



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## NÁVRH UNIVERZÁLNÍ STROJNÍ PÁSOVÉ BRUSKY

DESIGN OF UNIVERSAL BELT GRINDER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Skala

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin

Valena

BRNO 2024



## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Ondřej Skala</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>Ing. Martin Valena</b>
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Návrh univerzální strojní pásové brusky

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na trhu existuje několik druhů strojních pásových brusek, které jsou ovšem postavené tak, že jsou víceméně jednoúčelové a poměrně nepropracované. Mají většinou jeden pevný stolek a jeden brousící přípravek ke kolmému broušení, takže na nich pracovník nevybrousí žádné přesnější nebo komplikovanější tvary (např. rádius, úhel atd.). Návrh celé nové konstrukce pásové brusky tyto nedostatky řeší a přinese uživatelsky velmi přívětivý stroj, který bude určen na mnoho typů broušení různých druhů materiálů (od dřeva až po kalenou ocel).

Typ práce: vývojová – konstrukční

#### Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je navrhnout univerzální strojní pásovou brusku s možností vertikálního i horizontálního broušení a přípravy k tomu potřebné.

Díličí cíle bakalářské práce:

- stanovení parametrů brusky a požadavků na pohon,
- vysoká tuhost konstrukce, regulovatelná rychlost, uživatelská přívětivost,
- návrh koncepčních variant a volba finální varianty,
- výroba, sestavení a ověření funkce.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncenii/>.

#### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R. a BUDYNAS, Richard G., VLK, Miloš (ed.).  
Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. Překlady vysokoškolských učebnic. V  
Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 9788021426290.

ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3. Vyd. 2. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.

KOŠEK, Vlastimil; Zahrádka, Karel a Malý, Vladislav. Broušení a leštění brusnými pásy. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. ISBN 04-275-62.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem univerzální strojní pásové brusky s možností vertikálního a horizontálního broušení, u které je kladen důraz na maximalizaci potenciálu jejího využití. K brusce je zkonstruováno i několik přípravků, přičemž je dbáno na vysokou kvalitu, univerzálnost a uživatelskou přívětivost ovládání stroje. Teoretická část stručně pojednává o broušení, představuje druhy pásových brusek a rozebírá problematiku brusných pásů. Na základě rešerše jsou stanoveny konkrétní požadavky na pásovou brusku a z koncepčních řešení je vybrán vhodný typ konstrukce. Následuje konstrukční návrh podložený výpočty nezbytnými pro správný a spolehlivý chod stroje a kontrolou napětí pomocí metody konečných prvků. Finální část popisuje výrobu a sestavení stroje, které je zakončeno ověřením funkčnosti celé pásové brusky včetně všech přípravků. Výsledkem práce je plně funkční obráběcí stroj splňující stanovené požadavky.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Strojní pásová bruska, brousící přípravky, broušení, brusný pás, napínání brusného pásu, konstrukční návrh

## ABSTRACT

This thesis focuses on the design of a universal belt grinder with the capability for both vertical and horizontal grinding, aiming to maximize its usage potential. Several grinding attachments have been designed for the grinder, with attention to high quality, versatility, and user-friendly operation. The theoretical part describes grinding, types of belt grinders, and abrasive belts. Based on the research, specific requirements for the belt grinder are established, and a suitable type of construction is selected from the conceptual solutions. This is followed by a design proposal supported by calculations necessary for the proper and reliable operation of the machine and stress analysis using the finite element method. The final part describes the manufacturing and assembly of the machine, concluding with the verification of the functionality of the entire belt grinder, including all grinding attachments. The result is a fully functional belt grinder that meets the specified requirements.

## KEYWORDS

Belt grinder, grinding attachments, grinding, abrasive belt, belt tensioning, mechanical design

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SKALA, Ondřej. *Návrh univerzální strojní pásové brusky* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157367>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Martin Valena.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Valeny a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2024

.....

Ondřej Skala

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych vyjádřil upřímné poděkování svému vedoucímu, panu Ing. Martinu Valenovi, za jeho cenné rady, ochotu a čas, který mi věnoval při zpracování této bakalářské práce. Velké díky patří také mé rodině a přátelům za jejich neustálou podporu během celého studia.



# OBSAH

Úvod .....	11
<b>1 Současný stav poznání.....</b>	<b>12</b>
1.1 Broušení .....	12
1.2 Pásové brusky .....	12
1.2.1 Ruční pásové brusky .....	13
1.2.2 Kombinované brusky .....	13
1.2.3 Stojanové a stolní pásové brusky .....	14
1.2.4 Nožířská pásová bruska .....	15
1.2.5 Přípravky nožířských pásových brusek .....	15
1.3 Brusné pásy .....	18
1.3.1 Nosné pásy .....	18
1.3.2 Pojiva a povlaky .....	19
1.3.3 Brusná zrna .....	19
1.3.4 Zrnitost brusiva .....	20
1.3.5 Hustota posypu .....	21
1.3.6 Typizované rozměry pásu .....	21
1.3.7 Doporučené řezné rychlosti pro brusné pásy .....	22
<b>2 Rozbor problematiky .....</b>	<b>23</b>
2.1 Vymezení požadavků na pásovou brusku .....	23
2.1.1 Rozměr brusného pásu .....	23
2.1.2 Pohon a regulace otáček .....	23
2.1.3 Vertikální a horizontální broušení .....	24
2.1.4 Tuhost konstrukce .....	24
2.1.5 Výměna brusných pásů .....	24
2.1.6 Broušící přípravky .....	24
2.1.7 Korozní odolnost .....	25
2.2 Cíle závěrečné práce .....	25
<b>3 Koncepční návrhy .....</b>	<b>26</b>
3.1 Uspořádání výsuvných ramen pásové brusky .....	26
3.1.1 Varianta 1 .....	26
3.1.2 Varianta 2 .....	26
3.1.3 Varianta 3 .....	27
3.1.4 Vyhodnocení variant uspořádání výsuvných ramen .....	28
3.2 Způsob napínání brusného pásu .....	28
3.2.1 Lineární mechanismus .....	28
3.2.2 Otočný (pákový) mechanismus .....	28
3.2.3 Vyhodnocení způsobů napínání brusného pásu .....	29
<b>4 Konstrukční řešení .....</b>	<b>30</b>
4.1 Návrh pohonné soustavy .....	30
4.2 Hlavní konstrukce pásové brusky .....	34
4.2.1 Základna a elektroinstalace .....	34
4.2.2 Hlavní tělo .....	35
4.2.3 Hnací kolo .....	36

---

4.2.4	Napínací mechanismus brusného pásu .....	37
4.3	Přípravky pásové brusky .....	43
4.3.1	Tříkladková broušící hlava s opěrkou brusného pásu .....	44
4.3.2	Univerzální opěrný stolek s T drážkou .....	46
4.3.3	Úhelník ke stolku .....	47
4.3.4	Sada malých rolen s držákem.....	47
4.3.5	Opěrný stolek s výřezy.....	48
4.3.6	Lineární magnetická rovinná bruska .....	49
4.3.7	Podstavec pásové brusky .....	50
<b>5</b>	<b>Výroba, sestavení a ověření funkce .....</b>	<b>51</b>
5.1	Výroba.....	51
5.2	Sestavení.....	51
5.3	Ověření funkce .....	52
<b>Závěr .....</b>	<b>54</b>	
<b>Použité informační zdroje .....</b>	<b>55</b>	
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>57</b>	
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>59</b>	

## ÚVOD

Stroje s velkým potenciálem využití a rozsáhlým polem působnosti, to jsou pásové brusky. Jedná se o elektricky poháněné zařízení, jejichž hlavní použití je v oblasti dokončovacích operací. Nabízejí rozsáhlé možnosti broušení různých materiálů od dřeva a plastů přes kovové materiály až po sklo. Díky jejich univerzálnosti jsou stále více rozšířené v různých výrobních odvětvích jako jsou např. truhlárny, svařovny, nástrojárny, kovárny a velké oblibě se těší i v domácích dílnách. Mezi konkrétní běžné operace těchto strojů patří srážení hran obrobků, vybrušování různých tvarů, ruční ostření vrtáků a nožů, leštění atd.

Na trhu se vyskytují různé typy pásových brusek, které se velmi liší svojí konstrukcí, velikostí i výkonem. Jejich konkrétní provedení záleží zpravidla na oblasti použití a jejich aplikaci ve výrobě. Jedním z hlavních představitelů těchto zařízení jsou strojní (stacionární) pásové brusky, u kterých pracovník zpravidla drží obrobek v rukách nebo ho přidržuje na opěrném stolku a pohybuje s ním vůči brusnému pásu. Existuje mnoho různých variant konstrukčních řešení těchto brusek, ale většinou se jedná o jednoúčelové či málo propracované zařízení, které ani zdaleka nevyužívají všech svých možností. Často se také stává, že seřizování či výměna přípravků nebo pásů je velice nepohodlná a zdlouhavá, což vede k navýšení výrobního času jednotlivých obrobků.

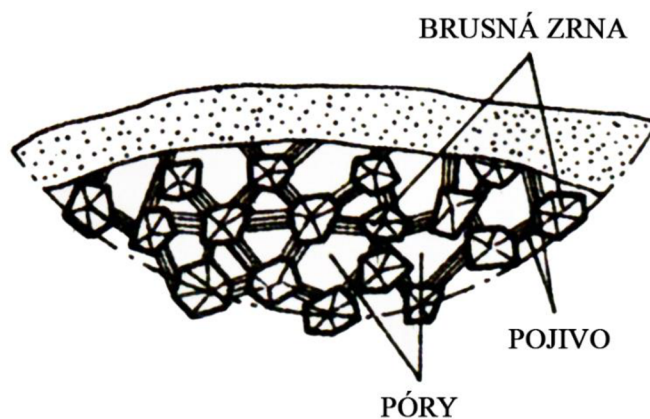
Tento typ stroje je i nezbytným zařízením pro ruční výrobu nožů, které se již několik let věnují. Zde je používán k vybrušení tvaru čepele, ostří a v neposlední řadě i k hrubému vytvarování rukojeti. Pro tento případ i další jiné je zapotřebí vybrousit poměrně složité a přesné tvary, které by na obyčejných pásových bruskách bylo náročné či i nereálné vyrobit. Právě tyto důvody mě motivují ke zkonstruování nového stroje, u kterého bude snaha o získání co největšího potenciálu využití v jednom zařízení.

Hlavním cílem této bakalářské práce je tedy navrhnout a vyrobit univerzální strojní pásovou brusku s možností vertikálního i horizontálního broušení a několik přípravků pro umožnění broušení různých tvarově složitých obrobků. Jedním z požadavků je také zajistit jednoduché, rychlé, přesné a uživatelsky přívětivé ovládání, které zajistí příjemný pocit z používání stroje.

# 1 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

## 1.1 BROUŠENÍ

Jedná se o jednu z historicky nejstarších metod obrábění, která je využívána zejména k dokončovacím operacím, se kterými lze dosahovat vysoké přesnosti a jakosti povrchu. Úběr materiálu v podobě malých třísek způsobují tvrdá brusná zrna, která jsou náhodně rozmístěna v brusném nástroji spojena pojivem viz obr. 1. Na rozdíl od klasických typů obrábění, kde bývá zpravidla přesně definovaná geometrie břitu, je u nástroje pro broušení každé zrno brusiva jiného geometrického tvaru zpravidla se záporným úhlem čela. [1]



Obr. 1 Struktura broušícího nástroje ([1] upraveno)

Typickými nástroji pro broušení jsou například broušící kotouče, kameny, papíry, pásy a lze sem zařadit také brusné a lešticí pasty. Konkrétně brusné pásy jsou podrobně rozebrány v kapitole 1.3.

## 1.2 PÁSOVÉ BRUSKY

Jedná se o elektricky poháněná zařízení, u kterých je hlavním obráběcím elementem již zmíněný nekonečný brusný pás, který je napnutý mezi 2 nebo více kladkami<sup>1</sup>. „Pásové brusky lze použít pro broušení rovinných, rotačních, i tvarových ploch. Jejich výhodou je velký výkon broušení, dobré využití brusiva, malé teplotní ovlivnění broušeného povrchu a snadná výměna broušícího pásu.“ [1] Svoje využití tím pádem najdou zejména v truhlářských, kovoobráběcích a opravárenských dílnách, kde slouží primárně k dokončovacím operacím jako je srážení hran, odjehlování, vybrušování různých tvarů, leštění atd.

Na trhu existuje několik druhů pásových brusek, kde každá plní trochu jiné funkce a je svojí konstrukcí přizpůsobená tak, aby vyhovovala danému použití. V následujícím textu je uvedeno několik častých variant provedení.

<sup>1</sup> Lze se setkat s názvy jako kladka, rolna nebo kolo (např. hnací kolo)

### 1.2.1 RUČNÍ PÁSOVÉ BRUSKY

Jak již názvu vyplývá, tak ruční brusky jsou relativně malé a lehké zařízení, se kterými pracovník opracovává materiál, který je nehybně umístěn. Nejčastějším zařízením tohoto typu je bruska používaná primárně na broušení dřevěných rovných ploch viz obr. 2 (vlevo).

Dalším typem jsou pilníkové (prstové) brusky, které se využívají pro detailnější broušení povrchů viz obr. 2 (vpravo). Nadále existují také pásové brusky pro broušení a leštění trubek kruhových průřezů.



Obr. 2 Ruční pásová bruska MAKITA 9903 (vlevo), elektrický pilník MAKITA 9032 (vpravo) [2]

### 1.2.2 KOMBINOVANÉ BRUSKY

Tyto stroje disponují dvěma broušícími elementy, brusným pásem a talířem viz obr. 3 (vlevo) nebo brusným kotoučem viz obr. 3 (vpravo). Jedná se o velice zajímavé a rozměrově kompaktní řešení, které nalezne své využití v hobby dílnách mezi domácími kutily. Většinou jsou určeny k broušení dřeva, plastů a kovů, každopádně je třeba mít na vědomí, že se jedná o malé stroje s poměrně nízkým výkonem (typicky 0,25–0,5 kW), které zvládnou pouze malý úběr materiálu.



Obr. 3 Pásová a talířová bruska (vlevo), kotoučová a pásová bruska (vpravo) [3]

### 1.2.3 STOJANOVÉ A STOLNÍ PÁSOVÉ BRUSKY

Brusky stojanové se vyznačují svým robustním stojanem, který při vhodném umístění brusky zaručí přístupnost brousících prostorů ze všech směrů. Zpravidla tyto stroje umožňují broušení jak na horní rovinné ploše, tak na čelním válci, kde je připraven i praktický opěrný stolek viz obr. 4 [4]. Hlavní výhodou je vysoký příkon, který bývá v rozmezí 2,2 až 4 kW a dovoluje velice hrubý a agresivní úběr materiálu. Díky tomu jsou tyto brusky vhodné např. do kováren, sléváren a zámečnických firem. Nevýhodou může být absence plynulé regulace rychlosti pásu, která je v lepších případech nahrazena pouze dvourychlostním motorem.



Obr. 4 Stojanová pásová bruska BS150 [4]

Stolní pásové brusky jsou svojí hlavní konstrukcí velice podobné stojanovým viz obr. 5. Primárním rozdílem jsou menší rozměry a s tím spojený i užší a kratší brusný pás. Příkon u těchto strojů se pohybuje kolem 1,5 kW. I tak se ovšem jedná o výkonné stroje na broušení především kovových materiálů, které jsou vhodné do menších dílen a nástrojáren. Stejně jako u stojanových brusek je zde pouze jednorychlostní nebo u kvalitnějších zařízení dvourychlostní elektromotor.



Obr. 5 Stolní pásová bruska MBSM 100-130-2 [5]

#### 1.2.4 NOŽÍŘSKÁ PÁSOVÁ BRUSKA

Nejvíce univerzálním typem jsou tzv. nožířské pásové brusky. Vyznačují se zejména větším opěrným stolkem a brousicí hlavou s rovnou opěrkou pásu pro oporu při broušení, kterou lze někdy měnit za jiné přípravky. Ty poskytnou různé varianty broušení potřebné pro obrábění tvarově složitých součástí. Některé konstrukce mají možnost naklápění konstrukce brusky ze svislé do horizontální polohy, což pro některé brousící operace je velice výhodné viz obr. 6.

Často se lze zde setkat i s plynulou regulací rychlosti pásu, která umožňuje zvolit vhodné brousící podmínky pro obrábění celé škály materiálů od měkkých dřev a plastů až po velmi tvrdé oceli, slitiny atd. Tyto brusky nejčastěji používají brusné pásy šířky 50 mm a délky 2000 mm. Pro pohon jsou zde využívány převážně asynchronní elektromotory s výkonem od 1,1 do 2,2 kW. Díky těmto vlastnostem se jedná o pásové brusky s největším potenciálem využití nejen pro výrobu nožů, ale také najdou výborné uplatnění ve svařovnách, kovárnách i domácích dílnách.



Obr. 6 Pásová bruska HAIM H03P V2 (nožířská) [6]

#### 1.2.5 PŘÍPRAVKY NOŽÍŘSKÝCH PÁSOVÝCH BRUSEK

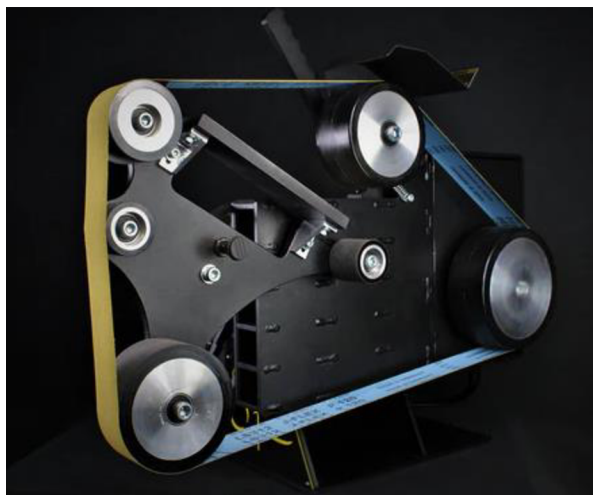
Velkou výhodou u těchto strojů je možnost použití různých vyměnitelných přípravků, které dokáží velice usnadnit a zpříjemnit práci nebo dokonce umožní vybrousit tvary, které by normálně byly nereálné či extrémně komplikované. Jedná se zejména o malé i velké vnitřní rádiusy různých rozměrů, zkosení s přesným úhlem a perfektní rovinu. V následujícím textu jsou vyobrazeny nejobvyklejší přípravky.

