Podle způsobů výroby se odlišují různé druhy, které se liší jak zrnitostí, tak mechanickými vlastnostmi. Nelze s ním obrábět železné slitiny, protože dochází k vzájemným chemickým reakcím. [5]

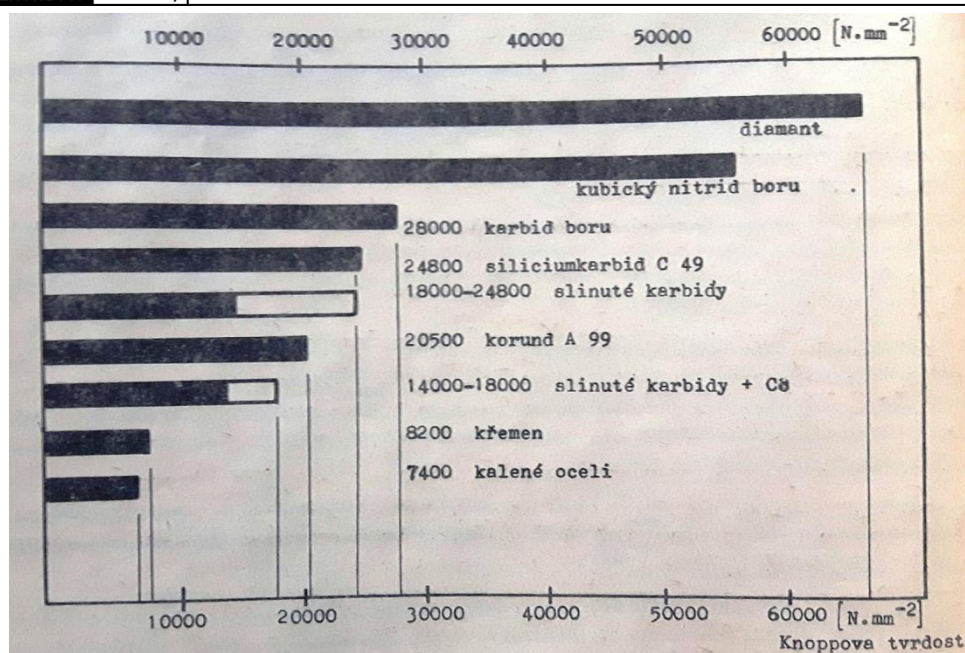
Kubický nitrid boru (KNB) - velice tvrdý materiál obsahující 43,6 % boru a 56,4 % dusíku. Tvar krystalické mřížky se podobá diamantu, avšak rozměr je poněkud větší. Proto má o něco menší tvrdost. Avšak jeho chemická stálost a neutralita vůči železu mu přidává velkou výhodu oproti diamantu při obrábění slitin obsahujících železo i slitin legovaných. [5]

Elektrokorund (E) - čištěný oxid hlinitý. Materiál obsahuje až 99 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Dobré řezné i mechanické vlastnosti. Lze jím brousit oceli, temperovanou litinu, bronzy a jiné. [5]

Karbid křemíku (karbokorundum, siliciumkarbid) - je sloučenina křemíku a uhlíku, která se vyrábí z křemenných písků a uhlíku (nejčastěji v podobě koksu nebo antracitu). Pro obrábění materiálů s menší pevností v tahu například: bílá a šedá litina, mosaz, Al, Cu, bronzy a jiné. [5]

Karbid boru (KB) - složen z karbidu boru (až 94 %) a příměsí. [5]

Pro efektivní obrábění je třeba dodržet doporučení, aby tvrdost brusiva byla minimálně 1,5 až 2 krát tvrdší než je tvrdost obráběného materiálu. Pro představu lze uvést tabulku přibližných hodnot mikrotvrdosti vybraných materiálů (obrázek 13). Další aspekt tvrdosti je teplota, se kterou tvrdost brusného kotouče výrazně klesá. [1], [5]



Obr. 13) Mikrotvrdość vybraných brusných materiálů [7]

### 2.5.2 Tvary brusných kotoučů:

Podle způsobu broušení se mění i tvary kotoučů. Rozlišujeme čelní, obvodové a tvarové broušení. Dále je možné kotouče dělit podle toho jestli jsou jednolitě, tedy z jednoho druhu materiálu, nebo je kotouč složen z nosné části a části brousící. Nosných částí se zpravidla využívá u diamantových, KNB nebo jiných kotoučů, kde se nevyplatí dělat z drahého brusiva celý kotouč. [7]

### 2.5.3 Řezná rychlost:

Velikost řezné rychlosti se odvíjí od druhu broušeného materiálu, druhu broušení, úběru materiálu a podobně. Pro ostření pilových kotoučů z rychlořezných ocelí je doporučovaná řezná rychlost okolo 20 m/s a u slinutých karbidů 25 m/s. [1]

### 2.5.4 Výběr brusného kotouče:

Brusný kotouč se volí především podle materiálu obrobku. Kromě tvrdosti totiž může být i problém s reaktivitou jednotlivých materiálů, což ostatně dokazuje fakt, že uhlíkové oceli není vhodné brousit diamantovými kotouči, protože dochází k jejich vzájemnému chemickému ovlivnění. Podle použitého materiálu a způsobu broušení je třeba ještě rozhodnout, zda by bylo výhodné broušené místo ještě chladit nějakou procesní kapalinou.

Pro náš případ menší manuální brusky se chlazení místa řezu procesní kapalinou spíše nevyplatí, kvůli nevýhodě rozstříku chladiva při broušení, jenž má za následek zhoršení hygieny pracovního postupu. Další nevýhoda použití chladicí kapaliny je samotné hospodaření s kapalinou, kde musíte zajistit nějaké další čerpací zařízení včetně filtrace. Podle toho se bude odvíjet výběr brusného kotouče.

Vzhledem k tomu, že bude třeba na brusce brousit více zcela odlišných materiálů, tak byly vybrány do základního setu brusky alespoň dva brusné kotouče. Jeden obyčejný elektrokorundový s převážným použitím na pilové kotouče z rychlořezných ocelí o průměru 150 mm, šířkou 4 mm a upínacím otvorem 20 mm. Druhý pak s vrstvou PKD nebo KNB pro použití na pilové kotouče s plátkou tvrdokovu (SK) o stejných rozměrech průměrů.



## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Při řešení takovýchto problémů je postupováno iteračně, kdy bylo nejprve řádně prostudováno zadání a poté začal první sběr informací, který nám umožnil danou problematiku lépe pochopit a ujistit se, co se od daného tématu očekává. Poté bylo třeba si stanovit, jaké jsou priority zadání a vzhledem k dané šíři tématu bylo zadání postupně dodefinováno podle směru, kterým bychom se chtěli vydat.

V konstrukci brusek pilových kotoučů existuje celá škála strojů od malých ručních až po velké automatické a poloautomatické brusky. Vzhledem k jasně danému bodu v zadání, že bruska má mít manuální obsluhu, která bude zajišťovat veškeré nastavení i pracovní posuv, nebylo již předmětné se většími průmyslovými stroji zabývat. Postupně pak bylo zadání vytyčeno následovně:

### 3.1 Rozšířené zadání:

- Bruska pro pilové kotouče s manuální obsluhou
- Pilové kotouče s průměrem 200 až 700 mm
- Možnost nabroušení nejčastějších druhů pilových kotoučů včetně pil s lichoběžníkovými zuby
- Možnost brousit nástrojové oceli i kotouče s SK plátky
- Dostatečná přesnost i opakovaného broušení
- Intuitivní nastavení brousících podmínek bez zbytečného množství přípravků
- Pro síťové napájení 230 V

Splněním těchto požadavků vyhovují pouze manuální brusky středních a vyšších tříd.

Práce tedy bude považována za úspěšnou, pokud bude její výstup ve formě konstrukčního řešení splňovat všechny tyto požadavky.

Výsledný produkt je určen spíše pro domácí hobby použití nebo v maloobjemových výrobcích, jako jsou například malá truhlářství, kde není pro velkou a drahou brusku místo, avšak je potřeba občasné nabroušení nástrojů.

Nejzákladnějším rozdělením pro tyto stroje je prostorové uspořádání a to, který člen koná hlavní pohyb.

### 3.2 Rozdělení brusek:

Podle kinematiky:

- 1) Hlavní pohyb vykonává pilový kotouč vůči statickému brusnému kotouči
- 2) Hlavní pohyb vykonává brusný kotouč vůči statickému pilovému kotouči

Podle polohy pilového kotouče:

- 1) Vodorovná poloha - rovina pilového kotouče je rovnoběžná s vodorovnou rovinou
- 2) Svislá poloha - rovina pilového kotouče je rovnoběžná se svislou rovinou

### 3.3 Současné možnosti na trhu:

#### **Proma OPK-700 ostříčka pilových kotoučů**

Tuto brusku lze pozorovat na obrázku 14.

- velikost pilového kotouče: 80 - 700 mm
- ostření běžných pilových kotoučů
- rozsah otáčení: doleva - 30 ° , doprava + 45 °
- naklápění motoru:  $\pm 20^\circ$
- výhody: snadné nastavení, přísuv k boku zubu při broušení
- nevýhody: nepřesné nastavování úběru zubu



Obr. 14) Ostříčka pilových kotoučů - Proma OPK-700 [23]

#### **SSG 600 - M - LF**

Bruska je zobrazena na obrázku 15.

- velikost pilového kotouče: 100 - 600 mm
- ostření běžných pilových kotoučů včetně lichoběžníkových
- naklápění motoru:  $\pm 45^\circ$
- výhody: nepřímý styk s kotoučem při broušení
- nevýhody: posuv do místa řezu přes hlavní ostří



Obr. 15) Ostříčka SSG 600 - M - LF [16]

## US-550 Pro saw blade, router bit and hole saw sharpener

Této univerzální brusce náleží obrázek 16.

- velikost pilového kotouče: 150 - 600 mm
- ostření běžných pilových kotoučů
- naklápění suportu:  $\pm 20^\circ$
- výhody: universální zařízení pro broušení více nástrojů
- nevýhody: posuv do místa řezu přes hlavní ostří, nepřímé nastavování nástrojových úhlů pomocí přídavných měřidel



Obr. 16) Univerzální bruska - US-550 [24]

## Bruska PT 1/2 - svislá

Tato svislá bruska se nachází na obrázku 17.



Obr. 17) Svislá bruska PT 1/2 [14]

- velikost pilového kotouče: 200 - 900 mm
- ostření běžných pilových kotoučů
- naklápění motoru:  $\pm 30^\circ$
- výhody: nepřímý styk s kotoučem při broušení, snadné použití pro poloautomatické brusky
- nevýhody: posuv do místa řezu přes hlavní ostří, omezené nastavení nástrojových úhlů, zbytečně velká konstrukce



## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

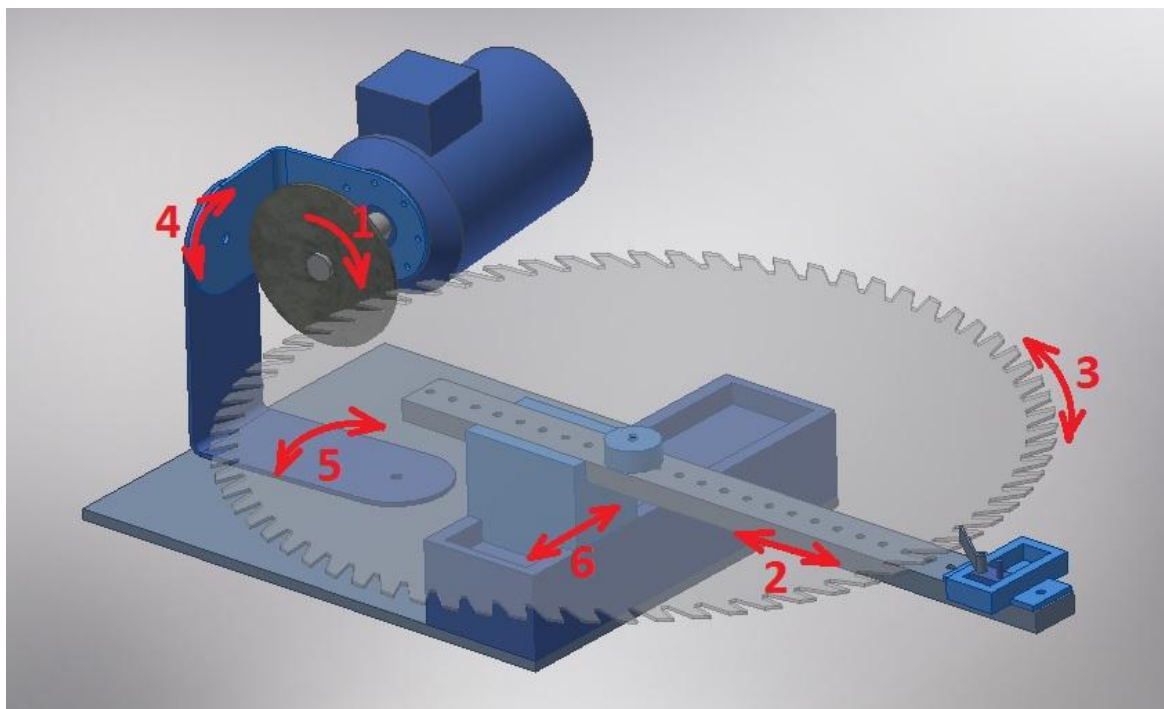
Na základě zadání a rešerše bylo vybráno a sestaveno několik variant, které by mohly ukázat hrubé řešení problému a ze kterých by bylo možné vycházet ve finálním návrhu brusky. Varianty pokrývají nejčastěji volená řešení a pro přehlednost jsou zpracovány ve zjednodušených 3D modelech, které jsou pro názornost opatřeny šipkami směru pohybů.

### 4.1 Varianta 1 - Lineární posuv kotouče na lineárním suportu

K této variantě přísluší obrázek 18. Základním pohybem u všech variant je rotace brusného kotouče (pohyb 1), který koná řezný pohyb, a jeho orientace otáčení je vždy, aby jiskry nelítaly do prostoru, nýbrž ke stroji. V tomto případě je tedy směr otáčení ve směru hodinových ručiček.

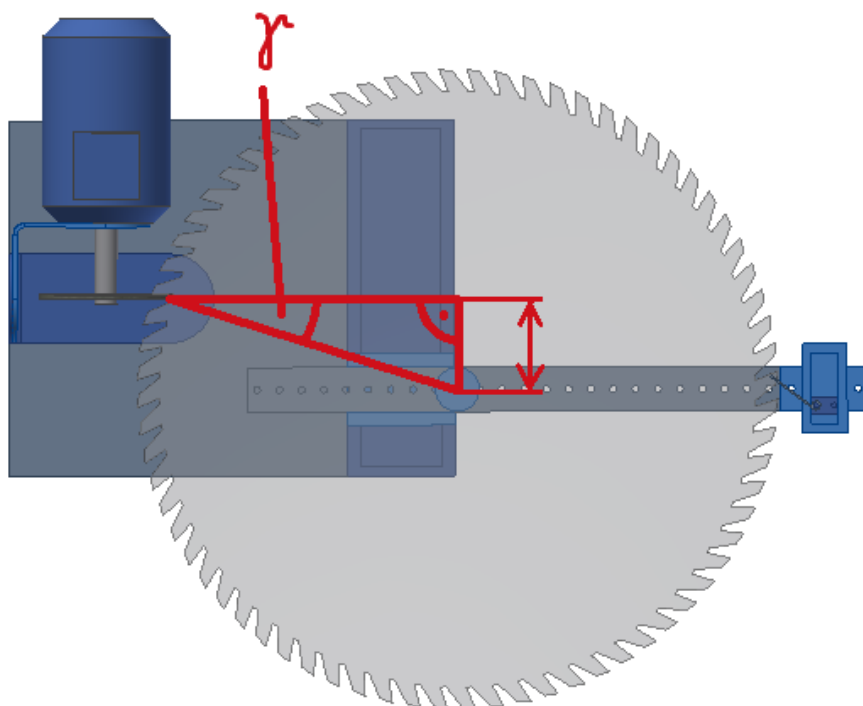
Hlavní posuv do místa broušení vykonává pilový kotouč (pohyb 2), který se pohybuje rovnoběžně s obráběnou plochou pomocí volného suportu. Vedlejší pohyb, tedy pootočení pilového kotouče o danou rozteč zubů vykonává opět pilový kotouč (pohyb 3). Zajištění správné polohy kotouče vymezuje jednostranná zarážka.

Před zahájením brousícího procesu je třeba při vypnutém stroji nastavit geometrii obráběných ploch. K tomu nám dopomohou nástrojové úhly. Podle nich jsme schopni přesně nastavit stroj a mít tak i velice přesný výsledek broušení bez změny geometrie nástroje. Nejlepší je mít zadané hodnoty ke kotouči přímo od výrobce. Ovšem občas se stane, že tyto hodnoty jsou již někde zapomenuty, a pak je tedy třeba si hodnoty ideálně odměřit pomocí nástrojových úhloměrů a hodnoty si zapsat pro příští broušení.



Obr. 18) Varianta 1 - lineární posuv kotouče na lineárním suportu

Pro broušení čela  $\gamma$  je třeba užít suportu (pohyb 6), kterým lze plynule nastavit úhel, tak aby rovina čela byla rovnoběžná s rovinou brusného kotouče. Toto odměřování je poněkud nešťastné, protože je třeba najet do záběru ostří a úhel odměřit ručně pomocí pomocného úhloměru, kde se sleduje úhel vychýlení středu pilového kotouče od roviny brusného kotouče, jak je tomu na obrázku 19.



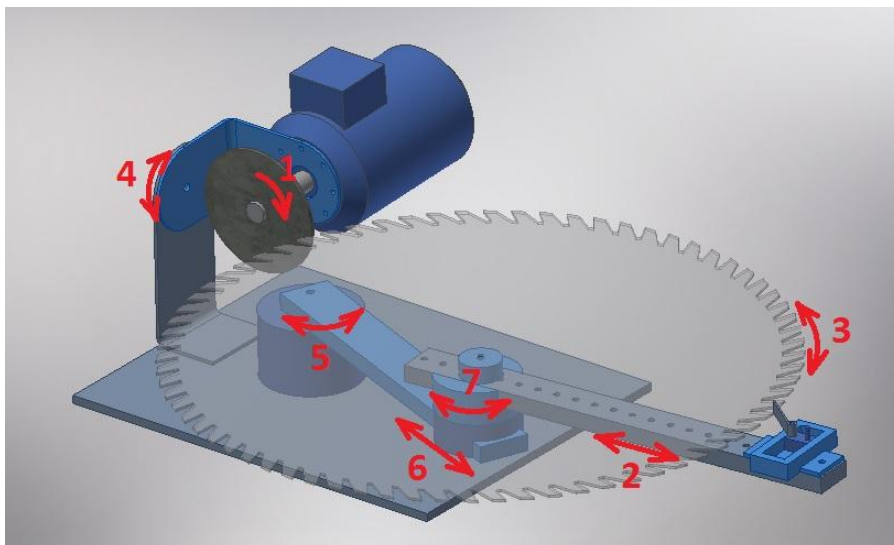
Obr. 19) Odměřování úhlu čela

Dále pak úhel šikmého zbroušení čela  $\beta_h$  již lze odměřit snadno pomocí rotační vazby 4. Rotační vazba 5 se využívá především pro nastavení úhlu hřbetu  $\alpha$  a spolu s rotační vazbou 4 lze nastavit i šikmé zbroušení hřbetu  $\beta_c$ . Této vazby lze využít i u broušení lichoběžníkového ozubení.

Rotační vazby 4 a 5 jsou pro snadné odečtení úhlů opatřeny stupnicí. Důležité je, aby jejich osy otáčení procházely přímo místem řezu.

Kromě špatného odměřování úhlu čela  $\gamma$  je u této varianty spíše nevýhodou suport, který může být dosti objemný a náročný na výrobu.

## 4.2 Varianta 2 - Rotační součásti místo suportu

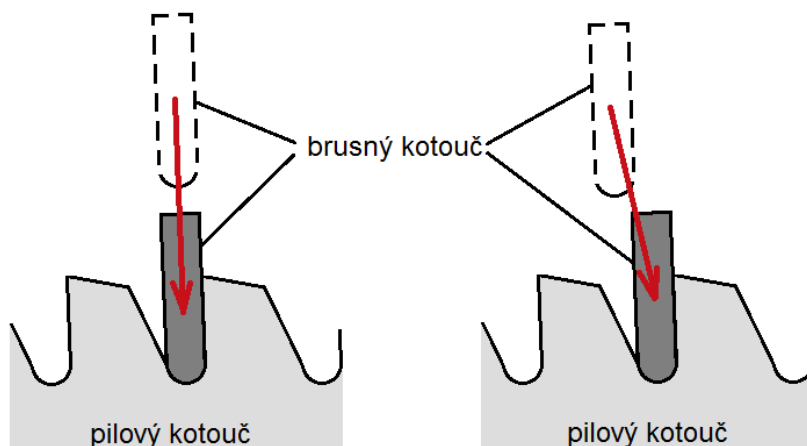


Obr. 20) Varianta 2 - Rotační součásti místo suportu

U této varianty (obrázek 20) jsou základní pohyby stejné jako u předchozí varianty, avšak je zde jiné ošetření nastavení úhlu čela  $\gamma$  a úhlu hřbetu  $\alpha$ . To je realizováno pomocí rotační vazby 5, která otáčí celé držení pilového kotouče okolo vertikální osy řezu. Vazba je opět opatřena stupnicí, podle které lze snadno úhel odečíst.

S brusným kotoučem a motorem je v tomto případě možné natáčet už jen v jedné ose (vazba 4), díky které se nastavují úhly šikmého zbroušení čela  $\beta_h$  a hřbetu  $\beta_c$ . Posuvná vazba číslo 6 je zde pouze pro nastavení velikosti kotouče, k čemuž mohou sloužit též závitové díry vytvořené k nastavení zarážky, podobně jako u předchozí varianty.

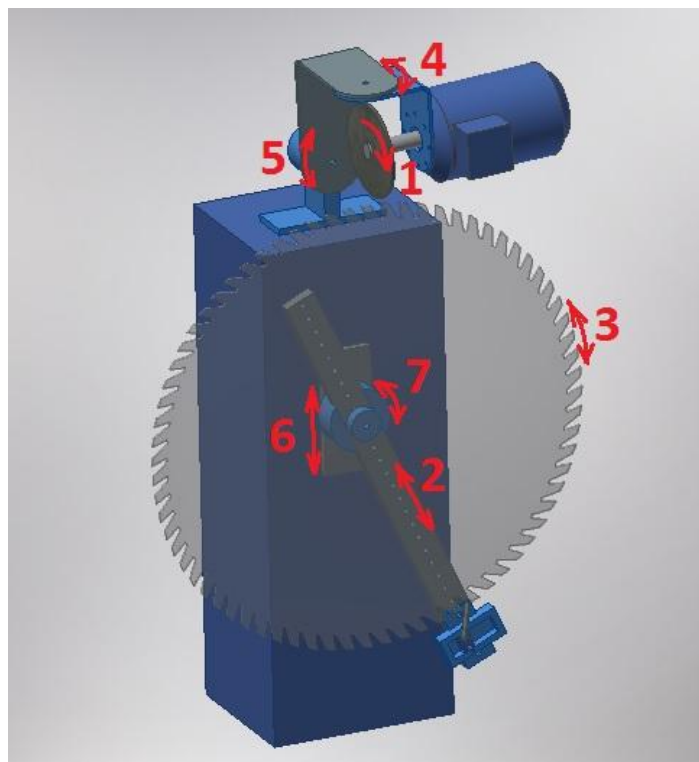
Pro potřebu nastavení lineárního posuvu rovnoběžných rovin čela a brusného kotouče je zde angažována rotační vazba 7. Avšak díky této vazbě lze seřídít nejen rovnoběžné roviny, ale také lze vytvořit posuv, při kterém se začne brousit plocha zubu najednou a ne posuvem přes jeho ostří, jak je to vyobrazeno na obrázku 21. Posuv rovnoběžný se využívá spíše u automatických ostříček, avšak způsobuje nesouměrný úbytek brusného kotouče a tím pádem i rychlejší změnu jeho geometrie. Dále pak je třeba zdůraznit, že ostří je při takovém posuvu namáháno teplotně déle, což má nepříznivý dopad na jeho tvrdost.



Obr. 21) Přísuv do místa řezu přímo a z boku zubu

Nevýhodou může být právě rotační vazba 5 z hlediska únosnosti a potřebě naddimenzování součástí, protože jak již bylo řečeno, je třeba, aby osa rotace byla přesně pod místem řezu, a tím pádem se vytvoří dosti velká páka, kterou bude třeba dostatečně vyztužit, což by stroji mohlo přidat na ceně a ubrat na mobilitě.

#### 4.3 Varianta 3 - Svislá poloha pilového kotouče



Obr. 22) Varianta 3 - svislá poloha pilového kotouče

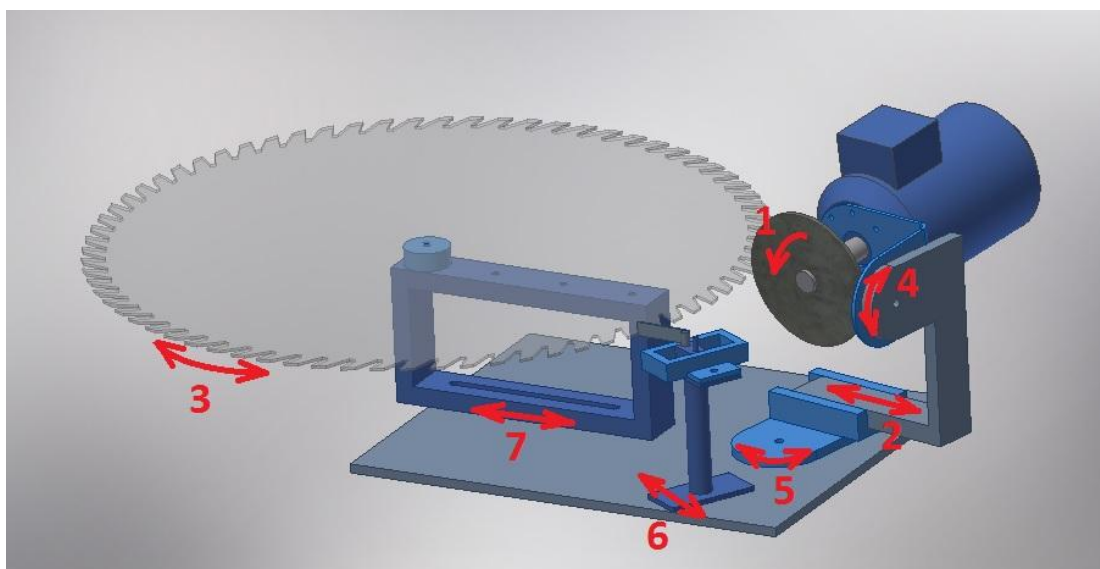
Tato varianta (obrázek 22) je odlišná od předchozích uložení kotouče, který je zde upevněn ve svislé poloze. Toto řešení si s sebou nese i pozměněné řešení podstavce, který je nahrazen podstavnou skříní. Toto řešení se využívá především u automatických pilových ostříčků, protože lze prostor podstavné skříně využít pro úschovu pohonů posuvu a dalších řídicích součástí. Avšak pro manuální ostříčku pilových kotoučů je tělo skříně skoro až zbytečně mohutné a zároveň spíše nevyužité. Sice disponuje výhodou samostatně stojícího objektu a tedy nepotřeby podstavného stolu, ale je tím výrazně zvýšena hmotnost a tím pádem snížena mobilita stroje.