##### VÍCEKLADKOVÁ BROUSICÍ HLAVA S OPĚRKOU PÁSU

Jedná se o vylepšený základní přípravek brousicí hlavy pro rovné broušení. Skládá se z rovné opěrky brusného pásu a několika vodících kladek, většinou rozdílných průměrů viz obr. 7.

Přípravek lze zpravidla libovolně otáčet a tím si volit přes, které kladky bude pás běhat. Rovná opěrka slouží k broušení rovných ploch, úkosů atd., zatímco na jednotlivých kladkách lze brousit velké vnitřní rádiusy. Poslední možností je broušení tzv. na volném pásu neboli část

pásu, která je natažená mezi 2 rolkami a nemá za sebou žádnou opěrku. To je vhodné primárně pro vytvoření různě zaoblených tvarů a vnějších rádiusů.



*Obr. 7 Vícekladková brousící hlava [7]*

#### **MALÉ KONTAKTNÍ ROLNY S DRŽÁKEM**

Přípravek malých kontaktních roln je vhodný k broušení a odjehlování vnitřních rádiusů. Kládky mohou být ocelové nebo pogumované a jsou zpravidla jednoduše vyměnitelné viz obr. 8 [6]. Nejběžnější průměry jednotlivých kladek se pohybují od 10 do 50 mm.



*Obr. 8 Držák a sada malých kontaktních roln [6]*

#### **UNIVERZÁLNÍ OPĚRNÝ STOLEK**

Obráběný materiál pracovník drží v rukách, takže velice praktickým přípravkem pro ulehčení práce a zvýšení přesnosti je opěrný stolec umístěný těsně před brusným pásem. Základní variantou jsou pevné stolky, u kterých lze měnit pouze vzdálenost od pásu, což je pro jednoduché brousící operace naprosto postačující.

Každopádně velkou výhodou poskytují opěrné stolky s nastavitelnou pracovní výškou a úhlem sklonu, díky nimž lze pro pracovníka nastavit pohodlná poloha pro broušení jednotlivých tvarů a přesných úkosů.



Na obr. 9 lze vidět propracovanější univerzální opěrný stolek s mechanismem pro nastavení polohy, výšky a naklonění stolku a také výřezy pro lepší obklopení brusného pásu při použití malých rolen.



*Obr. 9 Univerzální opěrný stolek [8]*

### ÚHELNÍK KE STOLKU

Užitečným přípravkem pro broušení přesných úkosů i pravých úhlů je také úhelník. K jeho použití je zapotřebí drážka v desce stolku. Bohužel výrobci pásových brusek tuto možnost téměř nenabízejí, ale setkat se s tím lze např. u talířových brusek viz obr. 3 (vlevo).

### LINEÁRNÍ MAGNETICKÁ BRUSKA

Přípravek vhodný zejména pro nožiře, ale nalezne dobré uplatnění i v běžné praxi. Jedná se o lineární magnetickou brusku viz obr. 10, která by se svojí funkcí dala přirovnat k rovinné brusce. Hlavním účelem je vytvoření dokonale rovné rovnoběžné plochy, jejíž drsnost povrchu lze jednoduše ovlivnit zvolením vhodné zrnitosti brusného pásu. Obráběná součást je upevněna na magnetické desce, u které pracovník ručně ovládá její přísuv ke kontaktnímu kolu s brusným pásem a také vykonává podélný přímočarý vratný posuv k vytvoření požadované rovné plochy.

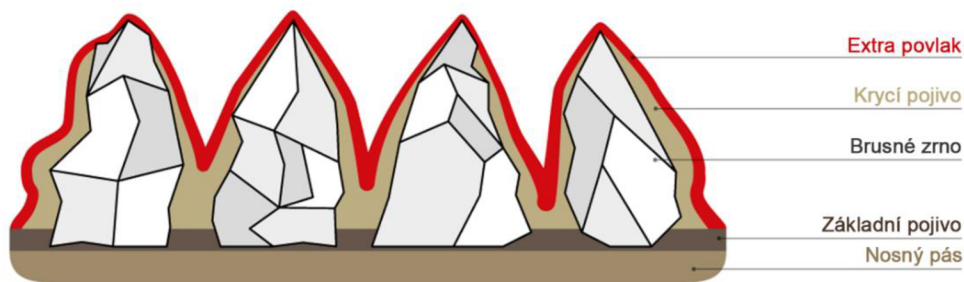


*Obr. 10 Lineární magnetická bruska (přípravek) [9]*

### 1.3 BRUSNÉ PÁSY

Nástrojem pasových brusek jsou nekonečné brusné pásy, které umožňují dosahovat vysoké produktivity obrábění a velmi dobré jakosti opracovaného povrchu. Uplatňují se pro broušení celé řady materiálů počínaje dřevem a plasty až po těžce obrobitelné legované oceli a slitiny titanu [1]. Speciální druhy lze použít také na broušení skla, keramiky, mramoru a dalších podobných materiálů viz kapitola 1.3.3.

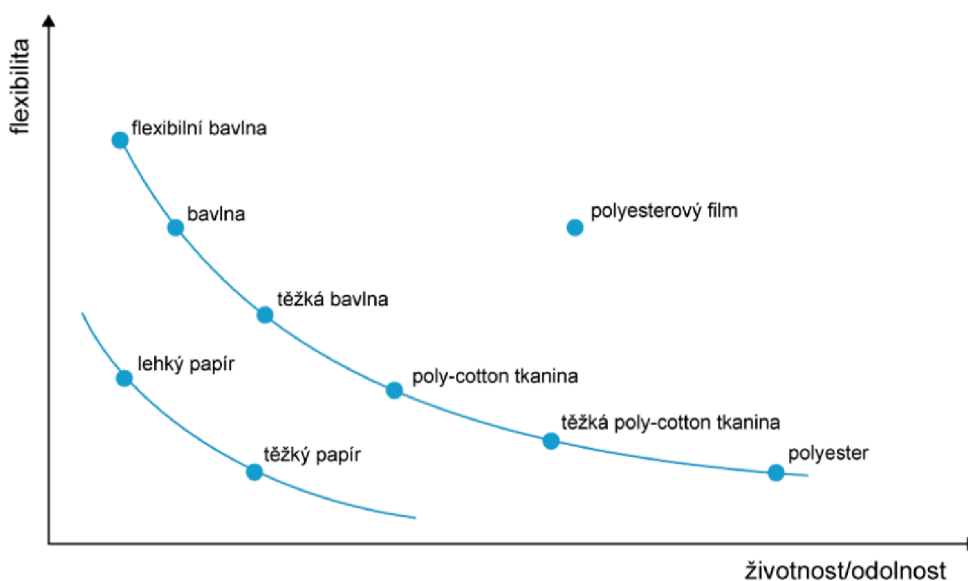
Na obr. 11 lze vidět složení brusného pásu, kde jsou na nosném pásu pomocí základního pojiva upevněny brusná zrna, na kterých je naneseno krycí pojivo a ve speciálních případech i extra povlak.



Obr. 11 Schéma složení brusného pásu ([10] upraveno)

#### 1.3.1 NOSNÉ PÁSY

Nosný pás slouží jako podklad pro brusná zrna a k jeho výrobě se používá zejména papír nebo tkanina (textil). Jednotlivé typy těchto materiálů viz obr. 12 se ještě liší zejména jejich tloušťkou, flexibilitou, pevností a životností [10].



Obr. 12 Druhy nosných pásů [10]

- **Papírový podklad** je odolný proti natažení, má menší hmotnost než tkaninový a čím je nižší gramáž papíru tím je i flexibilnější. Pásky s tímto podkladem jsou určeny pro suché broušení [11]. Jejich cena je příznivá.
- **Tkaninové pásky** jsou vyráběny z materiálů jako je aramid (syntetická vlákna), bavlna, polyester nebo polly-cotton (umělá bavlna). Tyto druhy mají vysokou pevnost v tahu a lze je sehnat ve variantách od velmi flexibilních po mimořádně pevné. [11]

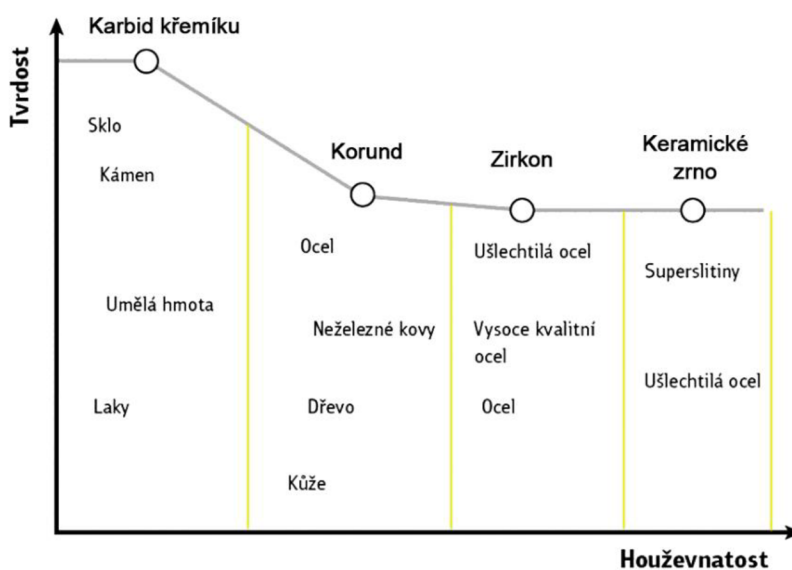
### 1.3.2 POJIVA A POVLAKY

Brusné pásky a další podobné nástroje prochází výrobním procesem, během kterého obdrží dvě vrstvy pojiv. První vrstva základního pojiva připevňuje zrna na podklad. Druhá vrstva krycího pojiva spojuje jednotlivá zrna dohromady a poskytuje ochranu proti teplu [12]. „Druh a množství krycího pojiva má rozhodující vliv na brusný výkon brusného prostředku.“ [13]

Většina brusiv používaných dnes je spojena pryskyřicí, každopádně u finišovacích pásů se lze setkat také s lepidlem na živočišné bázi, které při broušení měkne a pojivo poté působí na brusná zrna jako polštář, což vede k měkčím brusným vlastnostem [12]. U prémiových výrobků se lze setkat s tzv. extra povlakem. Jedná se o doplňkovou vrstvu pro dodatečné zpevnění vazby mezi brusivem a nosným médiem, která také dokáže snížit tepelné zatížení obrobku i pásu při broušení [10]; [14].

### 1.3.3 BRUSNÁ ZRNA

Hlavním prvkem nekonečných pásů jsou právě brusná zrna, která se vyznačují vysokou tvrdostí a odolností, což zajišťuje efektivní a rovnoměrné odebrání materiálu při broušení. Jejich vlastnosti a použití závisí primárně na volbě konkrétního materiálu, kterých existuje celá řada a na obr. 14 jsou uvedeny ty nejčastější.



Obr. 14 Druhy brusných zrn ([13] upraveno)

**Karbid křemíku (SiC)** je jeden z nejtvrdějších a nejostřejších materiálů používaných na brusných pásích. Pro jeho vysokou tvrdost a ostrost je vhodný pro broušení neželezných kovů, plastů, gumy, dřeva, skla, keramiky, mramoru, kamene. [15]

**Korund (AlOx)** je nejznámější a nejběžnější brusný materiál, vhodný především pro broušení materiálů jako je uhlíková ocel, neželezné kovy, dřevo, kůže atd. Barva pásu je zpravidla hnědá. [15]

**Zirkon** je brusný materiál se samoostřícím účinkem, který je velmi agresivní při vysokém pracovním tlaku a vhodný je zejména na ocel, nerez, barevné kovy, plasty a dřevo. Barva pásu je modrá nebo modrozelená. [15]

**Keramické zrno** je nejnovějším materiálem s velmi dlouhou životností a odolností díky jeho mikrokrystické struktuře. Vyznačuje se velmi vysokým úběrem materiálu při nízkém i vysokém přítlaku a schopností samoostření. Využíván pro broušení speciálních materiálů jako jsou chrom-niklové a kobaltové slitiny, ušlechtilé oceli, titan, ale je vhodný i na nerez, ocel, neželezné kovy a kalené nožičské oceli. Barva pásu je převážně červená nebo oranžová až světle hnědá. [15]

#### 1.3.4 ZRNITOST BRUSIVA

Jeden z nejdůležitějších parametrů při volbě brusného pásu, který ovlivňuje drsnost broušeného povrchu. Mezinárodní norma FEPA určuje zrnitost brusiva podle počtu ok síta, kterým propadne zrno na jeden čtvereční palec [16]. Čím je číslo zrnitosti vyšší, tím jsou menší částky brusného zrna a pás je jemnější viz tab. 1.

Písmeno "P" před velikostí zrnitosti značí, že velikostní škála je uvedena v souladu s metodikou FEPA P, což u tohoto druhu výrobků bývá nepsaným standardem [10].

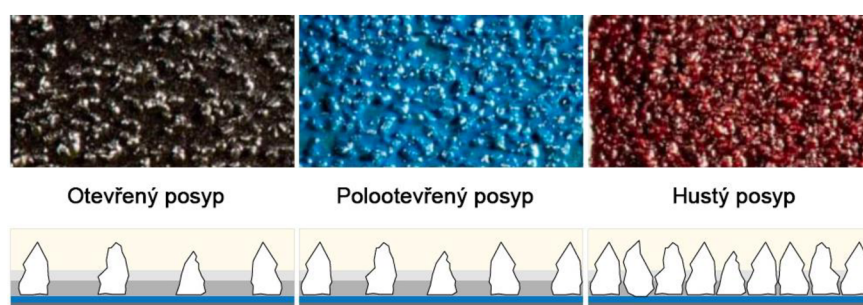
Tab. 1 Typy zrnitosti dle FEPA/ISO ([10] upraveno)

Charakteristika zrnitosti dle ISO/FEPA		Označení	Průměrná velikost částic brusiva [mm]
Makročástice	Velmi hrubá	P12 – P36	1,815 – 0,538
	Hrubá	P40 – P50	0,425 – 0,336
	Střední	P60 – P80	0,269 – 0,201
	Jemná	P100 – P120	0,162 – 0,125
	Velmi jemná	P150 – P220	0,100 – 0,068
Mikročástice	Velmi jemná	P240 – P360	0,058 – 0,040
	Extra jemná	P400 – P600	0,035 – 0,025
	Super jemná	P800 – P1200	0,021 – 0,015
	Ultra jemná	P1500 – P2500	0,012 – 0,008

### 1.3.5 HUSTOTA POSYPU

Tato hodnota udává celkové pokrytí nosného pásu částicemi brusných zrn. Běžně se vyrábějí tři druhy posypu, jak je vidět na obr. 15.

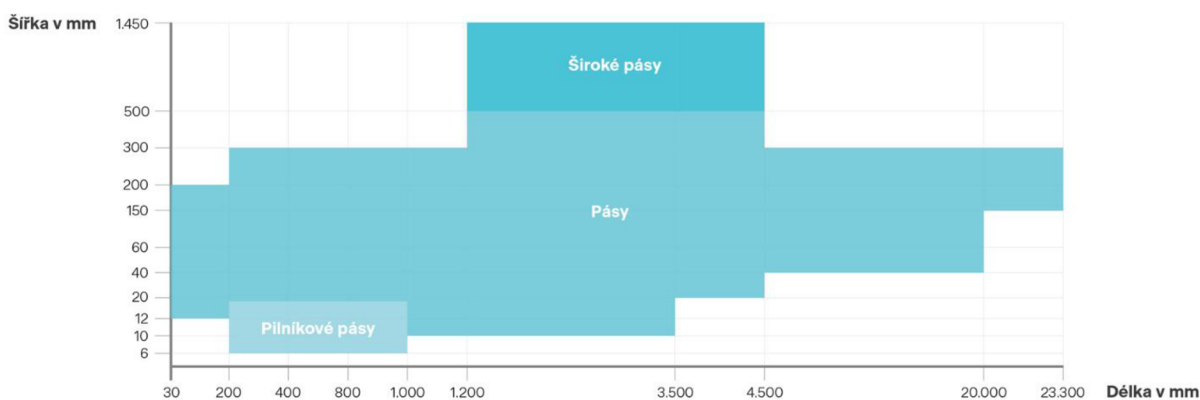
- **Otevřený posyp** – nosný pás je z cca 50–70 % obsazena brusným zrnem, což vytvoří větší mezery mezi špičkami zrn a sníží se tím možnost zanášení. Vhodný např. pro brusné pásy na dřevo. [13]
- **Polootevřený posyp** – cca 70–80 % obsazenost brusivem, která je vhodná pro měkké materiály jako např. broušení laků, plastů a neželezných kovů. [13]
- **Hustý posyp** – podklad je téměř plně obsazen brusným zrnem, což umožňuje velký úběr materiálu a dlouhou životnost brusného pásu. Vhodný pro obrábění kovů. [13]



Obr. 15 Druhy hustoty posypu ([16] upraveno)

### 1.3.6 TYPIZOVANÉ ROZMĚRY PÁSU

Při výběru brusného pásu musíme také zvolit jeho správné rozměry, které udává výrobce brusky. Nabídka trhu je opravdu rozsáhlá viz obr. 16, ovšem pozornost bude věnována především velikostem pásů pro nožičkové brusky, které jsou k zadanému účelu nejbližší. Nejběžnějšími rozměry brusných pásů pro tyto brusky jsou 50x2000 mm a 75x2000 mm [17]. Dalšími oblíbenými velikostmi jsou 50x1500 mm a 75x1500 mm, které dovolí kompaktnější rozměry brusky, ale jelikož jsou kratší, tak se rychleji opotřebují.