Pohyby 1 až 3 jsou stejné jako u předchozích. Kvůli poloze bude vůči pohybu 2 však působit gravitační síla, takže pilový kotouč bude samospádem sjíždět směrem dolů. Ovšem to lze elegantně vyřešit přidáním páky s vačkou, kterou budeme kotouč manuálně posouvat do místa řezu, což nám naopak přidá na přesnosti a zároveň omezí styk ruky s kotoučem.

Rotační vazbou 5 pro nastavování úhlu čela  $\gamma$  lze brusný kotouč i s motorem otočit až do svislé polohy, díky čemuž lze snadno brousit i úhel hřbetu. Nastavení úhlů šikmého zbroušení čela  $\beta_h$  a hřbetu  $\beta_c$  zajišťuje rotační vazba 4. Lineární vazba 7 je zde pro nastavení velikosti kotouče.

Problém s lineárním posuvem do místa řezu přes hlavní ostří zubu pilového kotouče je zde vyřešeno pomocí rotační vazby 7, která nám při natočení o několik stupňů více než je nastavení úhlu čela, přisouvá zub k brusnému kotouči požadovaným směrem. Zpravidla jde o hodnotu o 5 až 10° větší než je úhel čela  $\gamma$ . Důležité je, aby při tomto nastavování byl střed kotouče v jedné ose s rotační vazbou 7. Avšak stále tu zůstává nevýhoda celkového objemu a hmotnosti stroje.

#### 4.4 Varianta 4 - Hlavní posuv brusným kotoučem



Obr. 23) Varianta 4 - Hlavní posuv do místa řezu koná brusný kotouč

Hlavní odlišností této varianty (obrázek 23) je v hlavním posuvu do místa řezu, který v tomto případě vykonává brusný kotouč s motorem (pohyb 2), zatímco pilový kotouč vykonává pouze vedlejší pohyb, tedy otočení o rozteč zubů (pohyb 3). Hlavní posuv lze vykonat pomocí lineárního vedení tak, jak je tomu v tomto případě, nebo lze použít i rotační vazby, která však bude citlivá na nastavení některých úhlů a výsledné nabroušení tedy nemusí být tak přesné. Proto je lineární posuv výhodnější. Nevýhodou však může být, že lineární posuv je v blízkosti dopadu třísek, a tím pádem je nutné jeho zakrytí, popřípadě nutnost odsávání, aby nedošlo k jeho zanášení a neplynulosti provozu.

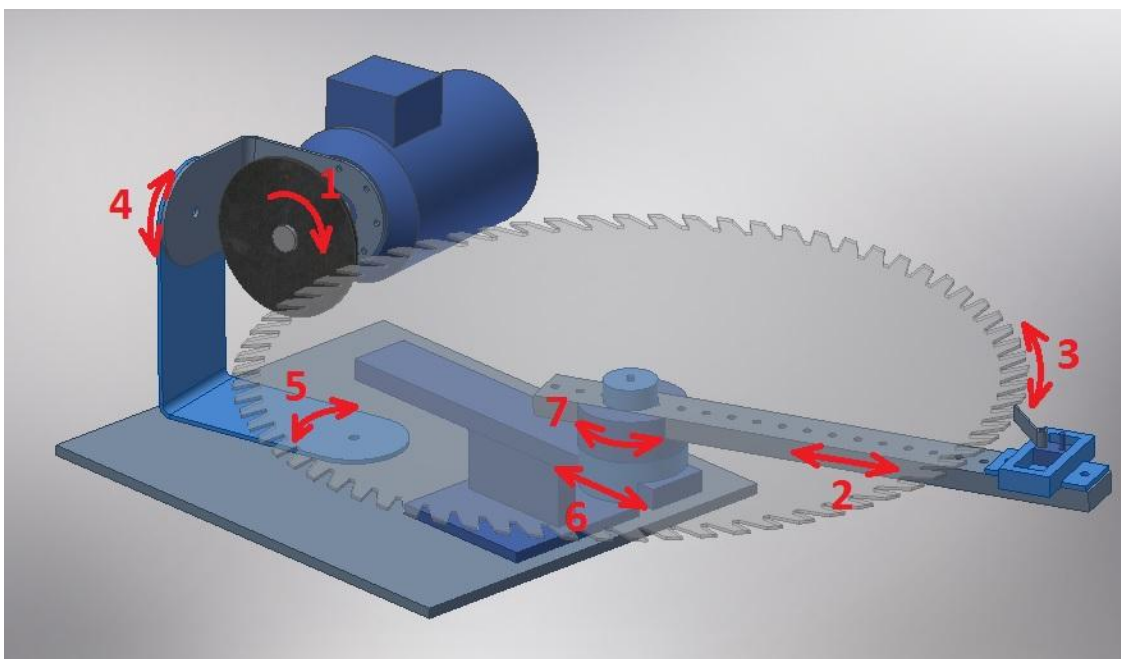
Vzhledem k tomu, že pilový kotouč při broušení koná jen vedlejší rotační pohyb, lze držení kotouče podstatně zjednodušit a zubní zarážku umístit mimo toto držení, aniž by byla omezena funkčnost.

Pohyb 5 je určen pro nastavení úhlů čela  $\gamma$  a hřbetu  $\alpha$ . Nastavení úhlů šikmého zbroušení čela  $\beta_h$  a hřbetu  $\beta_c$  založeno na pohybu 4. Pohybem 7 lze nastavit velikost kotouče.

V tomto případě je možné zubovou zarážku nastavovat pomocí pohybu 6 podle velikosti kotouče. Zároveň je možné zarážku v případě potřeby přesunout na druhou stranu.

Přímo u této varianty je opět problém s lineárním posuvem do místa řezu přes hlavní ostří zubu. Problém by šel sice vyřešit přidáním další rotační vazby mezi lineární posuv 2 a rotační vazbu 4 tak, aby osa rotace byla totožná s vertikální osou řezu, avšak toto řešení by bylo již dosti složité.

#### 4.5 Varianta 5 - Kombinace předchozích variant



Obr. 24) Varianta 5 - Kombinovaná varianta

Tato varianta (obrázek 24) se zdá být nejschůdnější, díky své jednoduchosti a zároveň dosažené přesnosti nastavování. Nastavování je téměř intuitivní a lze se ho rychle naučit. Výhodou je, že pro přesné nastavení není potřeba žádných dodatečných měřidel a úhломěrů, popřípadě převodních tabulek.

Hlavní pohyb 2 vykonává posuv do místa řezu. Stejně jako ve všech předchozích případech koná rotační pohyb 3 vedlejší pohyb o jednu zubovou mezeru. Rotační pohyb 5 natáčí brusný kotouč i s motorem pro nastavení úhlu čela  $\gamma$ , popřípadě úhlu hřbetu  $\alpha$ . Pro nastavení úhlu šikmého zbroušení čela  $\beta_h$  a šikmého zbroušení hřbetu  $\beta_c$  je využito rotační vazby 4. Lineární posuv 6 slouží k nastavení velikosti průměru kotouče.

Problém s lineárním posuvem do místa řezu přes hlavní ostří zubu pilového kotouče je zde vyřešeno pomocí rotační vazby 7, podobně jako je tomu u varianty 3. Díky natočení o několik stupňů více (5 až 10°), než je nastavení úhlu čela  $\gamma$ , se zub přisouvá k brusnému kotouči požadovaným směrem. S tímto nastavováním souvisí i fakt, že při nastavování musí být střed kotouče v jedné ose s rotační vazbou 7.

Rotační vazby 4, 5 a 7 jsou opatřeny stupnicemi pro snadné odečtení úhlů.

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Finální návrh brusky vychází z varianty číslo 5. Tato varianta splňuje všechny požadavky plynoucí ze zadání a zároveň si zachovává svoji funkčnost a jednoduchost při relativně malých rozměrech stroje. Mezi hlavní splněné požadavky lze zařadit posuv do místa broušení z boku nebo snadné odměřování nástrojových úhlů bez využívání pomocných nástrojů a měřidel.

Varianta je koncipována jakožto stroj stojící na plochem podstavci, který je určen k položení na pracovní stůl. Není ovšem problém brusku postavit na samostatně stojící nohy, které by byly zhotoveny z různých profilů sešroubováním nebo jakožto svařenec. Ovšem konstrukce samostatně stojícího objektu není tolik vyžadována zákazníky, a proto se tím v této práci není třeba více zabývat.

Oproti koncepčnímu návrhu bude motor umístěn tak, aby při rozběhu a při pracovním záběru byla matice držící brusný kotouč dotahována, protože bude kvůli uživatelské přívětivosti lepší použít pravotočivý závit. Tím pádem při rozběhu bude matice dotahována setrvačnými silami a v pracovním záběru třecími silami broušení od brusného kotouče. Při vypnutí stroje se počítá s pomalým doběhem, tudíž setrvačné síly při vypínání by neměly být tak veliké, aby zapříčinily povolení matice.

### 5.1 Výpočty

#### 5.1.1 Výpočet potřebných otáček:

Na základě rešerše bylo zjištěno, že řezná (brusná) rychlost by se měla pro naše účely pohybovat mezi 20 a 25 m.s<sup>-1</sup>. Tudíž pro předběžný výpočet je použita střední hodnota  $v_{\text{ř}}$  z těchto rychlostí. Úpravou vztahu 1 je získán vzorec pro určení přibližných otáček.

$$(2) \quad n_1 = \frac{60 \cdot v_{\text{ř}}}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 22,5 \text{ m.s}^{-1}}{\pi \cdot 0,15 \text{ m}} = 2864,8 \text{ min}^{-1}$$

Na základě tohoto výpočtu byl zvolen dvoupólový elektromotor s otáčkami  $n = 2800 \text{ min}^{-1}$ , díky kterému bude umožněno uložit brusný kotouč přímo na hřídel motoru bez dalšího převodování.

#### 5.1.2 Výpočet řezné rychlosti:

Dosazením do vztahu 1 určíme řeznou rychlost pro zvolené otáčky.

$$(3) \quad v_{\text{ř}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 2800 \text{ min}^{-1}}{60} = 22 \text{ m.s}^{-1}$$

#### 5.1.3 Výpočet výkonu motoru:

##### Řezná síla:

Síla, která je tečná k obvodu kotouče se často měří experimentálně pomocí měřiče momentu na hřídeli, nebo lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$(4) \quad F_{\text{ř}} = c_p \cdot v_{\text{ř}}^{0,7} \cdot s^{0,7} \cdot h^{0,6} = 21,56 \cdot 22^{0,7} \text{ m.s}^{-1} \cdot 0,5^{0,7} \text{ mm} \cdot 0,04^{0,6} \text{ mm} = 16,74 \text{ N} \quad [5]$$

kde  $c_p$  je materiálová konstanta [-],  $s$  je posuv [mm] a  $h$  je hloubka řezu [mm]. [5]

Síla radiální (pasivní)  $F_{\text{rad}}$  bývá u broušení, kvůli záporným úhlům zrn, až třikrát větší než síla tečná. [5]



### Řezný odpor:

Tato veličina je pouze vyjádřením řezné síly v hmotnostních kilogramech, které si žádá následující výpočet.

$$(5) P = \frac{F_{\text{ř}}}{g} = \frac{16,74 \text{ N}}{9,81 \text{ m.s}^{-2}} = 1,71 \text{ kg [1]}$$

### Výkon motoru pro proces broušení:

$$(6) P_m = \frac{P \cdot v_{\text{ř}}}{102 \cdot \eta} = \frac{1,71 \text{ kg} \cdot 22 \text{ m.s}^{-1}}{102 \cdot 0,8} = 0,46 \text{ kW [1]}$$

$\eta$  je účinnost brusky [-]. Pro běžné aplikace se volí  $\eta = 0,8$ . [1]

## 5.2 Volba elektromotoru

Protože tento výkon je dopočítán pro stálé zatížení brusky při plném výkonu, ale náš režim broušení dovoluje krátké záběry, mezi kterými jde bruska naprázdno, dovoluje se krátké přetížení motoru, takže by výkonově vyhovoval i slabší motor, čehož využívá konkurence. Ale vzhledem k tomu, že se slabší motor o výkonu 370 W vyrábí ve stejné osově výšce a že silnější motor mi byl doporučován i brusičem s letitou praxí, volím motor o výkonu 550 W a jmenovitými otáčkami 2800 ot/min.