Obr. 16 Klasifikace brusných pásů [11]

### 1.3.7 DOPORUČENÉ ŘEZNÉ RYCHLOSTI PRO BRUSNÉ PÁSY

Při obrábění je žádoucí využít celý potenciál brusného pásu a tím z něj dostat maximum. Toho lze docílit vhodnou volbou vhodné řezné rychlosti, která závisí na broušeném materiálu a použitém brusivu.

Při vysoké řezné rychlosti se povrch obráběné součásti pálí a při nízké se povrch brusného pásu může zalepovat nebo se na něm vytvoří „skelná“ vrstva, která velmi výrazně sníží řezivost [18]. V tab. 2 lze vidět doporučené hodnoty řezné rychlosti pro různé druhy materiálů.

Tab. 2 Doporučené řezné rychlosti pro brusné pásy [18]

Materiál	Řezná rychlost [m/s]
Termoplasty	5–15
Tvrdokovy a slinuté kovy	8–14
Titan a slitiny	8–16
Sklo, keramika, porcelán	8–16
Dřevo	14–25
Duroplasty	20–30
Nerez oceli, rychlořezné a nástrojové oceli	20–30
Šedá, temperovaná a ocelolitina	25–45
Uhlíkové oceli	30–40
Mosaz, zinek, měď, bronzy	30–45
Hliník (aluminium)	30–45

## 2 ROZBOR PROBLEMATIKY

V aktuální době na trhu existuje několik různých druhů konstrukcí pásových brusek, jak bylo uvedeno v kapitole 1.2. Pozornost je věnována hlavně stacionárním (strojním) bruskám určeným primárně pro broušení kovů.

Většina těchto strojů disponuje opravdu jednoduchou a nepropracovanou konstrukcí, díky níž sice dokáže plnit svůj účel, ale využití potenciálu stroje je na velice nízké úrovni. Z toho vyplývá, že se víceméně jedná o jednoúčelové zařízení, které mohou být vhodné do velkých dílen, kde se používají pouze k pár konkrétním operacím.

Bohužel se trhu nevyskytuje taková pásová bruska, která by měla různé užitečné vychytávky, možnost dokoupení přípravek a zároveň disponovala propracovanou, tuhou a korozivzdornou konstrukcí. Účelem je právě tuto část trhu vyplnit a přinést tak nový stroj se všemi již zmíněnými vlastnostmi a výhodami.

### 2.1 VYMEZENÍ POŽADAVKŮ NA PÁSOVOU BRUSKU

Problematiku univerzálnosti částečně řeší tzv. nožířské pásové brusky, které zpravidla nabízejí univerzálnější konstrukci, která občas disponuje nějakým vylepšením, či výhodou, jako je například možnost výměny broušících přípravek. Proto je následně vycházeno z konstrukcí tohoto typu brusek.

#### 2.1.1 ROZMĚR BRUSNÉHO PÁSU

Rozměrů brusných pásů existuje celá škála a lze tedy použít téměř jakýkoliv. Ovšem z hlediska dostupnosti a ceny je nejvhodnější vybrat typický často používaný rozměr. Na základě rešerše je tedy zvolena velikost pásu 50 x 2000 mm, což je i nejpoužívanější rozměr u většiny těchto brusek.

#### 2.1.2 POHON A REGULACE OTÁČEK

Rychlost brusného pásu je udávána průměrem a otáčkami hnacího kola. Běžně jsou pásové brusky poháněny třífázovým asynchronním elektromotorem, který je pro tuto aplikaci vhodnou volbou. Zpravidla se využívají 3 varianty řízení elektromotoru:

- jednorychlostní elektromotor,
- dvourychlostní elektromotor,
- elektromotor řízený frekvenčním měničem.

Nejlepší, ale také nejdražší variantou, je řízení elektromotoru pomocí frekvenčního měniče, který zajistí plynulou regulaci rezné rychlosti brusného pásu, což umožní obrábění téměř všech materiálů v optimálních broušících podmínkách.

### 2.1.3 VERTIKÁLNÍ A HORIZONTÁLNÍ BROUŠENÍ

Užitečnou funkcí pásových brusek je možnost změny pozice broušení. U obyčejných modelů dostupných na trhu se lze setkat buď s variantou kde je pás umístěn svisle (nejčastější) anebo vodorovně. Obě varianty mají své výhody a nevýhody, hlavně při použití v kombinaci s různými broušícími přípravky. Pro sadu malých rolen je velice výhodná vodorovná poloha brusného pásu a naopak např. broušící hlava má lepší využitelnost v pozici svislé, takže zvolením pouze jedné možnosti je ztracena určitá část celkového potenciálu zařízení.

Jedním z možných řešení je tedy naklápěcí konstrukce, která sloučí výhody obou metod. Některé lepší nožířské pásové brusky tuto možnost nabízejí v poměrně kvalitním provedení, takže bude možné se jejich řešením zajisté inspirovat.

### 2.1.4 TUHOST KONSTRUKCE

Jedním z důležitých faktorů kvality pásové brusky je její tuhost. Pokud je tento faktor zanedbán, může se tím snížit přesnost celé konstrukce při zatížení a zajisté vzroste přenos vibrací. Ty jsou pro pracovníka po delší době broušení opravdu nepříjemné a mohou i způsobit zdravotní problémy. Konstrukce vyrobená ze slabých plechů a dutých čtvercových profilů sice bude levnější, lehčí a jednodušejí vyrobitelná, ovšem nebude dosahovat patřičné kvality.

### 2.1.5 VÝMĚNA BRUSNÝCH PÁSŮ

Brusné pásy jsou vyráběny v různých zrnitostech od hrubých až po jemné viz kapitola 1.3.4. Pokud je požadován hladký až lesklý povrch, je zapotřebí broušit od hrubých pásů, které sjednotí veškeré velké nedokonalosti a následně se postupně volí jemnější zrnitosti, než se vytvoří požadovaný povrch. Z tohoto je zřejmé, že výměny brusných pásů nejsou nic výjimečného a mohou se provádět i několikrát v rozmezí pár minut.

Spousta výrobců na tuto problematiku téměř nemyslí a výměna pásů na jejich strojích je zdlouhavá, což se následně podepíše na celkovém výrobním čase. Proto je nutné navrhnout takovou konstrukci, která bude toto řešit.

### 2.1.6 BROUSÍCÍ PŘÍPRAVKY

Jak již bylo zmíněno, tak u těchto strojů hrají podstatnou roli vyměnitelné přípravky. Bohužel výrobců, kteří nabízejí tyto přípravky ke svým bruskám je opravdu minimum. Často se také stává, že výměna jednotlivých broušících přípravků je zdlouhavá a nepohodlná, což může být pro pracovníka při častých změnách broušících operací opravdu deprimující. Jelikož každým kvalitním přípravkem se oblast použití brusky výrazně rozšiřuje, tak bude snaha o vytvoření minimálně několika základních typů viz kapitola 1.2.5.



### 2.1.7 KOROZNÍ ODOLNOST

Při broušení se obrobek zahřívá a je nutné ho chladit, k čemuž se nejčastěji používá nádoba s vodou, do které je předmět ponořen. Při následujícím broušení se ovšem část vody dostane na konstrukci stroje, což může způsobit nežádoucí korozi.

Pro ochranu oceli se používají různé povrchové úpravy, nejčastěji však prostá barva na kov. Jelikož se jedná o zařízení se spoustou pohyblivých součástí, není vhodné používat tuto variantu na všechny díly, jak má spousta výrobců v oblibě, jelikož v místech kontaktu s jinými součástmi se barva odírá, což způsobí ztrátu ochrany a také se tím kazí estetická stránka celého stroje.

Někteří výrobci tyto plochy nechávají bez korozní ochrany, ovšem kvalitnějším řešením je např. galvanické pozinkování nebo použití korozivzdorných materiálů, s čímž se u těchto strojů téměř nesetkáme. Korozní odolnost je jistě jedním z dalších faktorů ukazující kvalitu stroje a bude jí později věnována patřičná pozornost.

## 2.2 CÍLE ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Hlavním cílem této závěrečné práce je tedy vytvořit návrh celé konstrukce univerzální strojní pásové brusky, u které bude dbán důraz na maximalizaci využití jejího potenciálu. To bude zajištěno především různými pomocnými přípravky a typem konstrukce, která bude umožňovat broušení jak ve svislé, tak i horizontální poloze.

Jelikož se má jednat o komplexní a prémiové zařízení je zapotřebí navrhnout konstrukci, která bude disponovat vysokou tuhostí, přesností a skvělou uživatelskou přívětivostí. Důležitou částí, určující následující vývoj celé práce, je stanovení jednotlivých parametrů pásové brusky jako např. typ konstrukce, rozměry použitého brusného pásu, konkrétní řešení pohonu atd.

Po vytvoření návrhu následuje samotná výroba a sestavení pásové brusky, u které je na konec ověřena a zhodnocena její funkčnost. Dalším výstupem této práce je výkres sestavy a několika jednotlivých součástí.

Zde jsou stručně shrnuty veškeré požadavky na pásovou brusku, které byly doposud zmíněné:

- vertikální a horizontální pozice broušení,
- vysoká tuhost a geometrická přesnost konstrukce,
- zvýšená korozní odolnost konstrukce,
- skvělá uživatelská přívětivost a ovladatelnost,
- pohon třífázovým asynchronním elektromotorem řízeným frekvenčním měničem,
- rozměr brusného pásu 50 x 2000 mm,
- vyměnitelné brousící přípravky.

### 3 KONCEPČNÍ NÁVRHY

Požadovaná pásová bruska bude vyžadovat komplexní základní konstrukci, aby splnila veškeré zadané náležitosti. Z předchozí rešerše je zřejmé, že stroj bude převážně vycházet z nožířských pásových brusek, které disponují dobrými základními vlastnostmi. V této kapitole budou rozebrána možná řešení základní konstrukce pásové brusky.

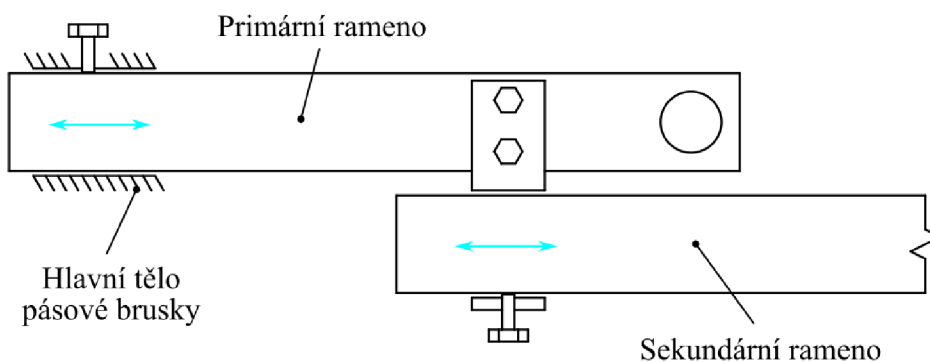
#### 3.1 USPOŘÁDÁNÍ VÝSUVNÝCH RAMEN PÁSOVÉ BRUSKY

Jedním z hlavních aspektů konstrukce pásové brusky je uspořádání jejich výsuvných ramen. Na primárním ramenu jsou připevněny jednotlivé brousící přípravky (např. brousící hlava) a nastavuje se ním vhodná vzdálenost od základního těla brusky tak, aby délka brusného pásu odpovídala obvodovému rozměru přes všechny rolny. Na sekundárním ramenu je zpravidla upevněn opěrný stolek a nastavuje se ním vhodná vzdálenost hrany stolku od brusného pásu.

##### 3.1.1 VARIANTA 1

U této varianty je v těle brusky jeden slot pro primární rameno a na něm je připevněn slot pro sekundární rameno viz obr. 17. Z této koncepce vyplývá, že při posuvu primárního ramena se sekundární posune stejně s ním a při sklopení si ramena zachovávají stejnou vzájemnou pozici. Aby poté bylo doráženo vodorovné pozice stolku je nutné sekundární rameno vyjmout ze slotu, pootočit ho o  $90^\circ$  a vsunout zpět.

Výhodou může být o něco nižší hmotnost, způsobena výrazně kratším sekundárním ramenem oproti jiným variantám. Nevýhodou je o trochu složitější konstrukce, u které je předpokládán vyšší přenos vibrací z konstrukce pásové brusky na stolek.

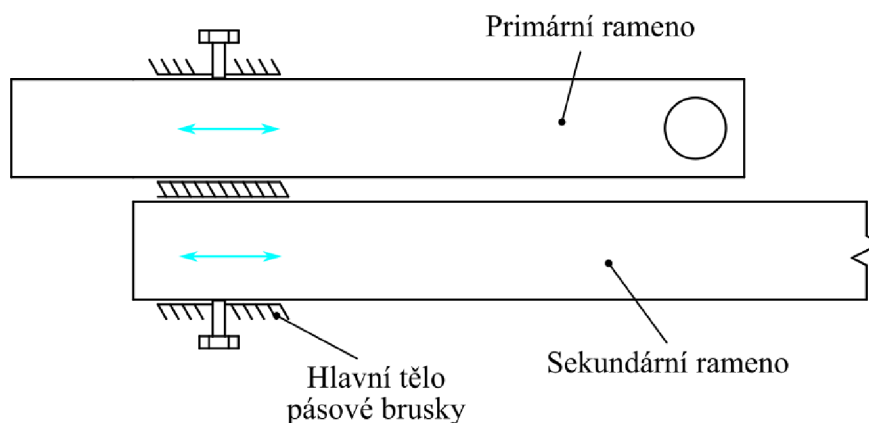


Obr. 17 Uspořádání výsuvných ramen – varianta 1

##### 3.1.2 VARIANTA 2

Tělo pásové brusky obsahuje dva nebo více slotů, ve kterých jsou posuvně uloženy obě ramena viz obr. 18. Jejich pohyb je vzájemně nezávislý a při sklopení konstrukce se sklopí i stolek, tudíž je většinou opět nutné sekundární rameno vyjmout ze slotu, pootočit ho o  $90^\circ$  a vsunout zpět, stejně jako u varianty 1.

Výhodou je velice jednoduchá konstrukce, která zaručí jistou rovnoběžnost obou ramen bez větších nároků na přesnost výroby. Nevýhodou může být vyšší hmotnost díky oběma poměrně rozměrným ramenům.

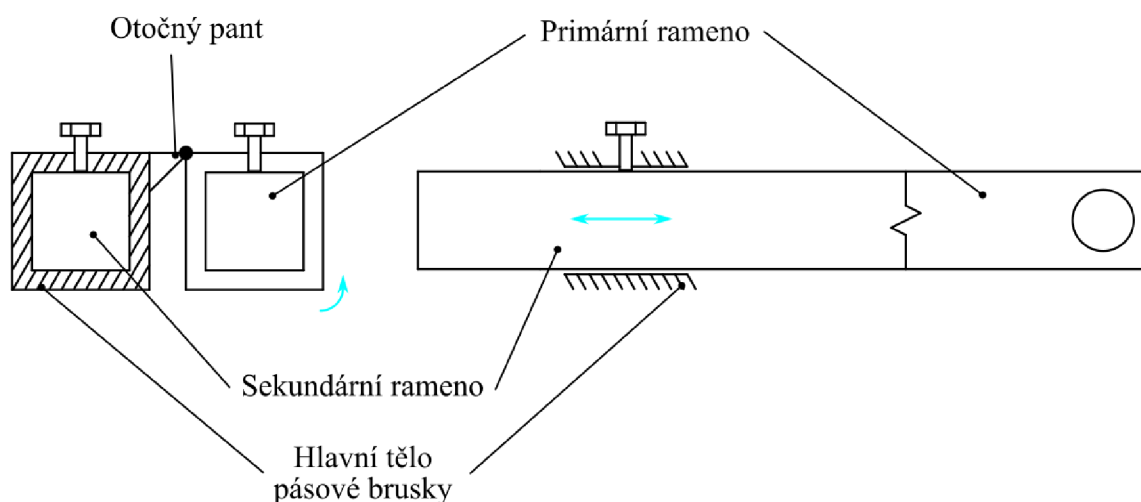


Obr. 18 Uspořádání výsuvných ramen – varianta 2

### 3.1.3 VARIANTA 3

Tento způsob řešení umožňuje posuv i naklápění primárního ramena nezávisle na sekundárním, které je uloženo pouze posuvně viz obr. 19. Při sklopení brusky do vodorovné polohy není potřeba přestavovat stolek, jelikož slot pro sekundární rameno je nehybně spojen se základní konstrukcí stroje a sklápí se jen slot pro primární rameno.

Výhodou je ušetření času při přestavování pásové brusky do jiné polohy a také nižší přenos vibrací na stolek při vhodném konstrukčním provedení (např. použití tlumících prvků). Nevýhoda spočívá hlavně ve složitosti konstrukce, kde je nutné dbát na zvýšenou výrobní přesnost a preciznost sestavení, aby byla zajištěna vzájemná rovnoběžnost obou ramen.



Obr. 19 Uspořádání výsuvných ramen – varianta 3

### 3.1.4 VYHODNOCENÍ VARIANT USPOŘÁDÁNÍ VÝSUVNÝCH RAMEN

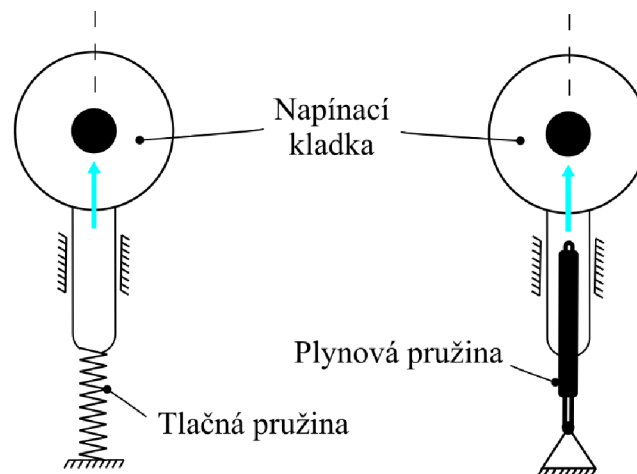
Ze zmíněných koncepčních návrhů se zdá nejpřívětivější varianta 2, která bude jednodušeji vyrobitelná než varianta 3, zaručí dokonalou rovnoběžnost obou ramen bez větších nároků na přesnost výroby a sestavení. Jelikož jsou ramena na sobě nezávislá, tak zde nebude tak velký přenos vibrací na opěrný stolec, jak je například předpokládáno u varianty 1.