Pro velkosériovou výrobu bývá zvykem zadat si konkrétní požadavky na motor u některého z výrobců, který pak zákazníkovi vyrobí motor přímo na míru. Pro malosériovou výrobu však bude třeba vystačit s některým z nabízených motorů. To nám ovšem také pomůže udělat si alespoň základní představu alespoň o rozměrech motoru pro 3D model.

Při uložení brusného kotouče přímo na hřídeli motoru však vyvstává problém, kdy při broušení čelem kotouče vznikají axiální síly, které by mohly zatěžovat ložiska elektromotoru. Proto je třeba do specifikace zadat požadavek na přesnější uložení rotoru, kde jsou lépe vymezeny axiální vůle. Požadováno je uložení předepnuté, které tyto vůle eliminuje, protože jakékoliv axiální vůle při čelním broušení je nepřípustné.

Pro představu rozměrů ve výpočtech i v modelu byl použit jednofázový asynchronní motor od společnosti Siemens.

## 5.3 Analýza Metodou konečných prvků (MKP) vybraných součástí

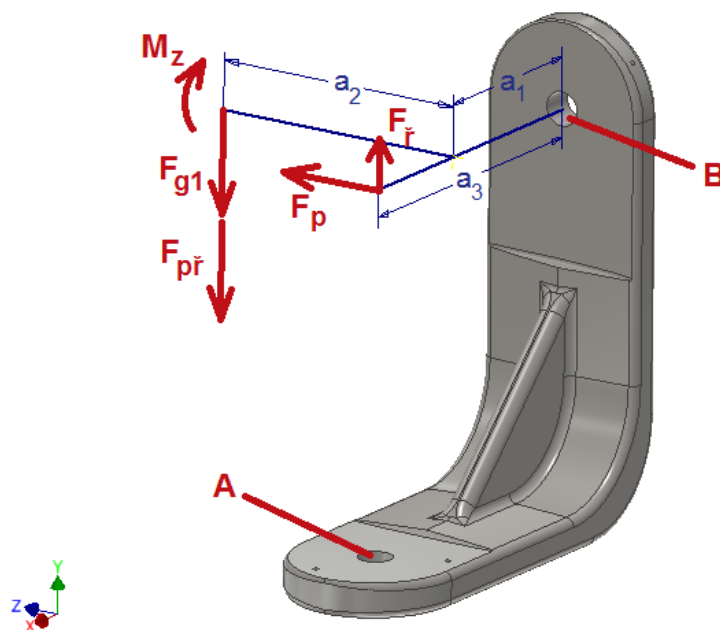
V průběhu návrhu a následného modelování byly vybrané součásti podrobeny analýze MKP, kde na základě předpokládaného zatížení proběhl numerický výpočet statické pevnosti. Předmětem šetření byl výpočet mechanického napětí a tuhosti v jednotlivých součástech. K výpočtu byla použita nástavba programu Autodesk Inventor Professional 2016, ve kterém byl také celý model modelován. Všechny součásti podrobené analýze vyhověly požadavkům. Pro názornost analýzy byly vybrány dvě součásti.

### 5.3.1 Součást odlitku držení motoru

Tato součást bude vyráběna jakožto odlitek a jsou k ní připojeny další komponenty jako například plech, který drží celý motor včetně brusného kotouče a jiných dílů, tudíž je po ní požadována dostatečná tuhost, od které se odvíjí přesnost stroje i odolnost vůči vzniku nežádoucích vibrací. Zatížení bylo voleno s ohledem na parametry motoru a fyzikální a prostorové vlastnosti modelu, jak je tomu na obrázku 25. Kromě zatížení od samotných



hmotností byla dodána ještě síla od přídavných zatížení  $F_{\check{r}}$  pro případ, když se o motor někdo lehce opře, nebo když by bylo použito nouzové tlačítko. Součást tedy byla dimenzována na přídavné zatížení 10 kg.



Obr. 25) Schéma zatížení odlitku držení motoru

### 5.3.2 Výpočet zatížení:

Pro snazší zadávání do modelu byly zatěžující síly převedeny na zátěžné momenty rozložené do jednotlivých os. Místo A je místo, kde je součást čepem připevněna k podstavci, a ve výpočtu simuluje pevnou vazbu, tudíž je ho třeba vyčlenit z předmětu šetření výsledné analýzy. Místo B je místo, kam jsou připevněny další součásti a kam je ve výpočtu umístěno zatížení, takže je třeba ho také z výsledků vyčlenit. Z katalogu motoru byl vyčten záběrný moment  $M_z = 3,16 \text{ N.m}$ . Hodnoty vzdáleností působišť sil jsou:  $a_1 = 107 \text{ mm}$ ,  $a_2 = 150 \text{ mm}$ ,  $a_3 = 180 \text{ mm}$ . Dále byly dopočítány zátěžné síly a momenty podle následujících vztahů:

$$(7) \quad F_{g1} = m_1 \cdot g = 8,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m.s}^{-2} = 83,4 \text{ N}$$

$$(8) \quad F_{př} = m_2 \cdot g = 10 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m.s}^{-2} = 98,1 \text{ N}$$

$$(9) \quad M_{Fg11} = m_1 \cdot g \cdot a_1 = 8,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m.s}^{-2} \cdot 0,107 \text{ m} = 8,92 \text{ N.m}$$

$$(10) \quad M_{Fg12} = m_1 \cdot g \cdot a_2 = 8,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m.s}^{-2} \cdot 0,15 \text{ m} = 12,51 \text{ N.m}$$

$$(11) \quad M_{Fpř} = m_2 \cdot g \cdot a_2 = 10 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m.s}^{-2} \cdot 0,15 \text{ m} = 14,72 \text{ N.m}$$

$$(12) \quad M_{F\check{r}} = F_{\check{r}} \cdot a_3 = 16,74 \text{ N} \cdot 0,18 \text{ m} = 3,01 \text{ N.m}$$

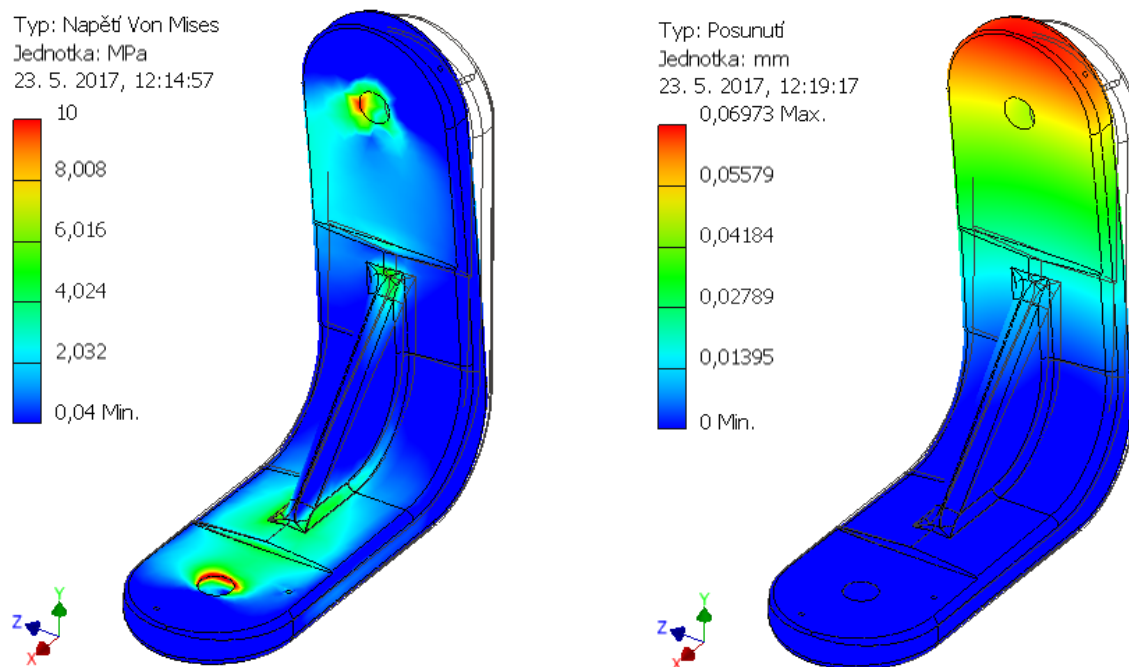
$$(13) \quad M_{Frad} = F_{rad} \cdot a_3 = 3 \cdot F_{\check{r}} \cdot a_3 = 3 \cdot 16,74 \text{ N} \cdot 0,18 \text{ m} = 9,03 \text{ N.m}$$

kde hmotnost motoru a přídavných částí  $m_1 = 8,5 \text{ kg}$  a hmotnost přídavných sil  $m_2 = 10 \text{ kg}$ .

Vzhledem k tomu, že záběrný moment a moment řezné složky síly vychází obdobně, není třeba uvažovat oba stavy. Simulace je provedena pouze pro stav broušení. Na obrázku 26 vlevo jsou zobrazeny součty napětí podle metody Von Mises a vpravo je naznačeno posunutí při maximálním zatížení.

Z hlediska napětí těleso bez problému vyhovuje. Ba naopak je dosti předimenzováno, ale to je zapotřebí kvůli celkové tuhosti systému. Tuhost je posuzována na obrázku 26 vpravo,

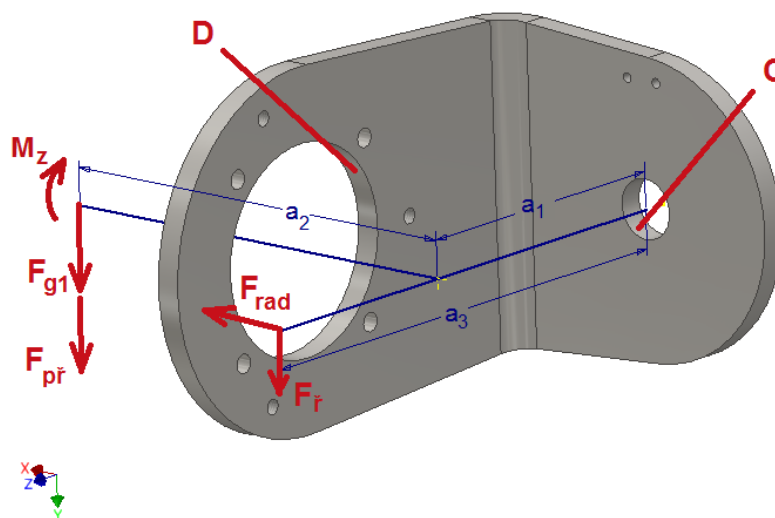
kde jeho maximální hodnota posunutí nepřekročí 0,1 mm. Při samotném broušení se však docílí ještě lepší přesnosti, kvůli tomu, že při broušení nebude na sestavu působit přídavné zatížení. I když tyto výpočty neodpovídají přesně reálnému zatížení, tak aspoň modelově nám mohou dát určitou představu o možném chování stroje.



Obr. 26) Výsledek numerické simulace napětí vlevo a pružné deformace vpravo

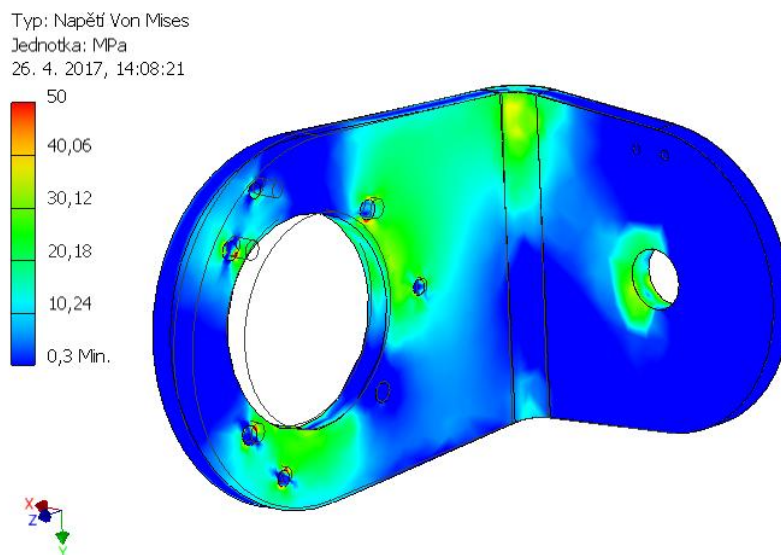
### 5.3.3 Součást plechu k držení motoru

Navazující součástí na předchozí prvek je součást z ohnutého plechu, která dále drží motor a krytování kotouče. Součást byla zatížena stejným zatížením jako předchozí součást, pouze se změnily vzdálenosti nosítek sil. Hmotnost vlastní součásti je oproti motoru malá, a proto nebyla uvažována. Zatížení je vyobrazeno na obrázku 27.