## 3.2 ZPŮSOB NAPÍNÁNÍ BRUSNÉHO PÁSU

Při obráběcích operacích na pásových bruskách je nutné, aby brusný pás byl neustále v napnutém stavu, a to i při změně jeho délky způsobené natahováním. Toho lze docílit napínacím mechanismem, na kterém je uchycena kladka (napínací kladka), jež se pohybuje po určité trajektorii.

### 3.2.1 LINEÁRNÍ MECHANISMUS

Je zapotřebí lineární vedení, na kterém bude uchycena napínací kladka. Posuv zajišťuje tlačná pružina nebo plynová pružina viz obr. 20. Jedná se o variantu, která na první pohled vypadá velice primitivně i výhodně, jelikož trajektorií napínání je přímka. Každopádně je třeba zajistit, aby toto posuvné uložení bylo s minimální vůlí a třením, což výrazně komplikuje použití lineárního napínacího mechanismu v praxi.

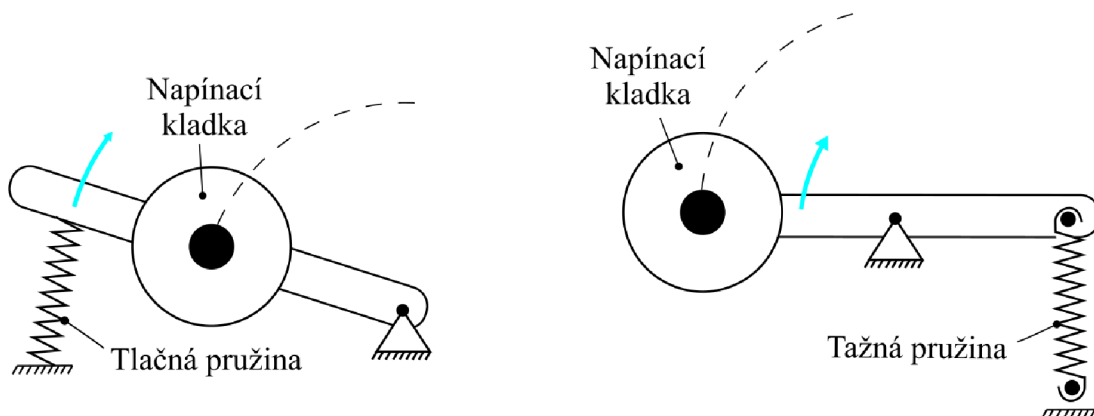


Obr. 20 Lineární napínací mechanismus

### 3.2.2 OTOČNÝ (PÁKOVÝ) MECHANISMUS

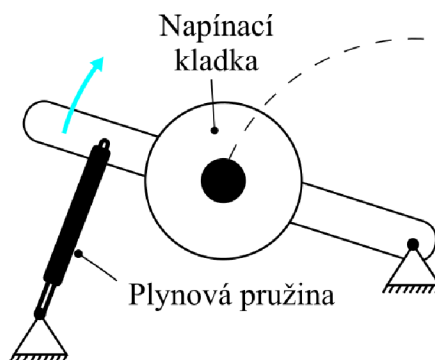
Mechanismus tohoto typu funguje na principu ramena otočně uloženého na čepu, u kterého je trajektorie napínání kružnice. Bezvúlové uložení je zde poměrně jednoduše proveditelné, jelikož vůle v radiálním směru je závislá na tolerancích čepu a díry ramena, což lze vyrobit velice přesně a jednoduše. Pro vymezení axiální vůle bude rameno z obou stran např. sevřeno mezi dvěma kluznými ložisky.

První možností napínání je použití ocelové šroubovitě válcové tlačné pružiny viz obr. 21 (vlevo) nebo tažné pružiny viz obr. 21 (vpravo), které budou kladku na otočném napínacím ramenu tlačit na brusný pás. Tyto pružiny velice rychle reagují na změny napnutí pásu, což může být v některých případech výhodou, ale je možné, že tato rychlá odezva způsobí rezonanci a pružina začne „drnčet“. Při použití tlačné pružiny je nutné vytvořit její vedení, aby se při stlačení nedeformovala na vzpěr.



Obr. 21 Napínací mechanismus s tlačnou (vlevo) a tažnou pružinou (vpravo)

Druhou možností je plynová pružina viz obr. 22, která má pomalejší reakci na změnu síly napětí a tím dokáže i udržet plynulejší chod pásu. Princip zůstává stejný jako u tlačné pružiny, ovšem není zde nutné nijakého přídatného vedení.



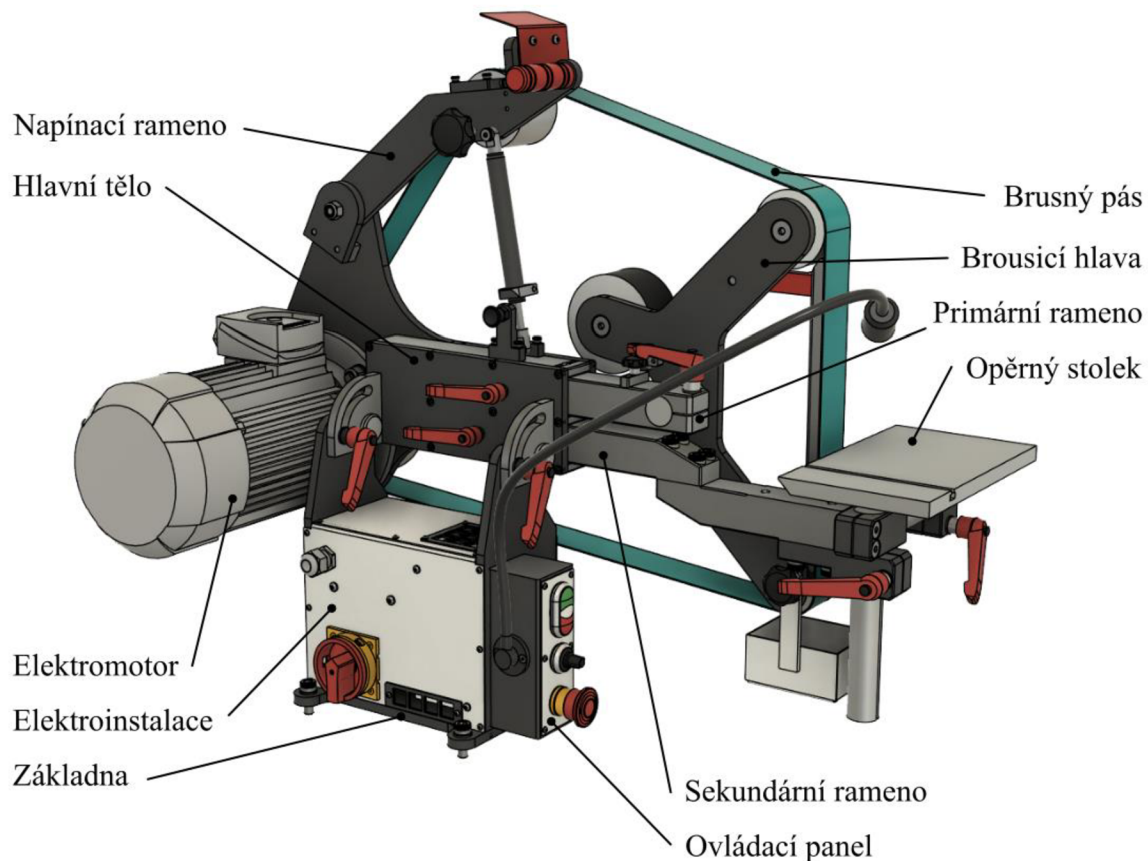
Obr. 22 Napínací mechanismus s plynovou pružinou

### 3.2.3 VYHODNOCENÍ ZPŮSOBŮ NAPÍNÁNÍ BRUSNÉHO PÁSU

Z těchto možností nejlépe vychází varianta otočného mechanismu s plynovou pružinou. Samotná výroba otočného mechanismu je výrazně jednodušší a lze dosáhnout minimální vůle uložení bez větších nároků na přesnost výroby. Plynová pružina, oproti ocelovým pružinám, zajistí lepší tlumení vibrací a tím i plynulejší chod brusného pásu.

## 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole bude detailně rozebrán návrh celé univerzální strojní pásové brusky i se všemi jejími přípravky. Výchozím typem konstrukce jsou tedy nožířské pásové brusky s umístěním jejich výsuvných ramen jako ve variantě 2. Další obecné požadavky na brusku jsou shrnuty v kapitole 2.2. Na obr. 23 je vyobrazeno konkrétní konstrukční řešení pásové brusky, které je dále podrobně rozebráno.



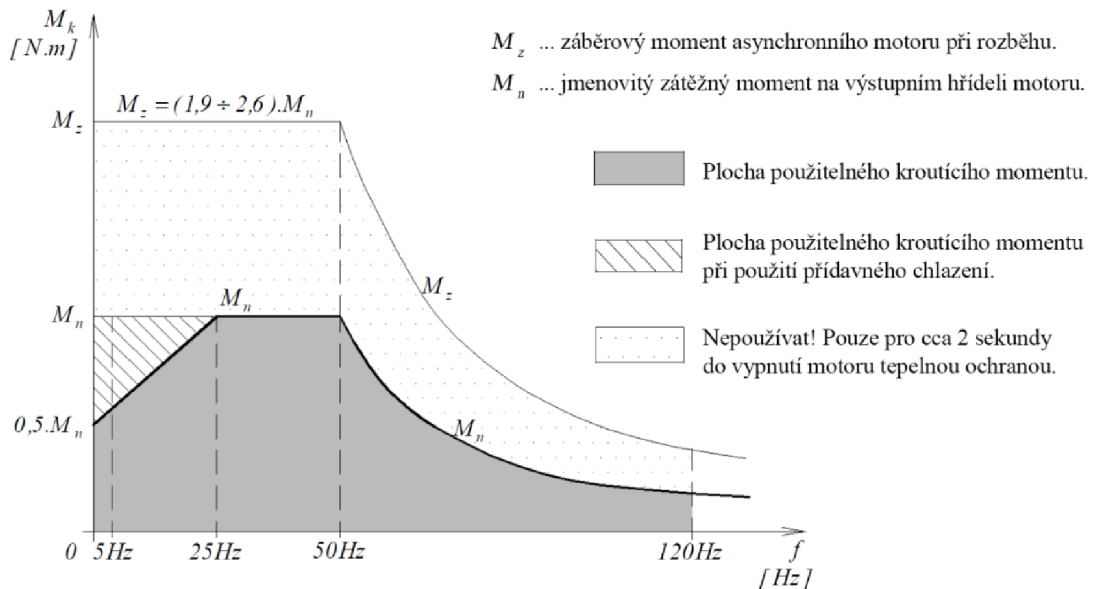
Obr. 23 Konstrukční provedení univerzální strojní pásové brusky

### 4.1 NÁVRH POHONNÉ SOUSTAVY

Volba vhodného pohonu následně určuje celkovou výkonost pásové brusky, která ovlivňuje maximální dovolený přitlak obráběného materiálu na brusný pás. Zde je seznam konkrétních požadavků, které jsou převzaty ze zadání, rešerše nebo jsou zvoleny:

- elektrické napájení 400 V,
- plynulá regulace otáček – řezná rychlost brusného pásu 8 až 40 m/s,
- odolnost vůči prašnému prostředí,
- výkon 1,5 až 3 kW,
- netřeba synchronních otáček.

Všem těmto požadavkům nejlépe odpovídá třífázový asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko a regulací otáček pomocí frekvenčního měniče. Na základě vlastní zkušenosti z praxe i předchozí rešerše je výkon motoru zvolen 2,2 kW. Pro docelení požadované řezné rychlosti je zapotřebí správně zvolit rozsah otáček motoru a průměr hnacího kola. Elektromotory zvolené firmy VYBO se vyrábí v otáčkových variantách 710; 960; 1440 a 2890 min<sup>-1</sup> [19].



Obr. 24 Momentová charakteristika asynchronního motoru s měničem frekvence [20]

Na obr. 24 lze vidět momentovou charakteristiku elektromotoru řízeného frekvenčním měničem, ze které vyplývá vhodná oblast použití přibližně od 20 do 90 Hz, jelikož není žádoucí provozovat motor v nízkých otáčkách, kde by mohl mít problém s chlazením, a také není rozumné ho zbytečně provozovat ve vysokých otáčkách, kde zároveň klesá točivý moment.

Jmenovité otáčky (pro 50 Hz) by tedy měly odpovídat přibližně 3/7 rozsahu řezné rychlosti brusného pásu, což je cca 21,7 m/s. Z nabízených variant otáček motoru je zvolena hodnota 2890 min<sup>-1</sup>, se kterou bude proveden zkušební výpočet průměru hnacího kola a výsledek bude následně zhodnocen, zdali je vhodný k použití a realizaci. Výpočet průměru hnacího kola je dán vzorcem (1):

$$D = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot n} \cdot 1\,000 \text{ [mm]} \quad (1)$$

$$D = \frac{21,7 \cdot 60}{\pi \cdot 2\,890} \cdot 1\,000 = 143,405 \text{ mm}$$

$$D = 144 \text{ mm}$$

kde:  $D$ ... průměr hnacího kola (zvoleno nejbližší vyšší celé číslo) [mm]  
 $v$ ... řezná rychlost brusného pásu [m·s<sup>-1</sup>]  
 $n$ ... jmenovité otáčky elektromotoru [min<sup>-1</sup>]

Dle výpočtu by průměr hnacího kola měl být 144 mm, což je pro daný účel vyhovující rozměr, který je realistický na výrobu.

Pro pohon pásové brusky je tedy konkrétně zvolen přírubový asynchronní elektromotor „2,2 kW; 2890 ot/min 1AL90L-2“ [19] jehož konstrukci a parametry pro toto použití lze vidět na obr. 25.



<b>Provedení</b>	Přírubový B5
<b>Hmotnost</b>	15,20 kg
<b>Výkon</b>	2,2 kW
<b>Otáčky</b>	2 890 ot/min
<b>Točivý moment</b>	7,27 Nm
<b>Proud</b>	4,61 A
<b>Napětí</b>	400 V
<b>Typ obvodu</b>	Y
<b>Kostra</b>	Hliník
<b>Průměr hřídele</b>	24 mm
<b>Dov. rad. zatížení</b>	500 N
<b>Životnost ložiska</b>	20 000 h

Obr. 25 Třífázový elektromotor VYBO 1AL90L-2 ([19] upraveno)

Pro řízení elektromotoru je zvolen frekvenční měnič „2,2 kW A550 Plus-4T0022“ [19], který je cenově dostupný a svými vlastnostmi i specifikacemi naprosto postačující viz obr. 26.



<b>Doporučený výkon motoru</b>	2,2 kW
<b>Max. jmenovitý vstupní proud</b>	5,8 A
<b>Jmenovitý výstupní proud</b>	5 A
<b>Vstupní napětí 50/60Hz</b>	3 fáze 400 V
<b>Rozsah výstupní frekvence</b>	0,10 – 999,9 Hz
<b>Chladicí režim</b>	Nucené chlazení vzduchem
<b>Způsob montáže</b>	Zed' / 35mm DIN lišta

Obr. 26 Frekvenční měnič A550 Plus-4T0022 ([19] upraveno)

Pro správné řízení rezné rychlosti brusného pásu v celém zvoleném rozsahu je třeba na frekvenčním měniči nastavit požadovaný rozsah frekvencí. Skluz asynchronního motoru při zatížení i skluz pásu na hnacím kole je zanedbán, jelikož není zapotřebí nijak zvlášť přesného řízení.