Obr. 27) Schéma zatížení plechu držení motoru

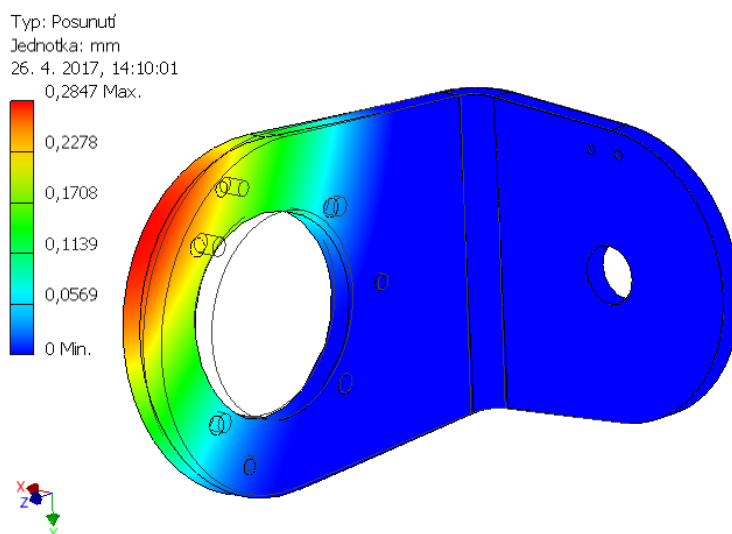
Při simulaci bylo do otvoru C umístěna tzv. pevná vazba, kvůli které je třeba tento otvor vyčlenit z předmětu šetření výsledné simulace, protože může v této oblasti docházet ke zkreslení výsledků. Do otvoru D pak byly umístěny výše vypočítané zátěžné momenty. Tudiž ani výsledky v okolí otvoru D by neměly být považovány za adekvátní. Numerické řešení výsledných napětí podle metody Von Mises je zobrazeno na obrázku 28.



Obr. 28) Výsledek numerické simulace napětí

Z obrázku je patrné, že napětí na součásti je stále dostatečně pod mezní hodnotou. Největší maxima vznikají na okraji vyvrtaných děr, které sice mají vrubovou povahu, protože zeslabují průřez, ale ve skutečnosti bude zatížení v jejich okolí jiné než na vyobrazeném modelu a proto není třeba vzniklým maximům věnovat větší pozornost.

Dále bylo třeba vypočítat hodnoty přibližné deformace (obrázek 29) při největším zatížení. Avšak na tuto součást jsou kladeny již o něco menší nároky ohledně deformace než na předchozí součást, protože na ni již navazuje přímo motor s kotoučem.



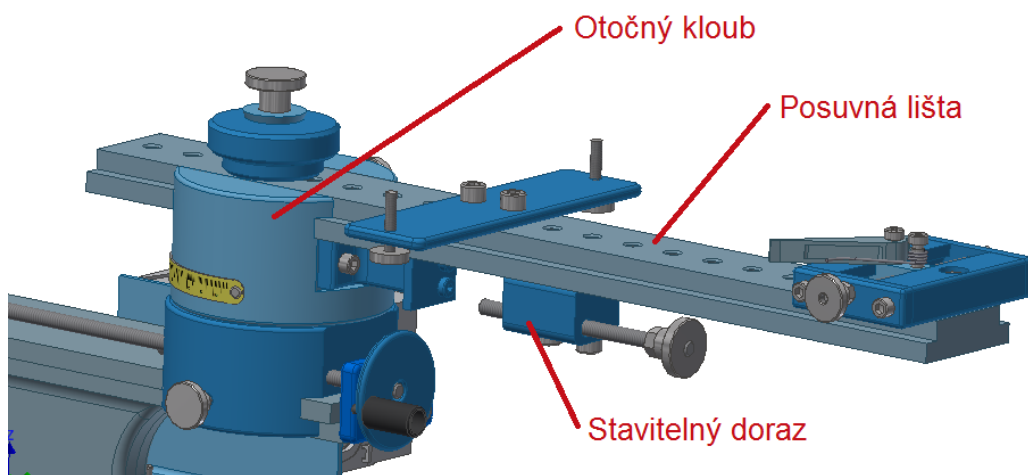
Obr. 29) Výsledek numerické simulace pružné deformace

Maximální hodnota pružné deformace nepřekročí 0,3 mm, což se na první pohled může zdát hodně, avšak je třeba brát v úvahu, že při samotném procesu broušení není třeba brát zřetel na přídavné síly, a tím pádem budou deformace menší než je na obrázku 29 vyobrazeno.

Touto metodou byla provedena kontrola většiny komponent z celkového modelu a všechny jsou dimenzovány dostatečně k běžnému užívání.

## 5.4 Posuvná lišta

Jedním z hlavních prvků je právě posuvná lišta (viz obrázek 30), která koná hlavní přímočarý pohyb do místa řezu díky tvarovému spoji s otočným kloubem. Navazují na ni další součásti, u kterých je nutné měnit konfiguraci podle velikosti broušeného kotouče, a proto je lišta rovnoměrně poseta závitovými dírami, do kterých lze součásti bez problému upnout.



Obr. 30) Pohled na posuvnou lištu a navazující součásti

## 5.5 Vymezení správného úběru materiálu

Při broušení nástrojů je třeba dbát na správný úběr materiálu. Je třeba sledovat jednak rychlost úběru, což souvisí s brusným materiálem a materiálem nástroje, a jednak také množství odebraného materiálu. Kvůli potřebě zachovat geometrii kotouče je třeba ubírat materiál rovnoměrně na všech zubech stejně. K tomuto účelu existují různé varianty děliček a zarážek.

### 5.5.1 Dělení s přídavným kotoučem

Pro absolutní přesnost se používají děličky s nezávislým ozubením, což je další ozubený kotouč, který se připevní na společnou osu s pilovým kotoučem a zarážka se řídí podle tohoto přídavného ozubeného kotouče (viz obrázek 31). Největší výhodou této metody je, že přesnost nezáleží na předchozí přesnosti broušení zubů, protože se zuby pilového kotouče nedostane vůbec do kontaktu, a broušení je tak stále přesné podle přesnosti přídavného kotouče. Navíc tato metoda není náchylná na různé rozteče zubů na jednom pilovém kotouči. Přídavný kotouč ovšem musí mít stejný počet zubů jako má pilový kotouč. Což je pro tuto metodu obrovskou nevýhodou, kvůli rozmanitosti počtu zubů pilových kotoučů. Tedy pro každý počet zubů pilového kotouče musíte mít potřebný počet přídavných dělicích kotoučů, což je náročné jednak na skladování i cenu. Této metody dělení se využívá především ve velkovýrobách pro

strojní automatické a poloautomatické brusky. Pro návrh malé manuální brusky není tato metoda vhodná pro vysokou cenu i objemovou náročnost.



Obr. 31) Bruska s přidavným dělicím kotoučem [12]

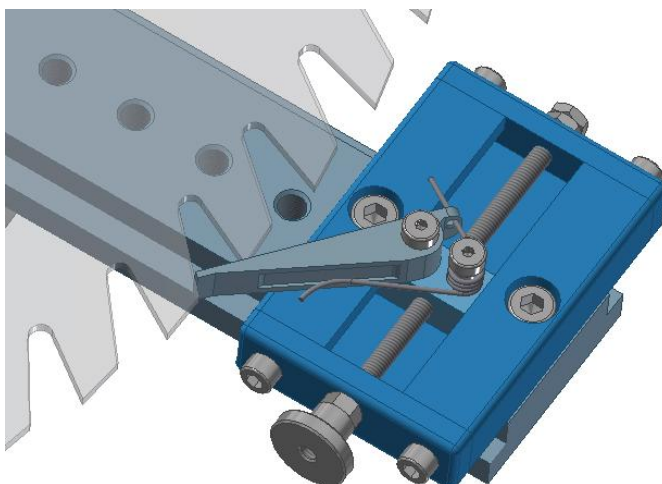
Pro dělení lze využít i mechanické diferenciální děličky, což by při správném nastavení bylo taktéž velice přesné. Ovšem nastavení, popřípadě práce s ní je poněkud složitější, což by pro nezkušené pracovníky mohl být problém. Dalším negativem by mohla být poměrně vysoká cena.

U automatických a poloautomatických brusek se pro dělení využívá řídicího programu, to je ovšem u manuální brusky naprosto nevyužitelné.

### 5.5.2 Dělicí zarážka

Nejjednodušší a nejlevnější metoda dělení je pomocí dělicí zarážky (viz obrázek 32), která využívá geometrie zubů. Zpravidla využívá nebroušenou stranu zubu, aby se o něj opřela a zamezila tak otáčení pilového kotouče. Ovšem u některých typů pilových kotoučů jsou broušeny všechny funkční plochy, což zarážce uděluje velkou nevýhodu v tom, že se přesnost broušení odvíjí od přesnosti předchozích broušení. Ovšem díky své jednoduchosti a cenové dostupnosti je právě často využívána pro tyto menší manuální brusky.

Pro správné nastavení je tato zarážka umístěna na pohybovém šroubu a délka možného posuvu je určena podle tabulek nejběžnějších rozměrů roztečí zubů pilových kotoučů.



Obr. 32) Dělicí zarážka

### 5.5.3 Dělení pákovým podavačem

Tato metoda je také dobře využitelnou pro manuální brusky. K vedlejšímu posuvu je zde využíváno pomocné páky, která se opět opírá o části pilových zubů. Hlavní výhodou této metody je omezení dotyku brusiče na pilový kotouč, tedy lepší hygiena a bezpečnost. Ovšem přesnost dělení se také odvíjí od přesnosti předchozích broušení a i nastavení a konstrukce je o něco složitější než u dělicí zarážky. Tudíž je pro návrh brusky použita metoda dělení dělicí zarážkou.

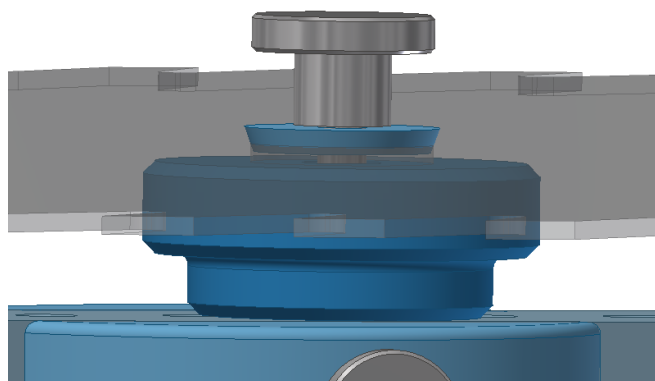
### 5.5.4 Doraz hlavního posuvu

Dále je třeba nastavit jak daleko lze s pilovým kotoučem hlavní posuv konat. Stejnou vzdálenost nám umožňuje zachovat stavitelný doraz (viz obrázek 30). Jde o součást, která zastaví posuvnou lištu v závislosti na zašroubování opěrného šroubu. Celá součást je uchycena dvěma šrouby, díky kterým lze celý doraz posunout podle potřeby po liště. Druh závitu opěrného šroubu je volen ISO.

## 5.6 Uchycení pilového kotouče

Uchycení lze provést několika způsoby. Jedním z nich je možnost využít tříčelistového sklíčidla, které ovšem může být zbytečně drahé a velké. Proto se využívá především u strojních průmyslových brusek. Dále pak lze použít přesné kroužky s danými normalizovanými průměry, které se vloží do otvoru pilového kotouče a nasadí buď na hřídel nebo na šroub stroje. Ovšem tato metoda je dosti náročná na nepřesnosti otvorů pilových kotoučů a jejich rozmanitou velikost.

Nejvýhodnější upnutí pro naše účely zajišťuje metoda kuželových podložek (viz obrázek 33), která zajišťuje dostatečnou přesnost a zároveň jednoduchost používání i nízkou cenu. Díky kuželovité ploše dojde k vystředění pilového kotouče a výsledná přesnost je lepší než u válečkových kroužků. Také lze snížit počet potřebných kroužků díky variabilitě průměru. Tím pádem lze zbylé kroužky umístit někde přímo na brusku, kde budou po ruce pro případné broušení jiných kotoučů.