Minimální otáčky a frekvence měniče je vypočtena z rovnice (2) a (3):

$$n_{min} = \frac{v_{min} \cdot 60}{\pi \cdot D} \cdot 1\,000 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

$$n_{min} = \frac{8 \cdot 60}{\pi \cdot 144} \cdot 1\,000 = 1\,061,033 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{min} = 1\,061 \text{ min}^{-1}$$

$$f_{min} = \frac{f}{n} \cdot n_{min} \text{ [Hz]} \quad (3)$$

$$f_{min} = \frac{50}{2\,890} \cdot 1\,061,033 = 18,357 \text{ Hz}$$

$$f_{min} = 18,36 \text{ Hz}$$

- kde:  $n_{min}$ ... otáčky motoru při minimální řezné rychlosti [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $v_{min}$ ... minimální zvolená řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $f_{min}$ ... minimální frekvence nastavení frekvenčního měniče [Hz]  
 $f$ ... jmenovitá frekvence elektromotoru [Hz]  
 $n$ ... jmenovité otáčky elektromotoru [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $D$ ... průměr hnacího kola (zvoleno nejbližší vyšší celé číslo) [mm]

Maximální otáčky a frekvence měniče je vypočtena z rovnice (4) a (5):

$$n_{max} = \frac{v_{max} \cdot 60}{\pi \cdot D} \cdot 1\,000 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (4)$$

$$n_{max} = \frac{40 \cdot 60}{\pi \cdot 144} \cdot 1\,000 = 5\,305,165 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{max} = 5\,305 \text{ min}^{-1}$$

$$f_{max} = \frac{f}{n} \cdot n_{max} \text{ [Hz]} \quad (5)$$

$$f_{max} = \frac{50}{2\,890} \cdot 5\,305,165 = 91,785 \text{ Hz}$$

$$f_{max} = 91,79 \text{ Hz}$$

- kde:  $n_{max}$ ... otáčky motoru při maximální řezné rychlosti [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $v_{max}$ ... maximální zvolená řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $f_{max}$ ... maximální frekvence nastavení frekvenčního měniče [Hz]

## 4.2 HLAVNÍ KONSTRUKCE PÁSOVÉ BRUSKY

Na základě vybraného koncepčního návrhu je nutné navrhnout hlavní části pásové brusky a těmi jsou základna s elektroinstalací, naklápěcí tělo se sloty pro primární a sekundární rameno a napínací rameno. Požadavky na konstrukci jsou:

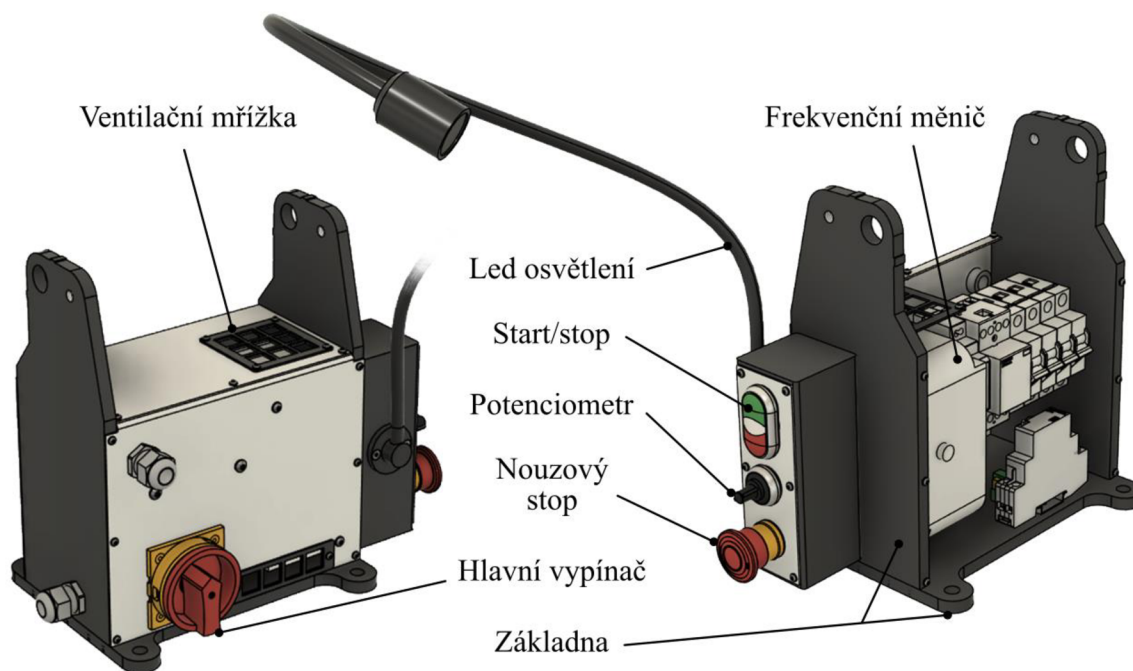
- možnost vertikálního i horizontálního broušení,
- vysoká tuhost a přesnost,
- uživatelská přívětivost a kompaktnost,
- korozní odolnost.

Konstrukce brusky bude uzpůsobena k montáži na libovolný pracovní stůl. V dílnách ovšem nemusí být takovéto vhodné místo, a proto bude možné stroj připevnit i na stojan, který bude k brusce nabídnut ve formě příslušenství.

### 4.2.1 ZÁKLADNA A ELEKTROINSTALACE

Základna pásové brusky se skládá primárně ze 3 ocelových dílů smontovaných do tvaru U. Spodní díl se 4 dírami v rozích slouží k uchycení celého stroje ke stolu nebo stojanu. Následně jsou k němu několika šrouby svisle přimontované dva téměř stejné díly viz obr. 27, které budou držet celý zbytek konstrukce pásové brusky a umožní i její naklápění.

Prostor mezi těmito svislými díly je využit na elektroinstalaci celého stroje. To znamená, že zde je umístěn frekvenční měnič, jističe, stykače a další elektronické prvky pro spolehlivý a bezpečný chod brusky viz obr. 27.



Obr. 27 Základna a elektroinstalace (levý zadní a pravý přední pohled (bez krytu))

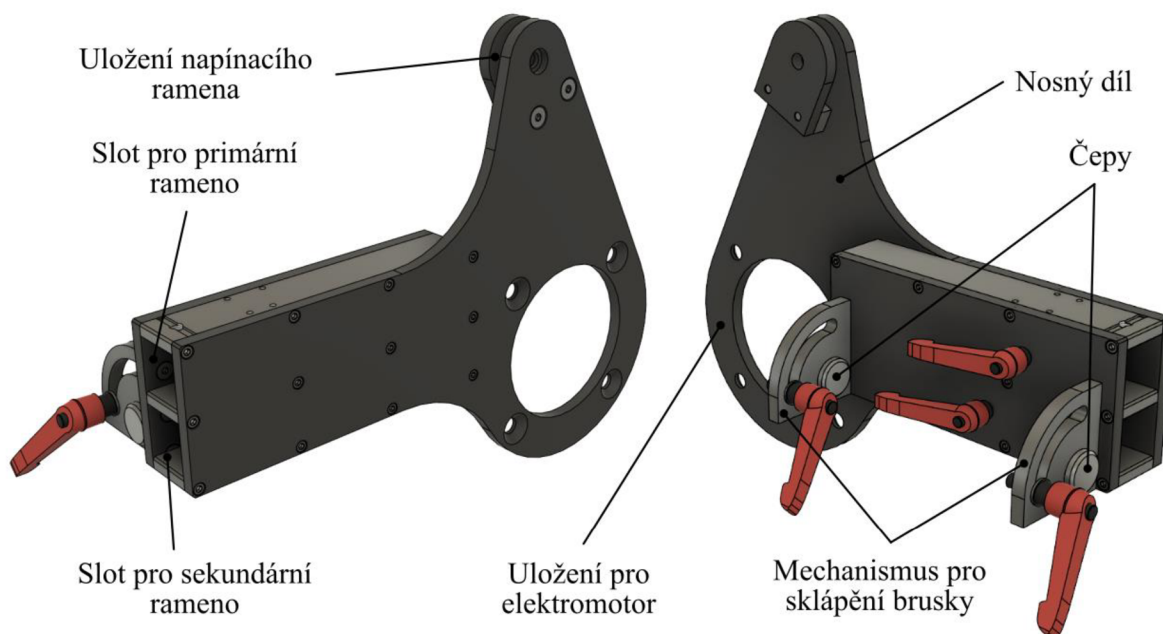
Veškerá tato elektronika je chráněna proti prachu a nečistotám plechovými kryty, které disponují mřížkami s filtrační textilií pro možnou ventilaci vzduchu. Na levém boku je umístěn vačkový spínač pro zapnutí/vypnutí celého stroje. V popředí této konstrukce je vytvořen plechový box, do kterého jsou vyvedeny ovládací prvky:

- start/stop tlačítko pro spuštění a zastavení elektromotoru,
- potenciometr pro řízení rychlosti brusného pásu,
- bezpečnostní nouzový stop,
- led světlo pro osvětlení pracovního prostoru.

#### 4.2.2 HLAVNÍ TĚLO

Princip konstrukce těla je založen na vybrané variantě 2 z koncepčních návrhů, tím pádem jsou zde 2 sloty pro primární a sekundární rameno viz obr. 28. Sklápění brusky je řešeno pomocí dílů s obloukovou drážkou upevněných na levé straně konstrukce. Se základnou je toto tělo pásové brusky spojeno pomocí čepů, na kterých je otočně uloženo a jeho poloha je aretována svěracími pákami. Tímto je docíleno možné sklopení pásové brusky o 90° z vertikální polohy do horizontální a obráceně. Jednotlivé díly jsou k sobě spojeny šrouby s metrickým závitem, nejčastěji s válcovou nebo zápustnou hlavou s vnitřním šestihranem.

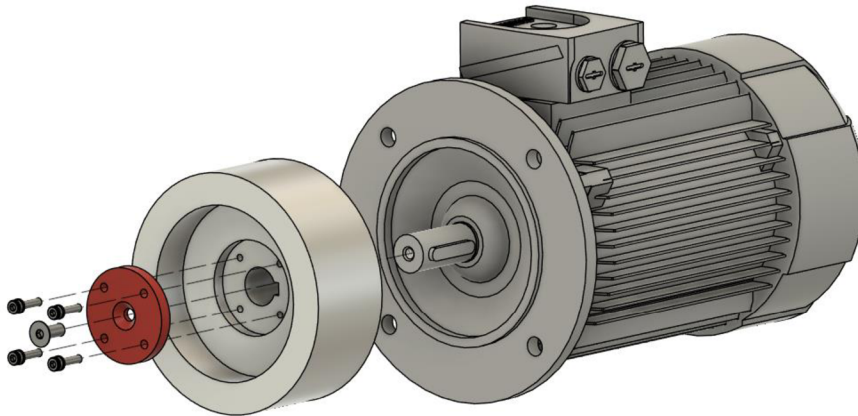
Přírubový elektromotor je uchycen na nosném dílu, ke kterému jsou přitlačovány obě ramena pomocí svěracích pák a také je k němu uchyceno i napínací rameno. Toto konstrukční řešení zajistí správnou polohu a geometrickou přesnost jednotlivých částí konstrukce a motoru, u kterého je nutná kolmost k nosnému dílu.



Obr. 28 Hlavní tělo pásové brusky (přední pravý a přední levý pohled)

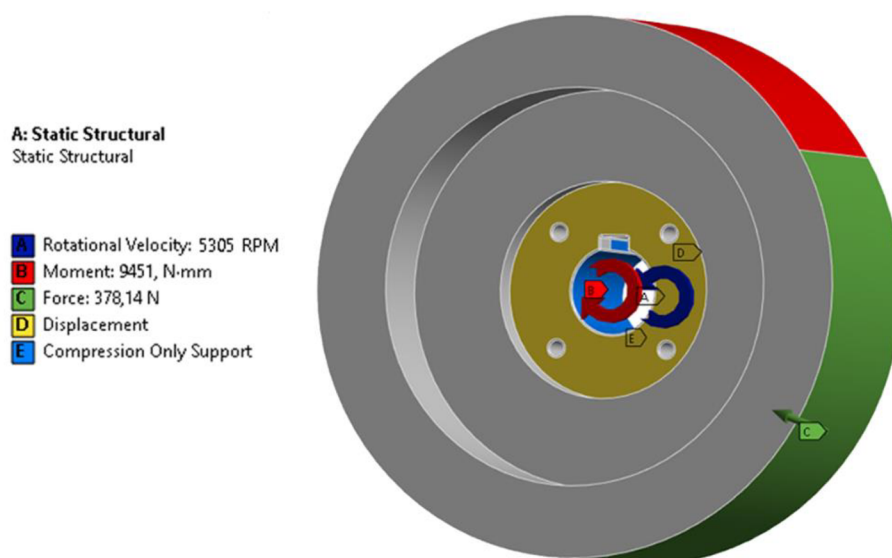
### 4.2.3 HNACÍ KOLO

Brusný pás je poháněn hnacím kolem vyrobeného z hliníku, jehož průměr je 144 mm viz kapitola 4.1. Pro přenos kroutícího momentu je zde využito tvarového styku pomocí těsného pera, kterým disponuje většina těchto typů elektromotorů. Radiální vůle je vymezena přesným uložením kola na hřídeli, které je lehce nalisováno. Axiální zajištění polohy je provedeno kruhovou destičkou, která je ve středu rotace šroubem spojena s hřídelí motoru a nadále je čtyřmi šrouby spojena s hnacím kolem viz obr. 29.



Obr. 29 Montáž hnacího kola na asynchronní motor

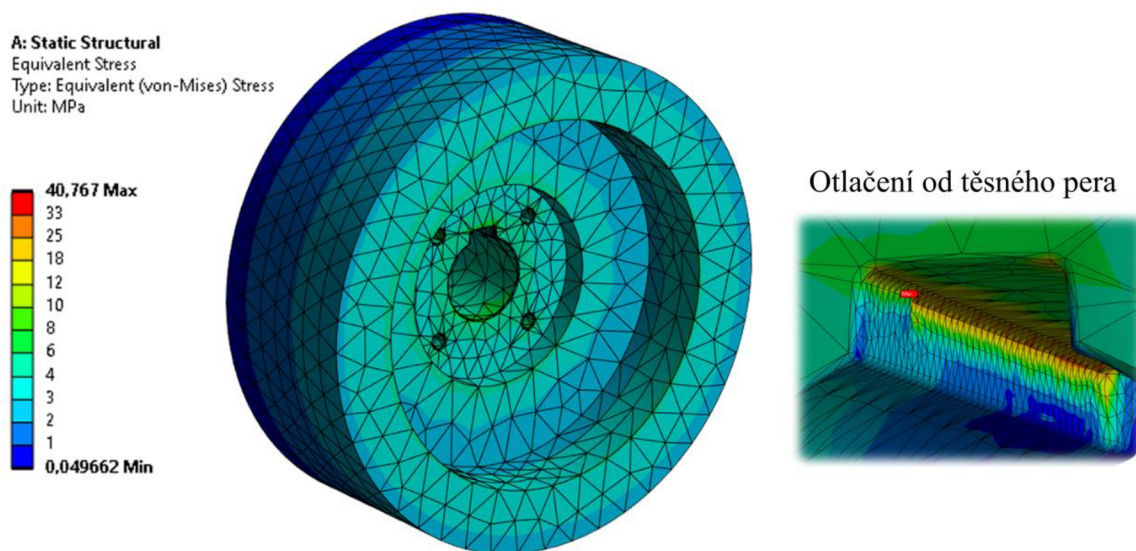
Hnací kolo má při maximální rychlosti poměrně vysoké otáčky, a tak je z důvodu bezpečnosti zkontrolováno metodou konečných prvků v programu Ansys. Mezi zadané parametry zatížení kola patří rotace ( $n_{max}$ ), přenos kroutícího momentu ( $M_{kr}$ ) přes těsné pero a radiální síly vyvozené na opásané části hnacího kola od napnutí brusného pásu ( $F_1$ ,  $F_2$ ), které jsou vypočítány v následující kapitole 4.2.4. Umístění okrajových podmínek a zatížení viz obr. 30.



Obr. 30 Okrajové podmínky a parametry zatížení hnacího kola (Ansys)

Jedná se o maximální hodnoty zatížení, které ovšem v realitě nemohou všechny nastat najednou, takže výsledky výpočtového modelu viz obr. 31 jsou o něco větší. V drtivé většině hnacího kola působí napětí do 12 MPa, ovšem v místě kontaktu těsného pera s hnacím kolem je dosaženo špičkového napětí 40 MPa.

Mez pevnosti v tahu hliníkové slitiny EN AW 6082, ze které je hnací kolo vyrobeno, je 260 MPa [21]. Z toho tedy vyplývá, že minimální součinitel bezpečnosti je přibližně  $k = 6,5$ , což je akceptovatelná hodnota.



Obr. 31 Kontrola napětí zatíženého hnacího kola (Ansys)

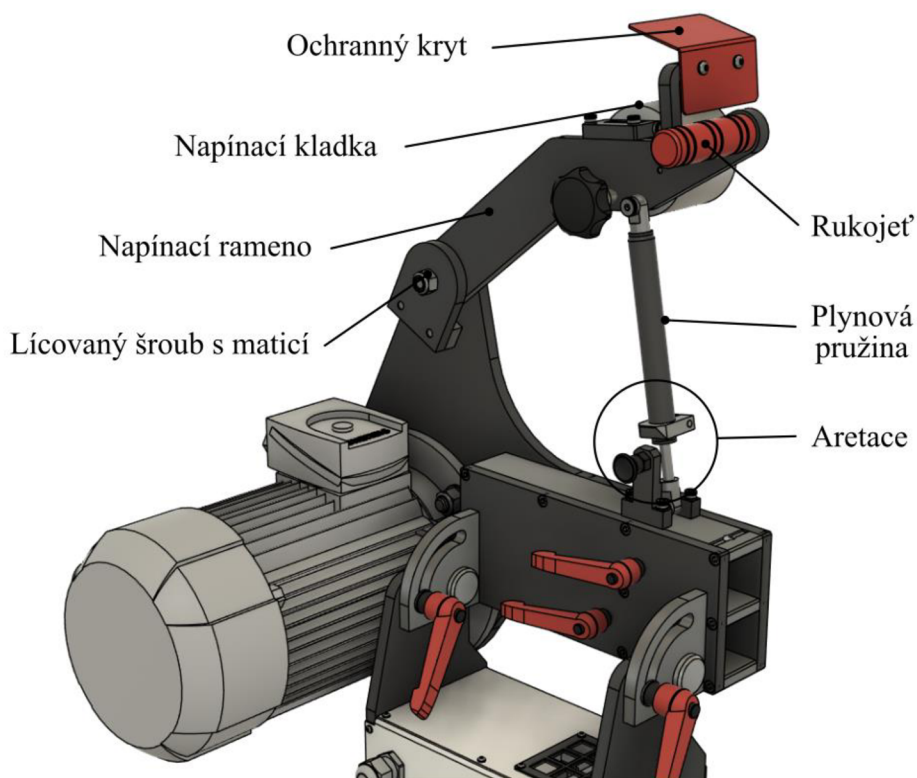
#### 4.2.4 NAPÍNACÍ MECHANISMUS BRUSNÉHO PÁSU

Poslední částí hlavní konstrukce stroje je rameno s kladkou pro napínání pásu. Tato problematika byla již počatá v koncepčních návrzích, kde byla zvolena varianta otočného mechanismu napínaného plynovou pružinou. Na obr. 32 lze vidět konkrétní konstrukční řešení celého napínacího mechanismu.

##### NAPÍNACÍ RAMENO

Toto rameno je otočně uloženo v hlavním těle pásové brusky a nese napínací kladku, která slouží k napínání a řízení pozice brusného pásu. Otáčí se okolo průchozího lícovaného šroubu, který je na konci lehce utažen pojistnou maticí, čímž je vymezena axiální vůle. Pro snížení tření v axiálním směru při otáčení jsou zde z obou stran napínacího ramena použity teflonové kroužky.

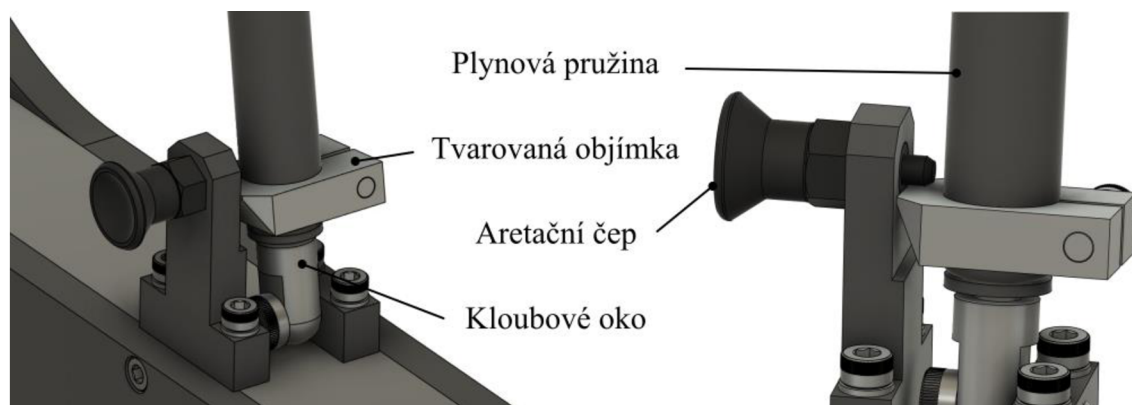
Dále je na tomto ramenu připevněna rukojeť pro snadnou manipulaci a ochranný kryt proti vracejícím se odbroušeným třískám a případně také slouží i jako ochrana při přetržení pásu, který by se díky tomu neměl dostat do oblasti obličejce a krku pracovníka.



Obr. 32 Konstrukční řešení napínacího ramena

### ARETACE NAPÍNACÍHO MECHANISMU VE SPODNÍ POLOZE

Odlehčením napínacího ramene je možné sejmout či nasadit požadovaný brusný pás. Aby tento úkon byl pro uživatele snadný a rychlý, je nutné zajistit aretaci ramena v pozici plně stlačeného plynového pístu. Tato problematika je zde řešena jednoduchým způsobem, pomocí tvarované objímky připevněné na posuvné válcové části plynové pružiny viz obr. 33. V plně stlačené pozici do této objímky zapadne aretační čep „Kipp K0631.5105“ [22], který zablokuje opětovné vysunutí ramena, dokud není čep opět vytáhnut.



Obr. 33 Konstrukční řešení aretace napínacího ramena

## NAPÍNACÍ Kladka

Brusný pás musí mít neustále snahu se držet na středu kladek a nesjíždět z nich. Aby tohoto bylo docíleno, je nutné, aby byla styčná plocha kladky zaoblena, tzv. bombírování. Výška klenutí (oblouku)  $h$  následně závisí na šířce a hlavně na průměru kladky [23]. Konkrétní vybrané hodnoty jsou vyobrazeny v tab. 3.

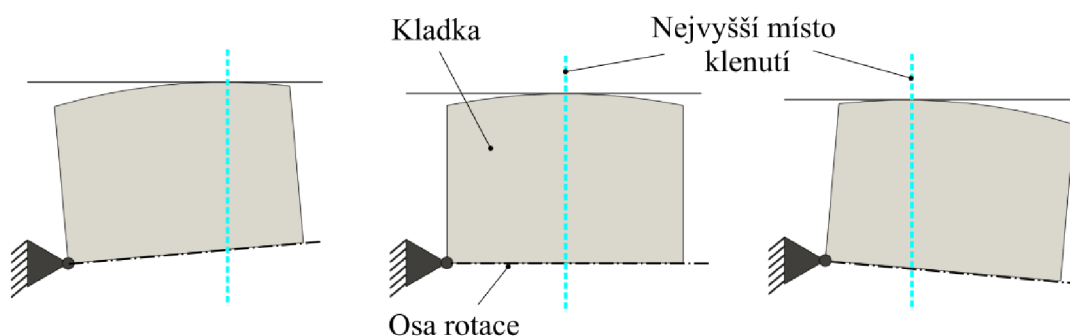
Tab. 3 Výška klenutí funkční plochy věnce řemenic ISO 22:1991 ([24] výběr)

Výpočtový průměr řemenice $d_B$ [mm]	Výška klenutí $h$ [mm]
40, 50, 63	0,3
71, 80	0,3
90, 100, 112	0,3
125, 140	0,4
160, 180	0,5

Rozměry napínací kladky jsou zvoleny následovně:

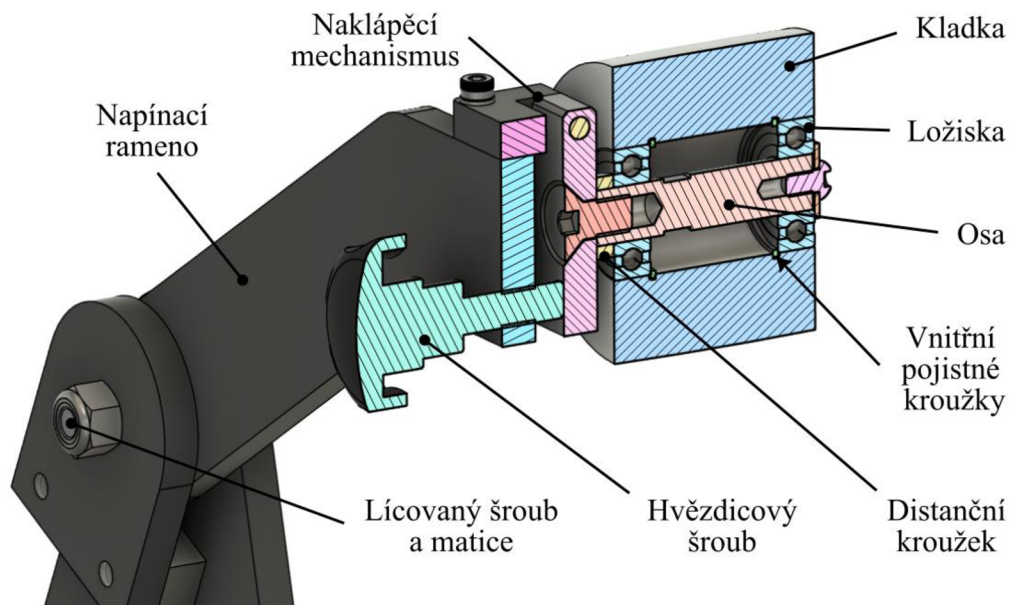
- šířka napínací kladky  $b = 60$  mm,
- průměr napínací kladky  $d_B = 80$  mm,
- výška klenutí styčné plochy  $h = 0,3$  mm.

Zároveň je tato kladka i naklápěcí, díky čemuž je možné měnit polohu nejvyššího klenutí viz obr. 34, na kterou se pás má tendenci vycentrovat. Takto lze pás posouvat na rolnách doprava nebo doleva a nastavit tak jeho přesnou požadovanou polohu.



Obr. 34 Schéma funkce naklápění kladky pro regulaci polohy pásu

Konkrétní konstrukční řešení naklápění a uložení napínací kladky je vyobrazené na obr. 35, kde lze vidět kladku usazenou na nosné ose, která je upevněna k naklápěcímu mechanismu. Přesné nastavení úhlu je zajištěno pomocí hvězdicového šroubu, který prochází napínacím ramenem a opírá se o spodní část výklopného dílu. Při jeho zašroubování/vyšroubování se mění úhel naklonění kladky.



Obr. 35 Konstrukční řešení napínací kladky

### VÝPOČET NAPÍNACÍ SÍLY

Napínání ramena je zajištěno silou plynové pružiny, která musí být vhodně zvolena. Jedná se o poměrně důležitou hodnotu, na které závisí správný chod stroje. V případě malého napnutí je možné, že trajektorie pásu na kladkách bude neustálena a je možnost jeho prokluzu na hnacím kole. Naopak velké napnutí může způsobit menší trvanlivost ložisek a také hrozí riziko přetržení brusného pásu při práci.

Doporučenou hodnotou napnutí je 15–20 liber na jeden palec šířky pásu, tj. 131–175 N pro pás o šířce 50 mm [25]. Vlastními výpočty bude určena konkrétní hodnota, která by měla být uvnitř tohoto intervalu.

Hlavním parametrem, na který je třeba se zaměřit, je prokluz pásu na hnacím kole. Brusný pás nesmí prokluzovat minimálně do hodnoty nominálního točivého momentu elektromotoru. Naopak při zatížení nad nominálním momentem lze proklouznutí pásu brát jako ochranu proti přetížení elektromotoru. Parametry potřebné pro výpočet jsou:

- nominální točivý moment elektromotoru  $M_n = 7,27 \text{ Nm}$ ,
- dovolené momentové přetížení (zvoleno) 30 %,

z nichž je vypočten kritický moment při kterém brusný pás proklouzne viz výpočet (6) a následně síla na obvodu hnacího kola viz výpočet (7):

$$M_{kr} = M_n + M_n \cdot 0,3 \text{ [Nm]} \quad (6)$$

$$M_{kr} = 7,27 + 7,27 \cdot 0,3 = 9,451 \text{ Nm}$$

$$M_{kr} = 9,5 \text{ Nm}$$



$$F_{kr} = \frac{M_{kr} \cdot 2}{D} \cdot 1\,000 \text{ [N]} \quad (7)$$

$$F_{kr} = \frac{9,451 \cdot 2}{144} \cdot 1\,000 = 131,264 \text{ N}$$

$$F_{kr} = 131 \text{ N}$$

kde:  $M_{kr}$ ... kritický točivý moment elektromotoru pro prokluz pásu [N·m]

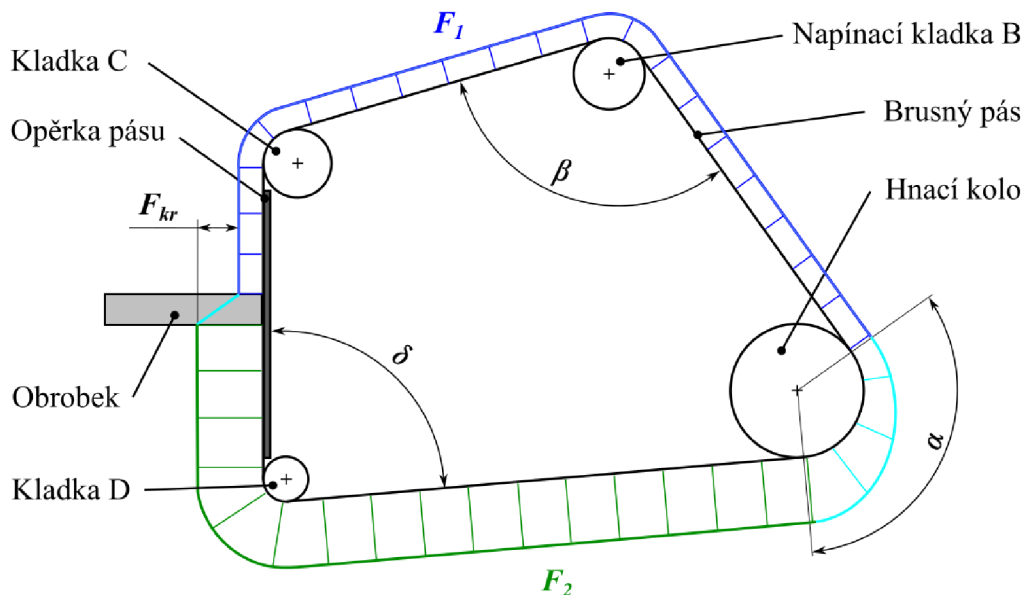
$M_n$ ... nominální točivý moment elektromotoru [N·m]

$F_{kr}$ ... kritická síla od elektromotoru na obvodu hnacího kola pro prokluz pásu [N]

$D$ ... průměr hnacího kola [mm]

Pro vypočtení napínací síly v pásu  $F_1$  lze vycházet z teorie vláknového tření, u které platí tzv. Eulerův-Eytelweinův vzorec viz výpočet (8). Nutností je znát součinitel tření a úhel opásání hnacího kola, který je vyobrazen i s dalšími úhly na obr. 36. Konkrétní parametry jsou:

- úhel opásání hnacího kola  $\alpha = 121^\circ = 2,112 \text{ rad}$ ,
- úhel ohnutí pásu přes napínací kladku B  $\beta = 110^\circ$ ,
- úhel ohnutí pásu přes vodící kladku D  $\delta = 85^\circ$ ,
- součinitel tření hliník / textil [26]  $\mu = 0,3$ .



Obr. 36 Schéma rozložení tažných sil na brusném pásu

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \rightarrow F_1 + F_{kr} = F_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \rightarrow F_1 = \frac{F_{kr}}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1} \text{ [N]} \quad (8)$$

$$F_1 = \frac{131,264}{e^{0,3 \cdot 2,112} - 1} = 148,425 \text{ N}$$

$$F_1 = 148 \text{ N}$$

kde:  $F_1$ ... minimální síla napnutí pásu (v ochablé větvi) [N]  
 $F_2$ ... maximální síla napnutí pásu (v aktivní větvi) [N]  
 $\mu$ ... součinitel tření mezi pásem a hnacím kolem [-]  
 $\alpha$ ... úhel opásání hnacího kola [rad]

Maximální síla napnutí brusného pásu  $F_2$  je vypočítána v rovnici (9):

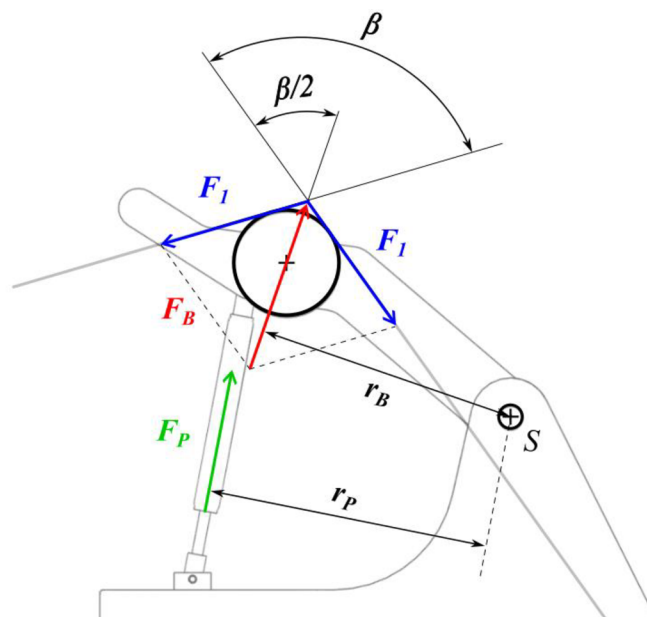
$$F_2 = F_1 + F_{kr} \text{ [N]} \quad (9)$$

$$F_2 = 148,425 + 131,264 = 279,689 \text{ N}$$

$$F_2 = 280 \text{ N}$$

Vypočítaná síla  $F_1$  spadá do intervalu hodnot doporučených napnutí pásu, takže je vyhodnocena jako relevantní. Dále je nutné vybrat vhodnou sílu plynové pružiny. Z grafického schématu rozložení sil na napínací kladce viz obr. 37 lze pomocí kosinové věty spočítat sílu  $F_B$ , kterou musí kladka působit na brusný pás viz rovnice (10). Plynová pružina ovšem působí v jiné vzdálenosti od osy otáčení napínacího ramena než kladka, proto je zde vyžadován přepočít přes momentovou rovnici ekvivalence. Výpočet síly plynové pružiny je znázorněn v rovnici (11). Další potřebné parametry pro výpočet, změřené v CAD programu, jsou:

- vzdálenost osy napínací kladky od středu otáčení S  $r_B = 197,4 \text{ mm}$ ,
- vzdálenost osy plynové pružiny od středu otáčení S  $r_P = 213,2 \text{ mm}$ .



Obr. 37 Schéma rozložení napínacích sil na brusném pásu

$$F_B = \sqrt{2 \cdot F_1^2 \cdot (1 - \cos(180 - \beta))} \quad [N] \quad (10)$$

$$F_B = \sqrt{2 \cdot 148,425^2 \cdot (1 - \cos(180 - 110))} = 170,266 \text{ N}$$

$$F_B = 170 \text{ N}$$

$$F_B \cdot r_B = F_P \cdot r_P \rightarrow F_P = \frac{F_B \cdot r_B}{r_P} \quad [N] \quad (11)$$

$$F_P = \frac{170,266 \cdot 197,4}{213,2} = 157,648 \text{ N}$$

$$F_P = 158 \text{ N}$$

kde:  $F_B$ ... napínací síla kladky [N]

$F_P$ ... napínací síla plynové pružiny [N]

$r_B$ ... vzdálenost osy napínací kladky od středu otáčení S [mm]

$r_P$ ... vzdálenost osy plynové pružiny od středu otáčení S [mm]

Dle vypočítané hodnoty  $F_P$  je zvolena plynová pružina s nejbližší vysouvací silou a vhodným zdvihem. Dané požadavky splňuje plynová pružina „Norelem 26200-0819080X150“ [22], která je použita s kloubovými oky „Norelem 27618-0808119“ [22] viz obr. 38.