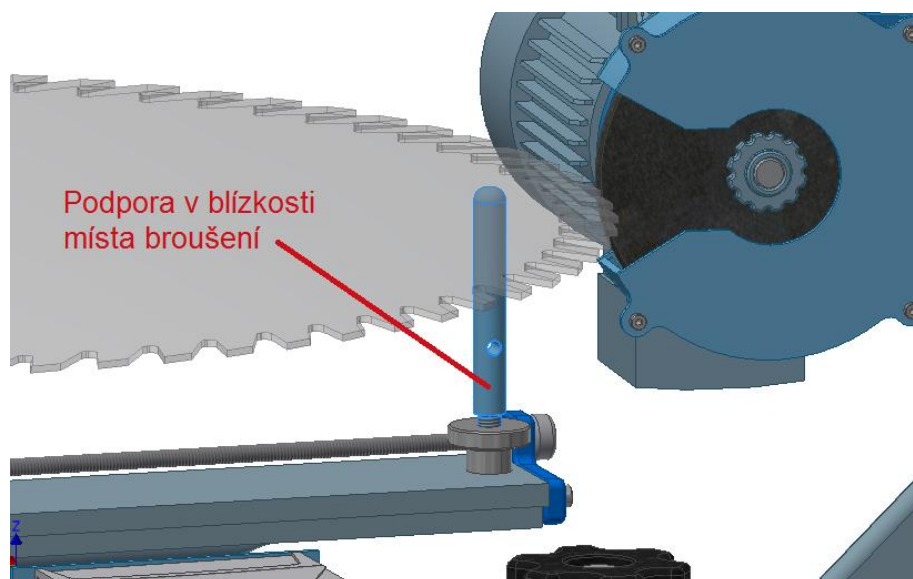


Obr. 33) Uchycení a vystředění pilového kotouče pomocí kuželové podložky

Dále je k přesnějšímu upnutí pilového kotouče využito stavitelné podpory umístěné na posuvné liště, které lépe pilový kotouč ustaví v prostoru. Díky ní získají dostatečnou stabilitu i velké kotouče. Pro potlačení vibrací při samotném broušení je do blízkosti místa řezu



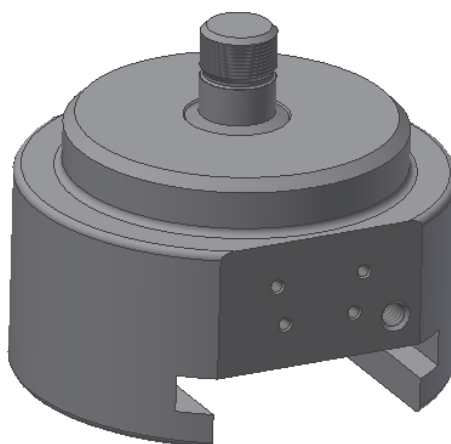
přidána ještě jedna stavitelná podpora, která je již umístěna na podpůrném podstavci a lze ji vidět na obrázku 34.



Obr. 34) Podpora v blízkosti místa broušení

## 5.7 Otočný kloub

Tato část je na stroji jedna z nejzajímavějších, protože je složena z více součástí a navazuje jednak na podpůrný podstavec a jednak na posuvnou lištu. Kromě toho je opatřen střelkou a stupnicí a jsou na něm odečítány nástrojové úhly. V neposlední řadě skrz jeho dolní část prochází pohybový lichoběžníkový šroub, který se využívá pro nastavování velikosti kotouče a posuvu celého kloubu po podpůrném podstavci.

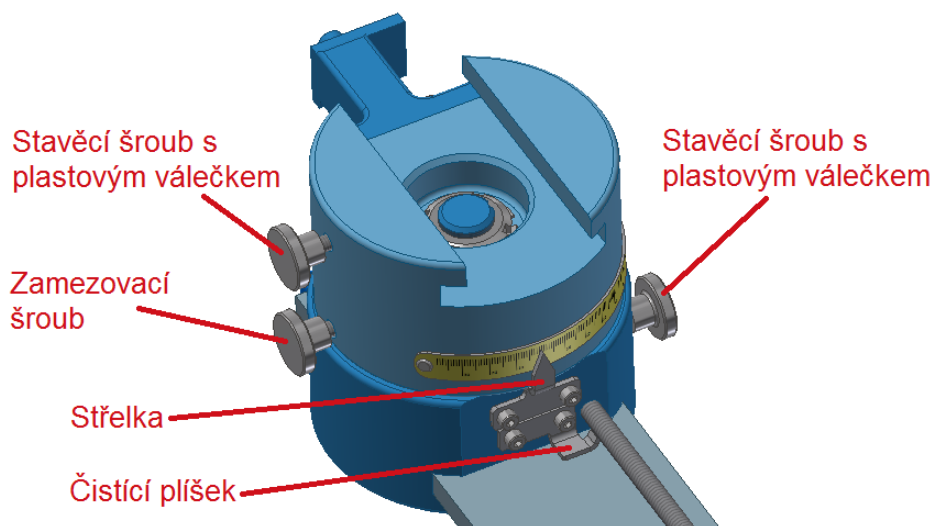


Obr. 35) Svarek spodní části kloubu

Kloub je složen ze dvou částí. Vrchní součástí otočného kloubu a spodního svarku (viz obrázek 35), který se skládá ze spodní součásti a čepu. Obě součásti kloubu jsou k sobě spojeny volnou rotační vazbou a zajištěny KM maticí.

Obě části jsou opatřeny tvarovými plochami, které odpovídají tvarovým drážkám podpůrného podstavce a posuvné lišty.

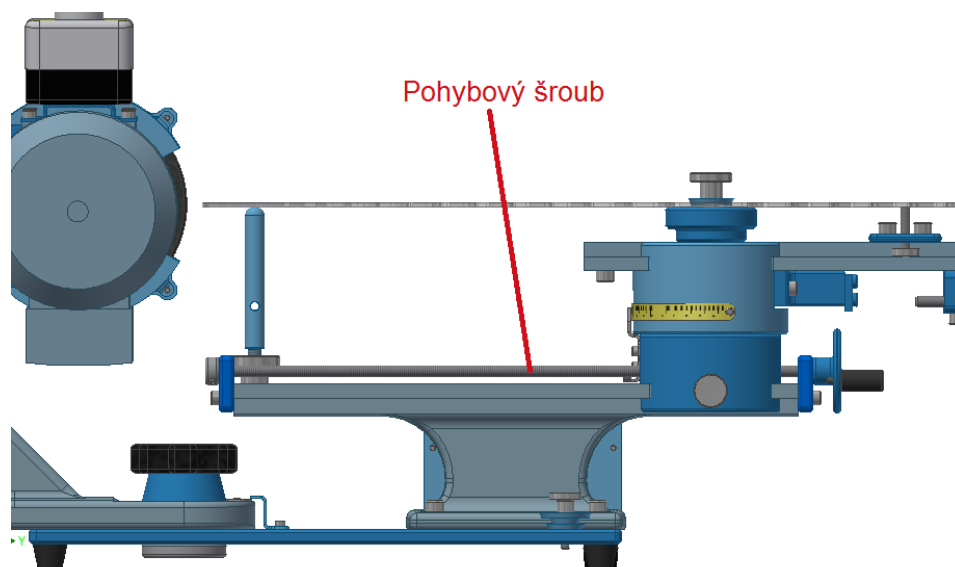
K zamezení rotačního pohybu součástí vůči sobě je užito utahovacího šroubu s válcovou hlavou a drážkováním pro manipulaci bez použití nástrojů. Takovýchto šroubů je využito k ustanovení menší vůle v kontaktu u tvarových styků lineárních pohybů. V těchto případech je ovšem přidáno plastových válečků jakožto tlačného elementu mezi šroubem a druhou součástí, aby nedošlo k poškození tvarové plochy. Jednotlivé šrouby a jejich polohy jsou vyobrazeny na obrázku 36.



Obr. 36) Otočný kloub

### 5.7.1 Pohybový šroub

Pro nastavení správné velikosti kotouče slouží pohybový šroub, jenž lze vidět na obrázku 37. Závit šroubu je lichoběžníkový, protože ten lépe odolává nečistotám. Navíc je od nečistot chráněn čistícím plíškem, jehož koncová hrana má tvar závitové mezery. Odsávání z místa řezu není do modelu uvažováno kvůli tomu, že jde o hobby brusku a málokterý potenciální zákazník nějakým průmyslovým odsáváním disponuje. Navíc je brána v úvahu i menší četnost broušení, tedy menší objem třískových nečistot. Avšak je doporučováno po každém broušení očistit funkční plochu podpůrného podstavce i pohybového šroubu od nečistot, aby nemohlo dojít k zadírání.

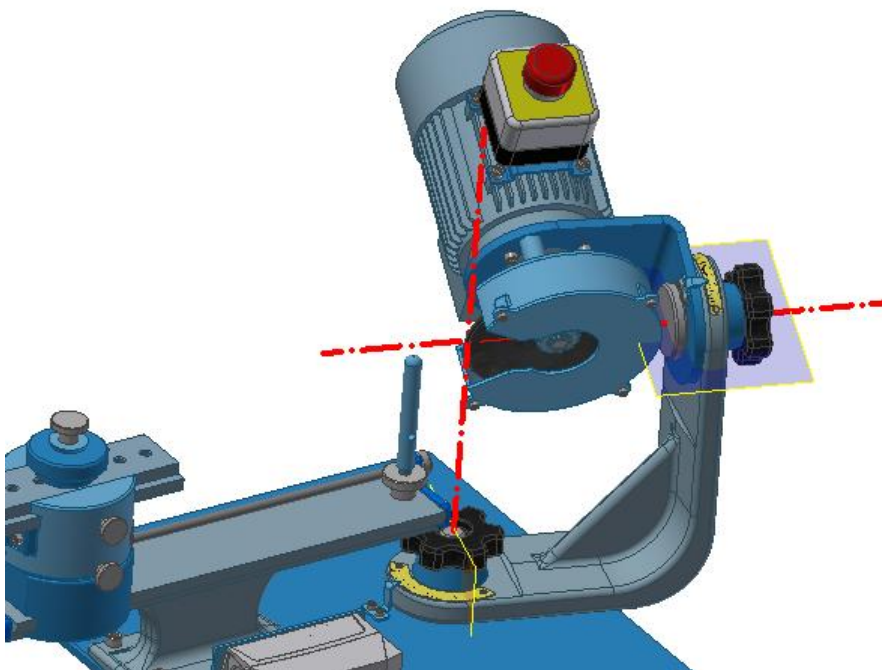


Obr. 37) Pohled na brusku z boku



## 5.8 Otočné klouby motoru

Pro možnost potřebného nastavení nástrojových úhlů je třeba mít možnost brusný kotouč naklopit kolem horizontální osy a zároveň ho pootočit kolem osy vertikální. Polohy os jsou jasné vzhledem ke kinematice natáčení a k tomu, aby šly použít stupnice pro odměření úhlů natočení. Oba klouby s jejich osami otáčení lze najít na obrázku 38.



Obr. 38) Otočné klouby motoru s jejich osy

Hlavní součástí je odlitek držáku motoru. Ten je jednou rotační vazbou připojen k podstavci a druhou rotační vazbou spojen s plechem, který drží motor. Obě součásti jsou zmíněny ve výpočtové části metodou MKP. Rotační vazby jsou realizovány pomocí přesného šroubu a matice. Závit je volen z jemné řady, a proto by mělo být pohodlné šroub dotáhnout ručně. Obě rotační vazby mají svoji stupnici pro snadné odečtení příslušných úhlů natočení.

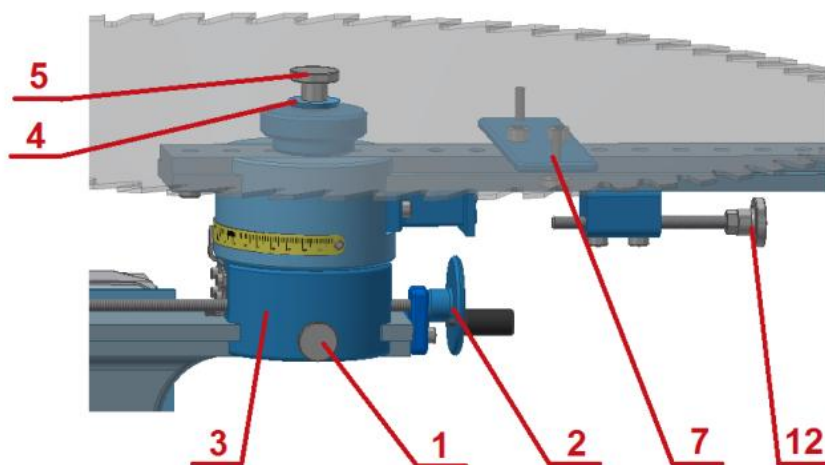
Kvůli potřebné tuhosti bylo třeba na součást odlitku držáku motoru přidat žebro, které tuhost součásti výrazně zvyšuje. Tato tuhost totiž určuje pružnou deformaci a je tedy důležitá pro přesnost stroje.

## 5.9 Odměřovací stupnice

Protože je broušení specifický způsob třískového obrábění, vznikají při jeho provozování malé odpadní třísky, které způsobují na pracovišti nečisté prostředí. Zejména pak v bezprostředním dopadu těchto třísek. V našem případě je ovšem v místě dopadu umístěna minimálně jedna stupnice, která je potřebná ke správnému nastavení stroje, a tudíž je třeba, aby byla i po působení abrazivních účinků třísek čitelná. Proto k tomuto účelu není vhodné použít obyčejný potisk nebo nálepku, nýbrž je třeba využít technologie gravírování laserem nebo rytí, které stupnici prostorově začlení do daného materiálu, a bude proti mechanickému poškození mnohonásobně odolnější.