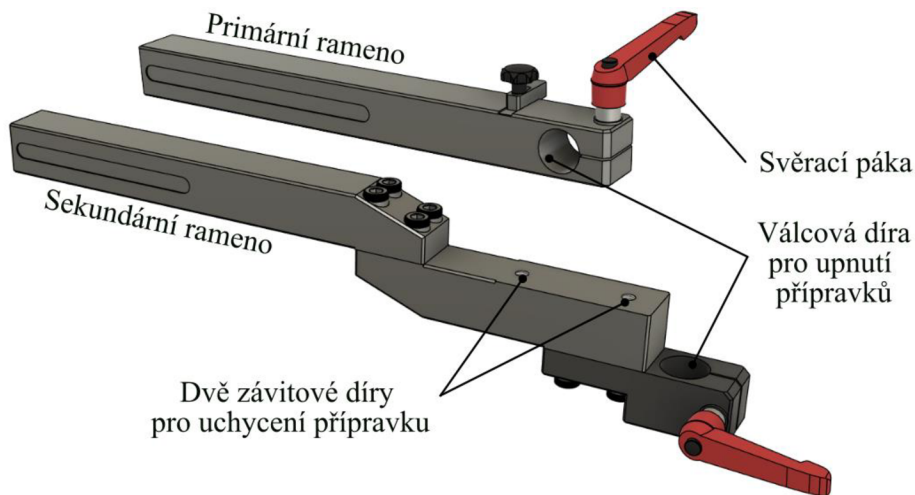
Obr. 38 Plynová pružina a kloubová oka Norelem ([22] upraveno)

### 4.3 PŘÍPRAVKY PÁSOVÉ BRUSKY

Po zkonstruování kvalitní a propracované základní konstrukce ji nyní zbývá osadit vhodnými vyměnitelnými přípravky pro usnadnění broušení různých tvarů. Všechny tyto přípravky jsou drženy výsuvnými rameny, kde primární rameno nese brousící přípravek, na kterém běhá brusný pás a sekundární rameno většinou drží nějaký opěrný stolek.

Pro rychlou a jednoduchou výměnu jednotlivých přípravků je zde univerzální upínací systém v podobě prořízle přesné díry, kterou lze stáhnout svěrací pákou viz obr. 39. Tudiž všechny

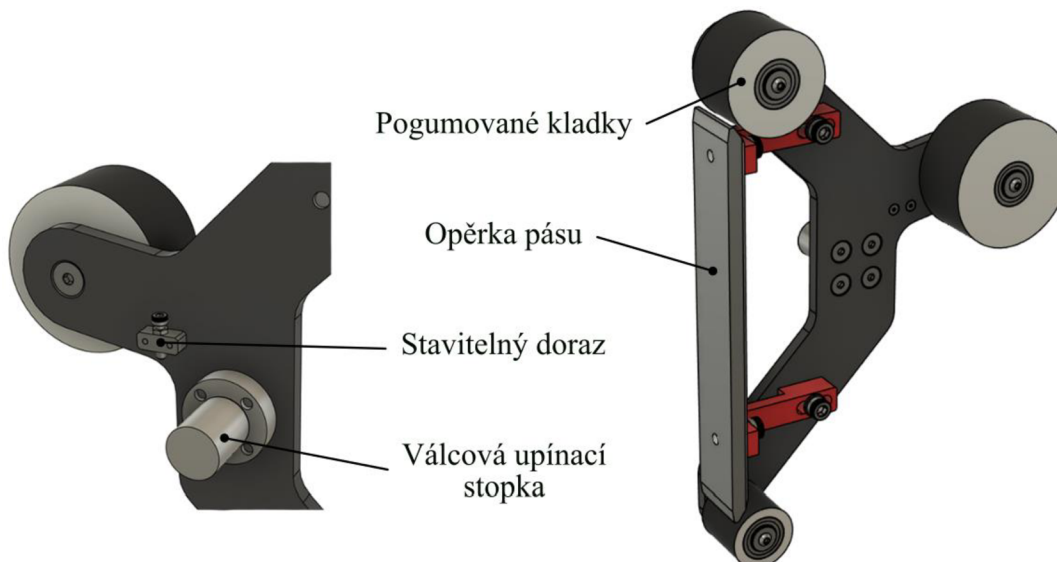
přípravky musí mít stejnou upínací válcovou plochu. Výjimkou je pouze přípravek lineární magnetické rovinné brusky, který je uchycen pomocí dvou šroubů na sekundárním ramenu.



Obr. 39 Konstrukce primárního a sekundárního ramena pásové brusky

#### 4.3.1 TŘÍKLADKOVÁ BROUSICÍ HLAVA S OPĚRKOU BRUSNÉHO PÁSU

Základním přípravkem pro většinu brousících aplikací je brousicí hlava s opěrkou brusného pásu. Pro zvýšení využitelnosti je v konstrukci užito tři pogumovaných kladek s průměry 50, 75 a 100 mm, díky kterým lze brousit větší vnitřní rádiusy. Upevnění os kladek je podobné jako u napínací kladky viz obr. 35. Konkrétní návrh přípravku lze vidět na obr. 40



Obr. 40 Tříkladková brousicí hlava s opěrkou brusného pásu

Již zmíněná opěrka brusného pásu je poměrně namáhanou součástí na otěr od zadní strany brusného pásu, který se při přitlačení obrobku o ní intenzivně tře. Z tohoto důvodu je nutné,

aby aktivní plocha opěrky byla hladká a odolná vůči otěru, čehož je docíleno volbou oceli C45, která je kalena a popuštěna na tvrdost cca  $55 \pm 2$  HRC a následně broušená.

Celý tento přípravek je upínán za již zmíněnou válcovou stopku, díky níž lze s brusnou hlavou otáčet o  $360^\circ$  a tím si zvolit vhodnou pozici pro danou aplikaci. Pro uživatelskou přívětivost je zde i zakomponovaný stavitelný doraz pro opakované přesné ustavení do svislé polohy opěrky pásu.

### VÝPOČET TRVANLIVOSTI LOŽISEK

Ložiska použitá v brousící hlavě i napínací kladce jsou jednořadá radiální kuličková ZKL 6202-2RS s parametry viz níže [27]. Pro ověření trvanlivosti zvolených ložisek je vybrána kladka D viz obr. 36, při zatížení od motoru na nominálním točivém momentu a rychlosti brusného pásu 21,79 m/s, což rychlost pásu při nominálních otáčkách elektromotoru.

Nejprve je třeba vypočítat sílu v pásu při daném provozu elektromotoru  $F_{2n}$  viz výpočet (12) a nadále výsledné radiální zatížení kladky  $F_D$ , dle kosinové věty stejně jako u napínací kladky viz výpočet (13).

- počet ložisek v jedné kladce  $i = 2$ ,
- mocnitél pro kuličková ložiska  $a = 3$ ,
- základní dynamická únosnost  $C = 7,718 \text{ kN} = 7\,718 \text{ N}$ ,
- rychlost brusného pásu (nominální otáčky)  $v_n = 21,79 \text{ m/s}$ ,
- průměr kladky D  $d_D = 50 \text{ mm}$ .

$$F_{2n} = F_1 + F_n = F_1 + \frac{M_n \cdot 2}{D} \cdot 1\,000 \text{ [N]} \quad (12)$$

$$F_{2n} = 148,425 + \frac{7,27 \cdot 2}{144} \cdot 1\,000 = 249,397 \text{ N}$$

$$F_{2n} = 249 \text{ N}$$

$$F_D = \sqrt{2 \cdot F_{2n}^2 \cdot (1 - \cos(180 - \delta))} \text{ [N]} \quad (13)$$

$$F_D = \sqrt{2 \cdot 238,8^2 \cdot (1 - \cos(180 - 85))} = 367,750 \text{ N}$$

$$F_D = 368 \text{ N}$$

kde:  $F_{2n}$ ... síla v brusném pásu na kladce D při nominálním točivém momentu [N]  
 $F_n$ ... obvodová síla na hnacím kole při nominálním točivém momentu [N]  
 $F_D$ ... radiální síla působící na kladku D při nominálním točivém momentu [N]

Nadále je třeba získat otáčky kladky D vzhledem ke zvolené rychlosti pásu, čemuž odpovídá výpočet (14). Základní výpočtová trvanlivost ložiska je znázorněna v rovnici (15) [24].

$$n_D = \frac{v_n \cdot 60}{\pi \cdot d_D} \cdot 1\,000 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (14)$$

$$n_D = \frac{21,79 \cdot 60}{\pi \cdot 50} \cdot 1\,000 = 8\,323,167 \text{ min}^{-1}$$

$$n_D = 8\,323 \text{ min}^{-1}$$

$$L_{10h} = \left( \frac{C}{\frac{F_D}{i}} \right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_D} \text{ [hod]} \quad (15)$$

$$L_{10h} = \left( \frac{7\,718}{\frac{367,75}{2}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 8\,323,167} = 148\,083,41 \text{ hod}$$

$$L_{10h} = 148\,083 \text{ hod}$$

- kde:  $n_D$ ... otáčky kladky D [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $v_n$ ... rychlost brusného pásu při nominálních otáčkách elektromotoru [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $d_D$ ... průměr kladky D [mm]  
 $L_{10h}$ ... základní výpočtový trvanlivost ložiska [hod]  
 $C$ ... základní dynamická únosnost [N]  
 $i$ ... počet ložisek v jedné kladce [-]  
 $a$ ... mocnitel pro kuličková ložiska [-]

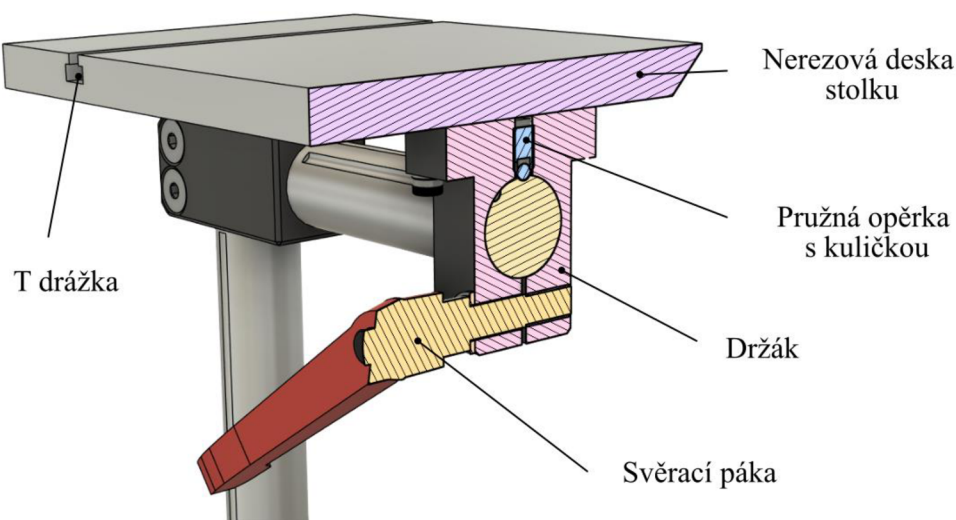
Hodnota trvanlivosti nejvíce vytiženého ložiska naprosto vyhovuje danému použití, i když je třeba počítat s tím, že v realitě se budou ložiska nacházet v poměrně prašném prostředí, což může snížit jejich životnost, která ovšem stále bude na dostačující hodnotě.

#### 4.3.2 UNIVERZÁLNÍ OPĚRNÝ STOLEK S T DRÁŽKOU

Důležitý přípravek, na kterém pracovník přidržuje obráběný materiál při broušení a tím pádem ho nemusí držet v rukou. Díky němu lze snadno ubírat materiál pod přesným úhlem, nejčastěji  $90^\circ$  nebo  $45^\circ$ .

K propojení sekundárního ramena a stolku je zde součástí do tvaru L tvořena ze dvou spojených kruhových nerezových tyčí, které umožňují nastavení výšky, polohy a úhlu natočení stolku. Zároveň jsou na této součásti i drážky, které ve spojení s pružnou opěrkou s kuličkou tvoří systém jednoduchého nalezení polohy  $90^\circ$  a  $45^\circ$ . Celý mechanismus uchycení a naklápění / posouvání stolku lze vidět na obr. 41.

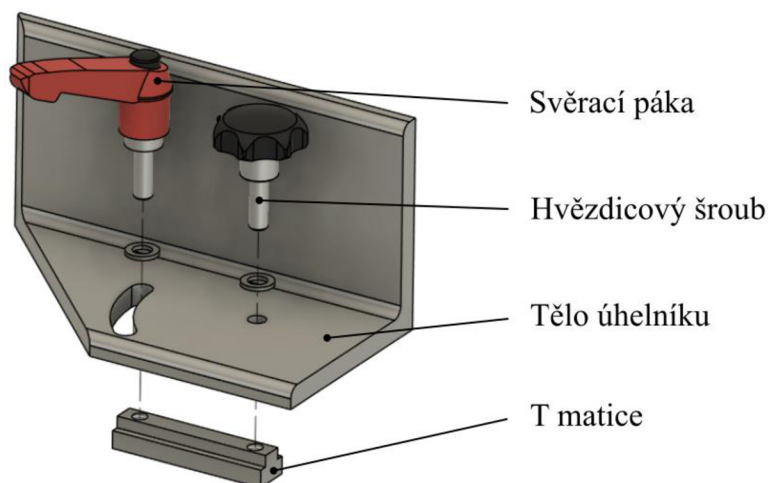
Jelikož deska stolku bude často ve styku s vodou a povrch bude namáhán na otěr, tak je jako vhodný materiál pro tuto aplikaci zvolena nerezová ocel 1.4301. Bonusovým a také velmi užitečným konstrukčním prvkem je T drážka v desce stolku, která umožní připevnění dalších přípravek jako například úhelníku ke stolku viz kapitola 4.3.3.



Obr. 41 Řez upevněním opěrného stolku

#### 4.3.3 ÚHELNÍK KE STOLKU

Tento úhelník viz obr. 42 zajišťuje přesné nastavení úhlu v rovině kolmé na plochu desky stolku a jeho úhlové rozmezí vzhledem k ploše brusného pásu je 45 až 90°. Stejně jak u stolku je i zde kvůli korozivzdornosti zvolena nerezová ocel 1.4301. Upevněn je přes již zmíněnou T drážku v desce stolku a díky tomu ho lze libovolně posunout a natočit do vhodné polohy, ve které je následně aretován pomocí malé svěrací páky a šroubu s hvězdicovou hlavou.



Obr. 42 Konstrukční řešení úhelníku ke stolku

#### 4.3.4 SADA MALÝCH ROLEN S DRŽÁKEM

Významný pomocník při broušení malých vnitřních rádiusů o různých poloměrech. Držák malých rolen je samozřejmě osazen válcovou stopkou pro upnutí do primárního ramena a dovoluje jednoduchou a rychlou výměnu jednotlivých rolen.

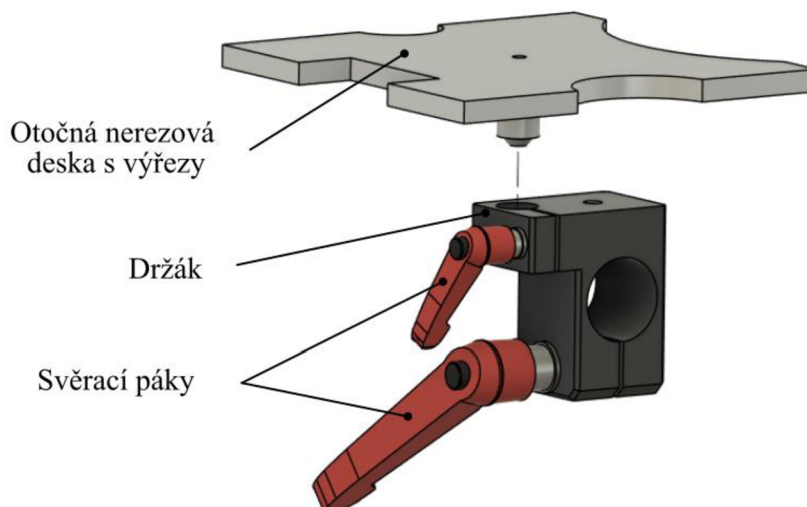
Průměry roln jsou zvoleny 10, 15, 20 a 30 mm, přičemž je každá osazena dvěma miniaturními jednořadými radiálními kuličkovými ložisky ZEN S 688-2RS W6 a je vyrobena z nerezové oceli 1.4301. Pro zamezení samovolného vypadnutí rolny z držáku jsou zde přidány miniaturní pružné opěrky s kuličkou, které rolnu přidržují na svém místě. Celé konstrukční řešení tohoto přípravku lze vidět na obr. 43.



Obr. 43 Konstrukční řešení sady malých broušicích roln s držákem

#### 4.3.5 OPĚRNÝ STOLEK S VÝŘEZY

Jedná se o druhý typ opěrného stolku, který je primárně určený pro usnadnění broušení rádiu- sů např. v kombinaci se sadou malých roln. Otočná deska o rozměru 150 x 150 mm s různými půlkruhovými výřezy zajistí, že tvar vybraní stolku bude kopírovat obvod broušicí kladky s brusným pásem a tím bude vytvořen přívětivý prostor pro opření materiálu a jeho broušení. Vhodnou polohu otočné nerezové desky lze aretovat pomocí malé svěrací páky, která sevře díru, v níž je deska uchycena. Konkrétní provedení lze vidět na obr. 44.