## 5.10 Nastavení a postup při broušení

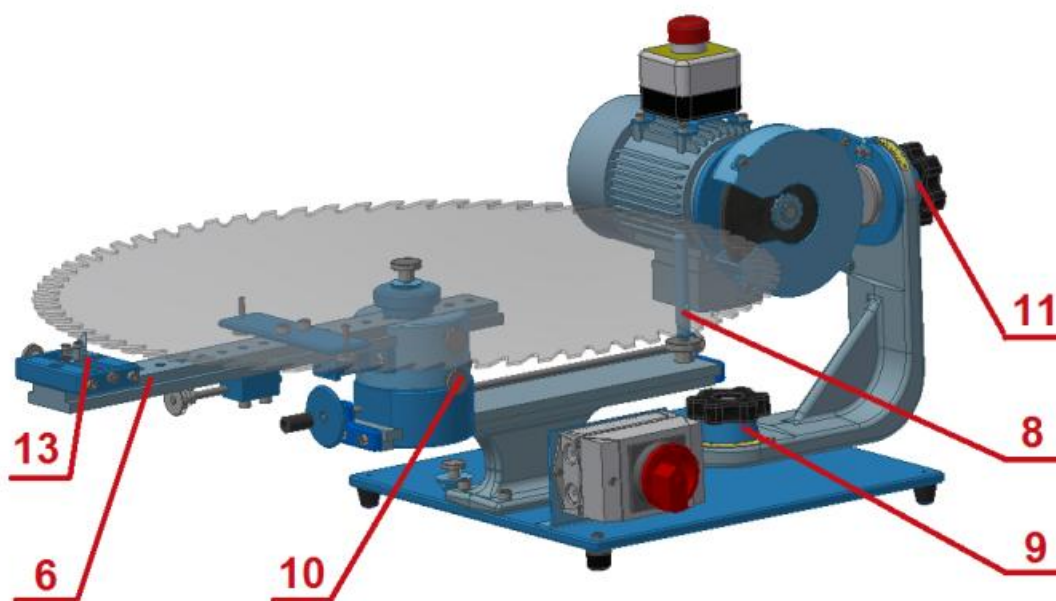
Veškerá nastavení je třeba provádět při vypnutém stroji. Jednotlivé součásti jsou očíslovány na obrázcích 39 a 40.



Obr. 39) Detail stroje pro popis jednotlivých členů

### 5.10.1 Nastavení velikosti kotouče a jeho upnutí

Nejdříve je třeba odjistit vymežovací šroub (1) a pomocí pohybového šroubu (2) nastavíme dostatečnou vzdálenost otočného kloubu (3) od místa řezu podle průměru pilového kotouče, aby šlo pilový kotouč bez problému upnout. Přesné nastavení této vzdálenosti lze provést později. Dále je třeba vybrat vhodnou velikost kuželové podložky (4) pro upnutí kotouče podle průměru upínacího otvoru a pomocí šroubu s drážkovanou hlavou (5) lehce přitáhnout k posuvné liště (6). Upnutí je třeba dokončit nastavením podpůrných šroubů (7) a podpory (8) v blízkosti místa řezu.



Obr. 40) Celkový pohled na stroj s číselnými odkazy

### 5.10.2 Nastavení pro broušení čela zubu

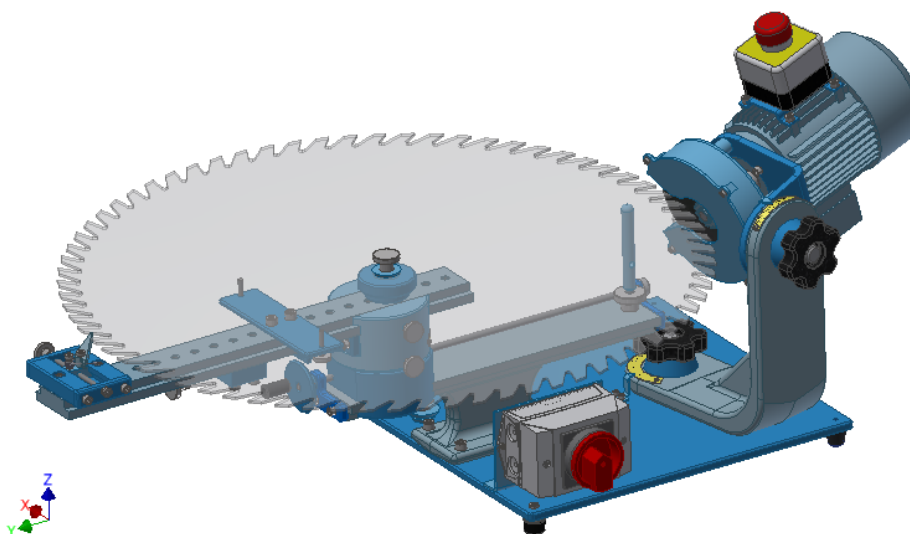
Nastavení úhlu čela  $\gamma$  je provedeno pomocí otočného kloubu (9), kde správnou hodnotu nastavíme pomocí stupnice. K tomu, aby posuv do místa řezu neprobíhal přes hlavní ostří je třeba na otočném kloubu (3) nastavit na stupnici úhel o něco málo větší než je úhel čela  $\gamma$ , zpravidla o 5 až 10 ° větší. Aby bylo zamezeno volnému otáčení kloubu (3) je zde umístěn stavěcí šroub (10), který je třeba při nastavování povolit. Pokud má kotouč úhel šikmého zbroušení čela  $\beta_h$ , tak je tento úhel třeba nastavit na otočném kloubu (11) též opatřeném stupnicí.

Dále je nutné zajistit hloubku úběru. Na to je lišta opatřena stavěcím šroubem (12). Tato hloubka je nastavována tak, aby se brusný kotouč dostal až do potřebné hloubky zubu, tedy často až po poloměr v patě zubu. V případě nutnosti lze celou sestavu stavěcího šroubu (12) přemístit po posuvné liště (6) přemontováním imbusových šroubů. Při tomto nastavování je třeba dopravit vzdálenost otočného kloubu (3) pomocí pohybového šroubu (2) tak, aby byla osa otočného kloubu (3) a osa pilového kotouče totožné, a to právě v okamžiku, kdy je brusný kotouč svým obvodem až v koncové poloze, tedy v patě zubu. Pokud by toto nastavení nebylo provedeno, neodpovídaly by stupnice broušeným úhlům. Po tomto nastavení lze dotáhnout vymežovací šroub (1).

V neposlední řadě je třeba nastavit zarážku (13), která určuje množství odebraného materiálu na jedno broušení zubu. Toto nastavení je třeba provést při vypnutém stroji tak, aby při koncovém dorazu byla mezi brusným kotoučem a zubem malá mezera. Posuv zubu do záběru se provede pomocí zarážky (13) až za chodu stroje. Zarážka by se měla opírat o zub tak, aby nemohlo dojít k samovolnému přeskočení zarážky. Po té je možno spustit stroj a započít broušení.

### 5.10.3 Nastavení pro broušení hřbetu zubu

Nastavení velikosti kotouče zůstává stejné jakožto v předchozím případě. Na otočném kloubu (9) je třeba nastavit úhel hřbetu  $\alpha$ . V případě šikmého zbroušení hřbetu zubu  $\beta_c$  se nastaví úhel na otočném kloubu (11). Pak je třeba brousit každý druhý zub a nastavení pro zbylé zuby přehodit. V případě broušení hřbetu je již posuv k boku zubu zajištěn, a proto není třeba dalšího nastavování s otočným kloubem (3) a ten může zůstat na stupnici na nule. Přibližná konfigurace stroje je vidět na obrázku 41.



Obr. 41) Konfigurace stroje pro broušení hřbetu

Dále se nastaví zarážka (13) tak, aby byl hřbet zubu v záběru celou svou plochou. Zarážka lze též buďto posunout nebo otočit. Velice důležité pro přesnost broušení hřbetu zubu je nastavení dorazu šroubem (12), který nám v tomto případě udává množství odebíraného materiálu.

Po přebroušení všech zubů lze stroj přenastavit na speciální režimy broušení, jako je například broušení zábřitu nebo broušení lichoběžníkových zubů. Pro zábřit je nastavení jednoduché. Postup je stejný jako při nastavování broušení hřbetu zubu akorát s jiným úhlem.

Pro režim broušení lichoběžníkových zubů je třeba vycházet z dané geometrie zubů. Pro zkosení hran se využívá otočný kloub (11). Ačkoliv je nastavení tohoto úhlu omezené do úhlu  $\pm 45^\circ$ , avšak pro většinu pilových kotoučů by to mělo být vyhovující.

#### **5.10.4 Postup broušení**

Po nastavení stroje lze přejít k samotnému broušení. Po sepnutí spínače a rozběhu motoru lze provést už pouze úkony jakožto zvětšení objemu odebraného materiálu pomocí zarážky (13) nebo dorazového šroubu (12). Je však nutné dbát na to, aby nastavení nebylo již náhle měněno během broušení. Je dobré označit si zub, od kterého se začínalo, a ponechat stejné nastavení až do průjezdu všech zubů. Poté je teprve možné nastavení měnit. Pokud je třeba brousit každý druhý zub, je třeba nastavení měnit až po průjezdu obou stran, aby nedocházelo k nerovnoměrnému úběru materiálu a pilový kotouč se tak neznechodil.

Samotné broušení se vykonává hlavním lineárním pohybem do místa řezu pomocí posuvné lišty (6). Po projetí definované dráhy až na nastavený doraz se zajede zpět mimo záběr a kotouč se manuálně pootočí ve směru jenž mu dovoluje zarážka. Po otočení je vždy třeba kotouče přitlačit zpět k zarážce a lze vykonat další pohyb směrem do místa řezu. Tento cyklus se opakuje až do změny nastavení nebo do dostatečného nabroušení kotouče. Zarážku je potřeba mít vždy tak, aby při broušení zabraňovala pootočení kotouče, tedy lze ji i otočit.

#### **5.11 Bezpečnost a ochranná opatření:**

Při broušení brusnými kotouči je kvůli bezpečnosti provozu nutné mít kolem brusného kotouče ochranné kryty, které zabrání případnému zranění obsluhy při možném roztržení brusného kotouče. [2]

Vzhledem k tomu, že při broušení vzniká velké množství malých kousků materiálu, které je vymršťováno do jisté míry nahodile do prostoru, je třeba mít vždy ochranné brýle. K dalším možným bezpečnostním prvkům mohou patřit ochranná sluchátka proti zvýšené hladině zvuku a respirátor proti riziku vdechnutí odpadního prachu.

V neposlední řadě je doporučováno pro manipulaci s pilovým kotoučem využít ochranných rukavic, kvůli jeho ostrým částem. Dochází totiž k bezprostřednímu dotyku s obrobkem a je třeba dbát zvýšené opatrnosti. S Bruskou může manipulovat a obsluhovat pouze osoba seznámená s návodem k obsluze této brusky.

## 6 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Při návrhu této brusky byl kladen důraz na jednoduchost a funkčnost nastavování různých druhů pilových kotoučů tak, aby to bylo snadno pochopitelné i pro občasné brusiče bez zvláštního vzdělání nebo školení. Proto bylo využito pro nastavování stroje převážně rotačních vazeb, na kterých lze snadno odečíst nástrojové úhly bez použití dalších přídavných měřidel, což právě velice zjednodušuje práci s přístrojem a zvyšuje uživatelskou přívětivost. K výhodnému zařazení na trh patří i napájení na 230 V, které ocení především uživatelé v zahrádkářských koloniích a chataři, kteří nemají přístup k třífázové síti.

K důležitým pozitivním vlastnostem brusky patří také funkce přísuvu brusného kotouče z boku zubu kvůli rovnoměrnějšímu opotřebení brusného kotouče, čímž je zlepšena přesnost i po opakovaném broušení. Samozřejmě nesmíme zapomenout, že díky této metodě broušení je sníženo teplotní zatížení hlavního ostří zubu díky kratší době záběru.

Další nepřehlédnutelný faktor je rozmanitost možností broušených typů a tvarů kotoučů. Kromě bazálních nastavení úhlů čela, popřípadě hřbetu, nabízí tato bruska též šikmé zbroušení zubů díky možnosti natočit brusný kotouč i s motorem. Avšak jednou z nadprůměrných schopností brusky je nastavení pro broušení lichoběžníkových zubů.

Díky možnosti výběru z více typů brusných kotoučů lze brousit jak kotouče z nástrojové oceli tak s přídavnými SK plátky.

Přesnost broušení je zajištěna pomocí jednoduché ale stavitelné záračce, která při správném použití zajišťuje přesnost i při opakovaném broušení, a ačkoliv jsou způsoby přesnější, tak se právě díky přívětivé ceně stala zvolenou variantou. Zároveň je práce s ní velice jednoduchá a rychlopochopitelná.

Jednou z mála nevýhod může být menší důraz na hygienu práce a bezkontaktnost pracovníka přímo s nástrojem. Existují totiž řešení, které tento kontakt eliminují na nepřímé posuvy pomocnými pákami. Takové řešení však jde trochu protichůdně proti požadavku na intuitivní nastavování, protože nastavení všech potřebných dorazů již práci i samotnou konstrukci poněkud zesložituje. Avšak při porovnání s běžnou konkurencí lze považovat přímý kontakt s pilovým kotoučem při broušení za zcela běžný. Obě varianty mají srovnatelnou přesnost, která se odvíjí mimo jiné také od předchozích broušení. Proto je doporučováno si pilové kotouče po zhruba 10 až 15 broušeních nechat orovnat na nějaké poloautomatické brusce s přesným dělením zubových roztečí.

Ke komplexnosti řešení bylo několik součástí podrobeno i analýze MKP. Zařízení bylo teoreticky promyšleno a prakticky navrženo v programu Autodesk Inventor Professional 2016, jehož výstupem je i 3D model, ze kterého byla vyobrazena většina obrázků této práce. Výsledný 3D model je součástí příloh. Na základě tohoto modelu by již bylo možné vytvořit první prototyp této brusky.



## 7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce shrnuje několik zásadních uzlů v konstrukci brusky na pilové kotouče, které dohromady dokáží vytvořit hlubší představu ohledně tohoto problému. Díky těmto poznatkům je možné nejen brusku zkonstruovat, ale také získat všeobecný přehled v dané věci a dát tak základ k dalšímu vývoji stroje. Práce je psána srozumitelně a není proto obtížná na pochopení i pro neodborné nebo nezasvěcené čtenáře. Podává střízlivý výtah z dostupných informací, které jsou navíc doplněné o vlastní postřehy a připomínky, což dává práci dostatečnou přidanou hodnotu.

Po důkladné rešeršní práci bylo vytyčeno několik jasných cílů, které byly v průběhu práce postupně vyplněny a určitým způsobem zpracovány do 3D modelu. Výsledný produkt tedy splňuje všechny náležitosti plynoucí ze zadání.

Uplatnění by tento stroj našel jistě v dílně leckterého kutila nebo truhláře, protože potřeba brousit nástroje kvůli otupení postihuje každého uživatele nejen dřevoobráběcích strojů.

Nutno podotknout, že kvůli omezenému rozsahu práce bylo třeba zúžit úhel zájmu. Zůstává tedy prostor ke prozkoumání dané problematiky ještě hlouběji, například do směrů automatických a poloautomatických brusek. Další možnost jak obohatit toto téma je například využití stávajícího stroje k dalším účelům a vytvořit tak universální brusku. S přidáním několika přípravek nebo nástaveb by bylo možné přestavět stroj například k broušení vrtáků, fréz, listových pil, pilových řetězů nebo ručních nástrojů jako jsou třeba dláta, nůžky nebo nože.





## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Broušení kovů: Knižnice strojírenské výroby*. Praha: SNTL, 1959. Typové číslo: L13f-B2-3-II/2362
- [2] JANÍČEK, František. *Stroje a zařízení: pro 1. až 4. ročník středních průmyslových škol dřevařských oboru truhlářství*. Praha: SNTL, 1979. Typové číslo: L 19-C2-IV-31/85152
- [3] JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. *Dřevo a jeho obrábění: Průvodce truhláře*. Praha: Grada publishing, 2010. ISBN 978-80-247-2961-9.
- [4] LICHTÁG, Jiří. *Pilový kotouč v procesu podélného rozřezávání dřeva*. Brno, 1999. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce: Doc. Ing. Vladimír Kabát Csc.
- [5] MASLOV, Jevgenij Nikiforovič. *Teorie broušení kovů*. Praha: SNTL, 1979. ISBN neuvedeno.
- [6] PŘIKRYL, Zdeněk a kol. *Technologie obrábění*. Brno: SNTL/SVTL, 1967. Typové číslo: L13-C3-IV-31/2994X
- [7] ŘÍČKA, Jaroslav a Vladimír BULLA. *Technologie Obrábění*. Praha: SNTL, 1979. ISBN neuvedeno.
- [8] SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [9] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. 5. vydání. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
- [10] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. 5. vydání. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
- [11] VASILKO, Karol, Dominik MICHEL a Ján HRUBEC. *Brúsenie a ostrenie rezných nástrojov*. Bratislava: Alfa, 1984. MDT 621.9.029:621.92
- [12] Circular Saw Blade Grinding Machine. *Yangchen-steel* [online]. Taiwan: Yang Chen Steel Machinery Co., 2013 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.yangchen-steel.com.tw/saw-blade-grinding-machine.html>
- [13] Diamantový kotouč talířový 4A2S. *Diamantové a CBN nástroje E-shop - DIAMA CZ s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 20.05.2017]. Dostupné z: <http://www.diamashop.cz/diamantove-kotouce/diamantove-kotouce-na-tvrdokov/diamantove-kotouce-talirove/diamantovy-kotouc-talirovy-4a2s>
- [14] Drekos Made s.r.o Nabídka *Dřevoobráběcí stroje - Drekos made s.r.o* [online]. Jasenná, Hradec Králové: Webnode, 2009 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.drevoobrabeci-stroje.eu/home/products/bm\\_273944/40/](http://www.drevoobrabeci-stroje.eu/home/products/bm_273944/40/)
- [15] Dřevo Kaplan. *drevo-kaplan.cz* [online]. Praha: eBRÁNA, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.drevo-kaplan.cz/desky-osb-vas-presvedci-o-svych-kvalitach>
- [16] Flat grinding machine / manually-controlled / cutting tool - SSG 600 - KAINDL REILING *DirectIndustry* [online]. Marseille, Francie: Virtual Expo Group, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/kaindl-reiling/product-33387-546810.html>

- [17] Free 2D & 3D CAD files, models and drawings of mechanical, electrical & mechatronics part catalogs. *Tracepartsonline.net - Product content everywhere* [online]. Saint Romain, France: TraceParts S.A., 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://www.tracepartsonline.net/\(S\(ouz3a14ycbcb0gbmcyfmwrdi\)\)/content.aspx?](https://www.tracepartsonline.net/(S(ouz3a14ycbcb0gbmcyfmwrdi))/content.aspx?)
- [18] Jednofázové elektromotory pro lehký rozběh. *Elektromotory Moravec - největší sortiment asynchronních motorů SIEMENS* [online]. Hoštejn, Zábřeh, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/siemens/1lf7-ab-3000-otacek/elektromotor-em-brno-jmc71-2m-0-55kw-2800ot.html>
- [19] Nejlevnější barvy laky. *nejlevnejsi-barvy-laky.cz* [online]. Praha: AiVision, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://www.nejlevnejsi-barvy-laky.cz/industrol-univerzal-s2013-0-375-1?\\_Box%5B541%5D%5BIdOpenedNode%5D=5999&\\_Box%5B528%5D%5BIdCat%5D=5999](https://www.nejlevnejsi-barvy-laky.cz/industrol-univerzal-s2013-0-375-1?_Box%5B541%5D%5BIdOpenedNode%5D=5999&_Box%5B528%5D%5BIdCat%5D=5999)
- [20] Nízkonapětové elektromotory SIEMENS - Katalog K04-0804 CZ: Jednofázové asynchronní motory nakrátko, zavřené 1LF7. *Elektromotory.net* [online]. Praha: Siemens [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [http://www.elektromotory.net/upload/file/katalog\\_1lf7.pdf](http://www.elektromotory.net/upload/file/katalog_1lf7.pdf)
- [21] Nouzová tlačítka YW v krabici *E-shop pro průmyslovou a domovní automatizaci REM-Technik s.r.o.* [online]. Brno: REM-Technik, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.rem-shop.cz/bezpecnostni-systemy/nouzova-tlacitka/nouzova-tlacitka-yw-v-krabice-369.html>
- [22] Pěchování zubů a egalizace pěchovaných zubů. *Pilana.cz* [online]. Hulín: Pilana, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.pilana.cz/cz/pechovani-zubu-a-egalizace-pechovanych-zubu>
- [23] Proma OPK-700 ostříčka pilových kotoučů. *Rucni-naradi.cz* [online]. Ostopovice: ONIO, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.rucni-naradi.cz/proma-opk-700-ostricka-pilovych-kotoucu?gclid=CjwKEAjr\\_rIBRDJzq-Z-LC\\_2HgSJADoL57H\\_8JrNCgsDFV8i1Vb0bAJq4-K1dggWtdpEiLlmvAyzRoC6v7w\\_wcB](http://www.rucni-naradi.cz/proma-opk-700-ostricka-pilovych-kotoucu?gclid=CjwKEAjr_rIBRDJzq-Z-LC_2HgSJADoL57H_8JrNCgsDFV8i1Vb0bAJq4-K1dggWtdpEiLlmvAyzRoC6v7w_wcB)
- [24] Sharpening system for saw blades, router bits and more. *Universalsharpen.com* [online]. Atlanta - Georgia - USA: HaskPro, 2014 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.universalsharpen.com/specialoffer.html>

## 9 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

HSS - high speed steel neboli rychlořezná (nástrojová) ocel

KNB - kubický nitrid bóru

MKP - metoda konečných prvků

OSB deska - Oriented Strand Board, deska z orientovaných, rozprostřených velkoplošných třísek [15]

PKD - polykrystalický diamant

SK - slinutý karbid

$a_1, a_2, a_3$  - vzdálenosti od působišť sil, ramena momentů [m]

$c_p$  - materiálová konstanta [-]

$D$  - průměr brusného kotouče [m]

$D_p$  - průměr pilového kotouče [m]

$F_{rad}$  - radiální složka řezné síly [N]

$F_{\tau}$  - řezná síla ve směru tečném [N]

$g$  - gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$h$  - hloubka úběru [mm]

$M_{Fg11}$  - 1. složka momentu od gravitační síly [N.m]

$M_{Fg12}$  - 2. složka momentu od gravitační síly [N.m]

$M_{Fpř}$  - moment od přidavné síly [N.m]

$M_{Frad}$  - moment od radiální složky řezné síly [N.m]

$M_{F\tau}$  - moment od tečné složky řezné síly [N.m]

$M_z$  - záběrný moment [N.m]

$n$  - otáčky motoru [ $min^{-1}$ ]

$n_1$  - předběžná hodnota otáček motoru [ $min^{-1}$ ]

$n_p$  - počet otáček pilového kotouče [ $min^{-1}$ ]

$P$  - řezný odpor [kg]

$P_m$  - výkon motoru [kW]

$s$  - posuv na 1 zdvih [mm/zdvih]

$t$  - rozteč zubů [mm]

$v$  - obvodová rychlost pilového kotouče [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$v_{\tau}$  - řezná (brusná) rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$v'_{\tau}$  - předběžná hodnota řezné rychlosti [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$\eta$  - účinnost brusky [-]



## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1)	Tabulka doporučených hodnot řezných rychlostí pilových kotoučů [3].....	17
Obr. 2)	Znázornění odstředivých sil na pilovém kotouči [3] .....	18
Obr. 3)	Hlavní části zubu [4] .....	18
Obr. 4)	Zub se zábřitem [4] .....	19
Obr. 5)	Různé úhly břitu, vliv na řezný odpor [2] .....	19
Obr. 6)	Znázornění jednotlivých nástrojových úhlů pilového kotouče [2] .....	20
Obr. 7)	Druhy ozubení [2] .....	21
Obr. 8)	Tabulka délkových rozměrů zubů pilových kotoučů [2] .....	22
Obr. 9)	Způsoby uložení destiček ze slinutých karbidů [2] .....	22
Obr. 10)	Druhy rozvodů zubů [2] .....	23
Obr. 11)	Tabulka doporučených rozvodů u pilových kotoučů [22] .....	24
Obr. 12)	Správné skladování kotouče - zavěšení v obalu na stěně.....	24
Obr. 13)	Mikrotvrдость vybraných brusných materiálů [7] .....	27
Obr. 14)	Ostříčka pilových kotoučů - Proma OPK-700 [23] .....	30
Obr. 15)	Ostříčka SSG 600 - M - LF [16] .....	30
Obr. 16)	Univerzální bruska - US-550 [24] .....	31
Obr. 17)	Svislá bruska PT 1/2 [14] .....	31
Obr. 18)	Varianta 1 - lineární posuv kotouče na lineárním suportu .....	33
Obr. 19)	Odměrování úhlu čela .....	34
Obr. 20)	Varianta 2 - Rotační součásti místo suportu .....	35
Obr. 21)	Přísuv do místa řezu přímo a z boku zubu .....	35
Obr. 22)	Varianta 3 - svislá poloha pilového kotouče .....	36
Obr. 23)	Varianta 4 - Hlavní posuv do místa řezu koná brusný kotouč .....	37
Obr. 24)	Varianta 5 - Kombinovaná varianta .....	38
Obr. 25)	Schéma zatížení odlitku držení motoru .....	41
Obr. 26)	Výsledek numerické simulace napětí vlevo a pružné deformace vpravo ...	42
Obr. 27)	Schéma zatížení plechu držení motoru .....	42
Obr. 28)	Výsledek numerické simulace napětí .....	43
Obr. 29)	Výsledek numerické simulace pružné deformace .....	43
Obr. 30)	Pohled na posuvnou lištu a navazující součásti .....	44
Obr. 31)	Bruska s přidavným dělicím kotoučem [12] .....	45
Obr. 32)	Dělicí zarážka .....	45
Obr. 33)	Uchycení a vystředění pilového kotouče pomocí kuželové podložky .....	46
Obr. 34)	Podpora v blízkosti místa broušení .....	47
Obr. 35)	Svarek spodní části kloubu .....	47
Obr. 36)	Otočný kloub .....	48
Obr. 37)	Pohled na brusku z boku .....	48
Obr. 38)	Otočné klouby motoru s jejich osy .....	49
Obr. 39)	Detail stroje pro popis jednotlivých členů .....	50
Obr. 40)	Celkový pohled na stroj s číselnými odkazy .....	50
Obr. 41)	Konfigurace stroje pro broušení hřbetu .....	51



## 11 SEZNAM PŘÍLOH

*CD:*

2017\_BP\_Taticek\_Vojtech\_170833.pdf

3D\_model\_bruska\_pilovych\_kotoucu\_STEP

3D\_model\_bruska\_pilovych\_kotoucu\_STL

*Výkresy (také součást CD):*

01-01-A2-01 - Celková sestava.pdf

01-01-A3-02 - Sestava držáku motoru.pdf

01-01-A3-03 - Odlitek podpůrného podstavce.pdf

01-01-A3-04 - Podpůrný podstavec.pdf