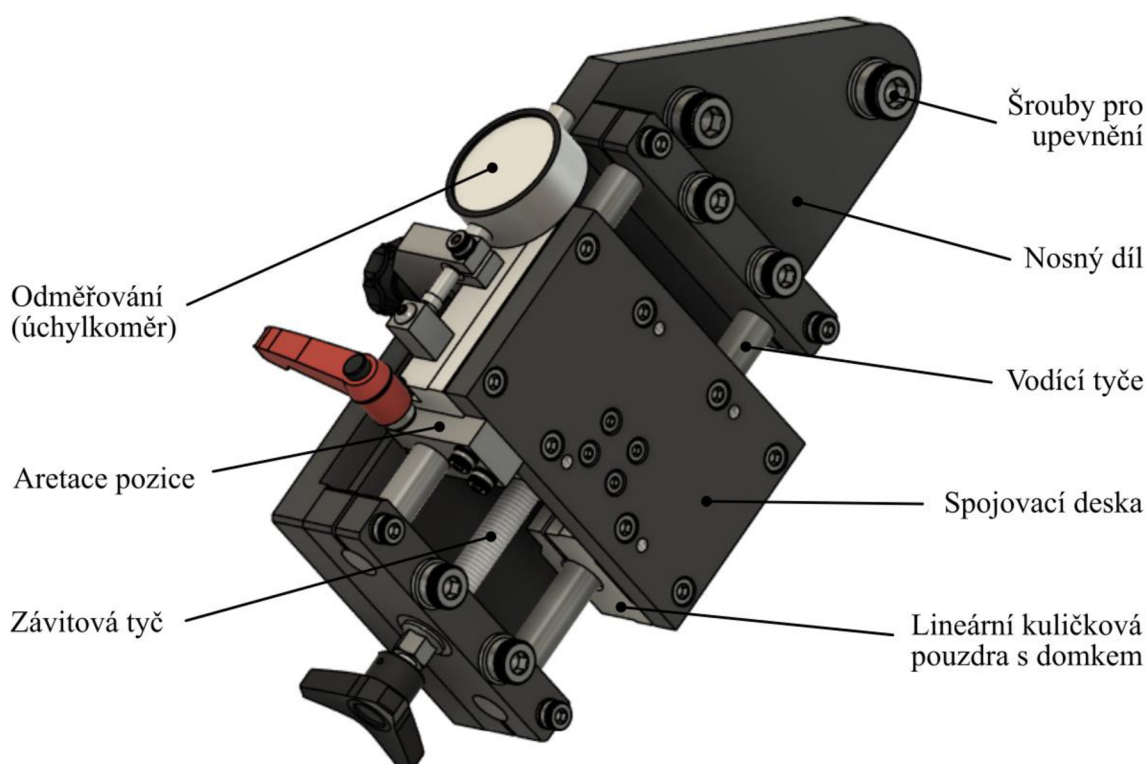
Obr. 44 Konstrukční řešení opěrného stolku s výřezy



#### 4.3.6 LINEÁRNÍ MAGNETICKÁ ROVINNÁ BRUSKA

Tento přípravek umožní přesné rovinné broušení, které funguje na podobném principu jako konvenční rovinná bruska s brusným kotoučem. Konstrukce je primárně tvořena nosným dílcem, dvěma na sebe kolnými lineárními posuvy, magnetickou deskou a odměřováním. Celý přípravek je připevněn k sekundárnímu ramenu pomocí dvou šroubů.

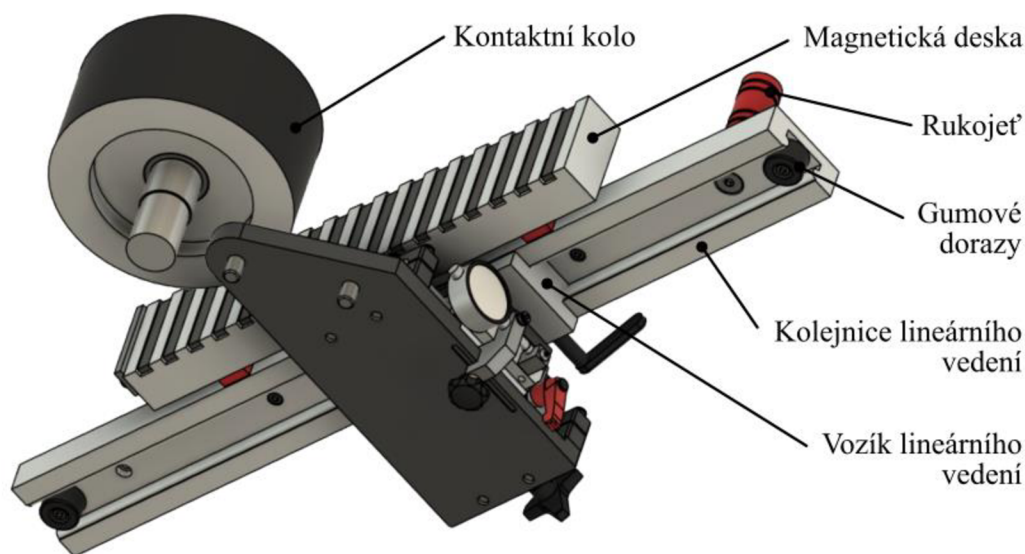
Přísuv magnetické desky je tvořen dvěma kruhovými vodícími tyčemi s dlouhými kuličkovými pouzdry v domku se stavitelnou vůlí, které nesou spojovací desku s maticí viz obr. 45. Jemné ovládání této osy je zajištěno závitovou tyčí M10 na konci osazenou trojčípou hvězdicovou úchytkou s vhodnou ergonomií. Přesné odměřování přísuvu je zajištěno analogovým číselníkovým úchylkoměrem s přesností 0,01 mm a při nastavení konkrétní hodnoty přísuvu lze tuto pozici aretovat pomocí malé svěrací páky.



Obr. 45 Konstrukční řešení přísuvu lineární magnetické rovinné brusky

Podélný posuv je zajištěn pomocí lineárního vedení, jehož vozík je pevně upevněn na spojovací desce a ručně pomocí rukojeti se pohybuje s celou kolejnicí, na níž je upevněna magnetická deska viz obr. 46. Tato magnetická deska je z hliníku a má v sobě vybrané příčné drážky, ve kterých jsou epoxidovým kovovým lepidlem zalaty silné neodymové magnety N52.

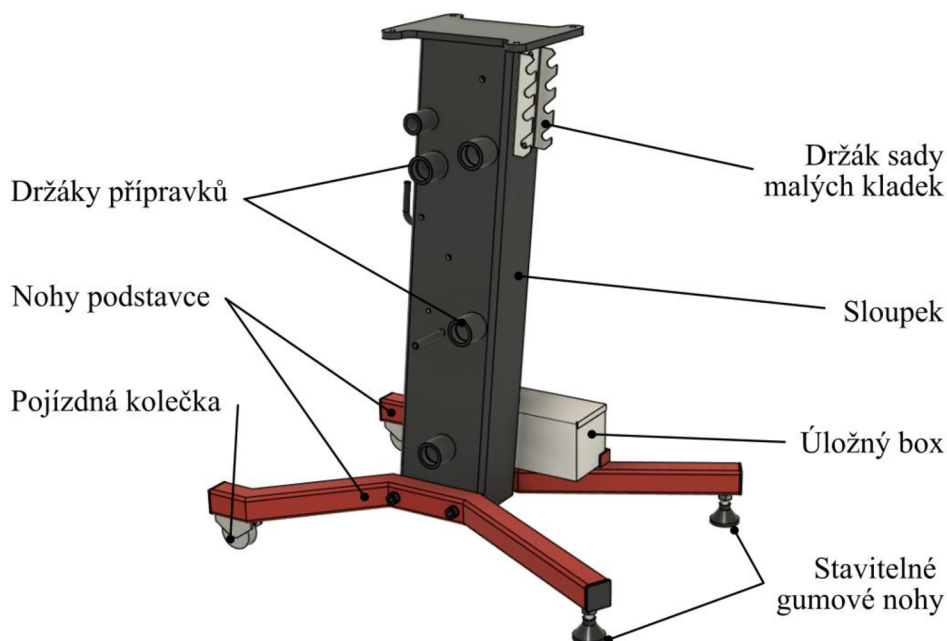
Brusný pás běhá po kladce se zvýšenou tvrdostí pogumování na 90 Shore A (všechny ostatní kladky 70 Shore A), která je zde použita z důvodu zvýšení přesnosti finálního obrobku, jelikož se při kontaktu s obrobkem nebude tolik deformovat. Tato kladka má opět upínací válcovou stopku a umísťuje se do primárního ramena. Na obr. 46 lze vidět kompletní přípravek lineární magnetické rovinné brusky.



Obr. 46 Sestava přípravku lineární magnetické rovinné brusky

#### 4.3.7 PODSTAVEC PÁSOVÉ BRUSKY

Pásovou brusku lze upevnit na pracovní stůl nebo je zde i možnost jí připevnit na podstavec, který zároveň slouží jako úložiště všech přípravků a potřebného náčiní pro obsluhu stroje. Skládá se ze dvou noh, které jsou svařované ze silnostěnného čtvercového profilu a jsou přimontované ke sloupku ze silnostěnného obdélníkového profilu s přivařenými držáky přípravků viz obr. 47. Dalším praktickým úložným místem je malý plechový box. Konstrukce podstavce má poměrně kompaktní rozměry a stojí na dvou pojezdových kolečkách a dvou stavitelných gumových nohách, čímž je umožněn poměrně pohodlný přesun celého stroje.



Obr. 47 Konstrukční řešení podstavce pásové brusky

## 5 VÝROBA, SESTAVENÍ A OVĚŘENÍ FUNKCE

Tato kapitola je věnována celkovému dokončení projektu, čímž je realizace. Konstrukce je navrhována tak, aby bylo možné jednotlivé díly vyrobit i v domácích dílnách vybavených menšími konvenčními obráběcími stroji s minimální pomocí externích firem. Toto je i můj případ, jelikož jsem si téměř celou konstrukci vyrobil a sestavil svépomocí v podmínkách vlastní domácí dílny.

### 5.1 VÝROBA

Při výrobě konstrukce je použita převážně ocel S235JR, která má dostačující vlastnosti pro tuto aplikaci. Mnoho dílů je vyrobeno ze silnostěnného plechu o tloušťce 10 mm, ze kterého jsou laserem vyříznuty přesné polotovary. Funkční plochy, díry, zahloubení, závity atd. jsou nadále vytvořeny na konvenčních obráběcích strojích.

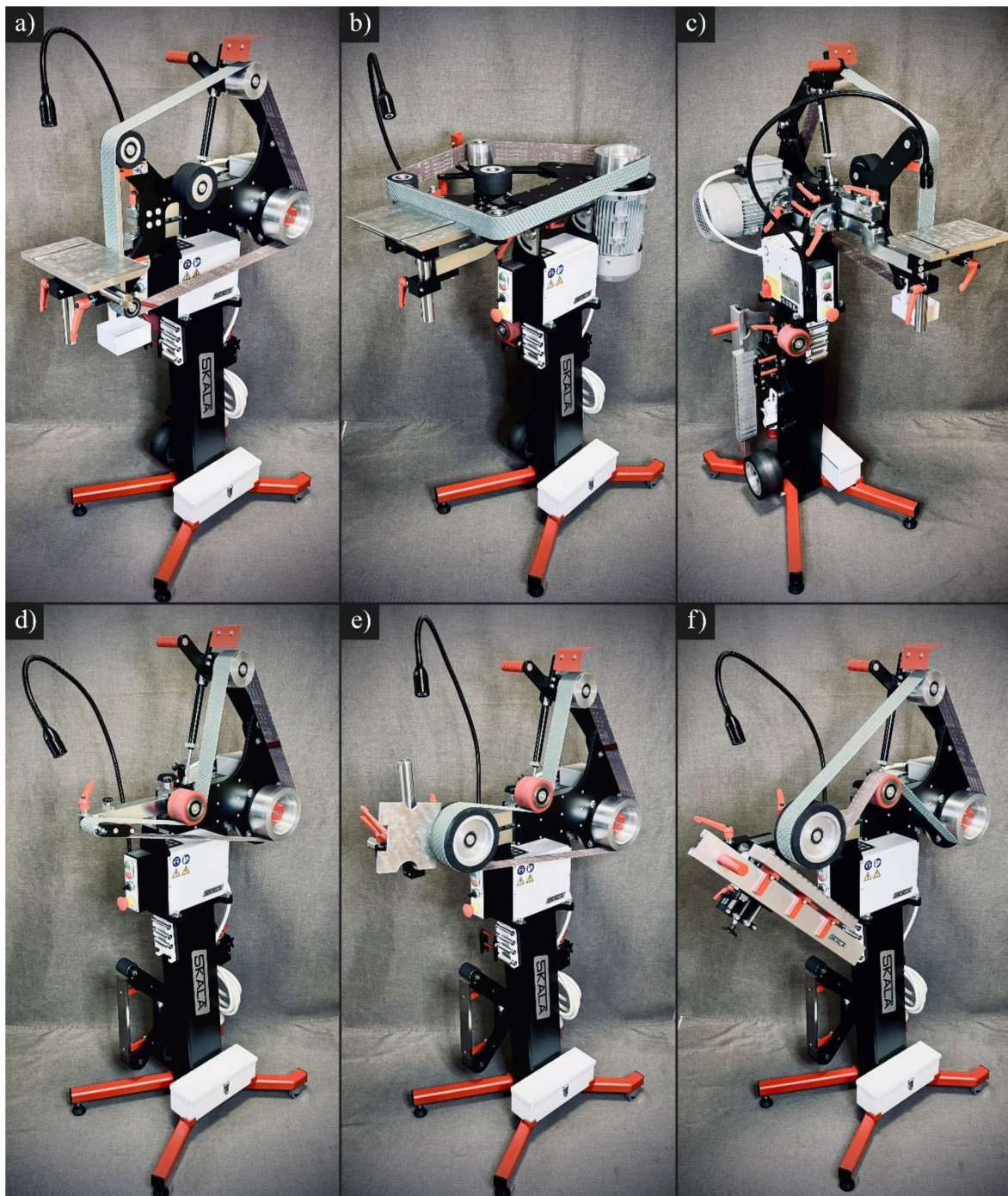
Ostatní součásti jsou vyrobeny z normalizovaných polotovarů na konvenčních obráběcích strojích, a to převážně na frézce, vrtačce a soustruhu. Dalším použitým materiálem je nerezová ocel 1.4301, která je využita zejména pro korozně namáhané díly v oblasti opěrného stolu, kde často dochází ke styku s vodou při chlazení broušeného obrobku. Hnací kolo, napínací kladka a například také magnetická deska jsou vyrobeny z hliníkové slitiny, což je zvoleno zejména kvůli snížení hmotnosti rotujících součástí.

Aby byla zaručena zvýšená korozní odolnost celé konstrukce, tak je na ocelové díly zvolena povrchová úprava v podobě galvanického zinku o tloušťce 10-15  $\mu\text{m}$ . Jelikož u strojních zařízení je důležitý i design, tak je následně většina dílů nalakována barvou ZINOREX S2211 (černá, červená a bílá), která je vhodná i na čerstvě pozinkované povrchy. Při lakování je nutné zamaskovat veškeré funkční plochy, aby byla plně zajištěna následná funkčnost a smontovatelnost.

### 5.2 SESTAVENÍ

Sestavení téměř celého stroje je zajištěno šroubovými spoji s nejčastějším užitím metrických šroubů s válcovou nebo zápustnou imbusovou hlavou. Při montáži jednotlivých dílů je vhodné postupovat tzv. od spodu nahoru, tj. jako první je poskládána celá základna stroje s elektroinstalací, na kterou je následně upevněno hlavní tělo pásové brusky. Poté je přidán elektromotor, hnací kolo, napínací rameno, kladky a na konec jsou individuálně smontovány jednotlivé přípravky.

Na obr. 48 lze vidět vyrobenou a sestavenou univerzální strojní pásovou brusku. Na pozici a), b), c) je bruska v základním sestavení, které obsahuje tříkladkovou brousící hlavu a opěrný stolek s T drážkou. Možnost broušení v horizontální poloze je vyobrazeno na pozici b). Jak již bylo zmíněno, tak pásová bruska obsahuje i několik různých přípravků a jejich použití v sestavě je ukázáno na dalších pozicích. Konkrétně se jedná o sadu malých rolen s držákem viz pozice d), velké kontaktní kolo s opěrným stolem s výřezy viz pozice e) a přípravek lineární magnetické rovinné brusky viz pozice f). Jak lze vidět, tak variant sestavení stroje je opravnu mnoho.



Obr. 48 Univerzální strojní pásová bruska – různé variace sestavení

### 5.3 OVĚŘENÍ FUNKCE

Po celkovém sestavení pásové brusky se všemi přípravky a zapojení elektroinstalace přišel čas ověření její funkčnosti. Veškeré mechanické prvky jako např. naklápění do horizontální a vertikální polohy, upínání přípravků, pozicování opěrného stolku, aretace napínacího ramena atd. fungují bezchybně.

Vypočítaná napínací síla brusného pásu se zdá jako optimální, jelikož se při broušení nevykytují žádné známky nedostatečného či nadměrného napnutí a samotné vedení pásu pomocí výklopné bombírované kladky pracuje perfektně. Tím pádem lze s pásem na kladkách jednoduše pohybovat zprava doleva a nastavit jeho požadovanou polohu.

Zvolený 2,2 kW asynchronní elektromotor řízený frekvenčním měničem opravdu zajišťuje velký rozsah rezných rychlostí, takže při broušení měkkého dřeva, kalených ocelí nebo hliníku s vhodně zvoleným brusným pásem nejsou zaznamenány žádné negativní faktory jako např. pálení materiálu, zanášení brusného pásu atd. Celkově hodnoceno se zdá, že odebrání materiálu při použití vhodné rychlosti a brusného pásu je maximálně efektivní.

Vyzkoušen je také maximální přítlak obrobku na brusný pás a až při opravdu velkém zatížení došlo k plnému prokluzu pásu na hnacím kole, což je žádoucí chování, kterým je chráněn jak elektromotor proti přehřátí, tak i brusný pás proti přetrhnutí. Při normálním i velice agresivním broušení s vysokým přítlakem se k této mezi nelze víceméně dostat.

Samotné používání a práce na pásové brusce je velice uživatelsky přívětivá, přesně jak na začátku bylo požadováno. Výměna brusných pásů, nastavení stroje i záměna přípravků atd. je velmi příjemná a rychlá (v řádech několika vteřin). Jednotlivé broušící přípravky a opěrné stolky jsou plně funkční.

Menší problém je zpozorován u sady malých broušících rolen, kde je funkční délka jednotlivých kladek 60 mm, což způsobuje větší pracnost na přesné vystředění pásu, tak aby neškrtil o boky přípravku. Řešením by bylo rozšíření kladek i držáku o 15-20 mm. Další nepatrnou nevýhodou je boční stabilita pásové brusky umístěné na podstavci, která není dostatečně tuhá a lze tím pádem brusku mírně rozkývat zprava doleva. Toto ovšem při broušení nemá žádný vliv, jelikož na stroj je silově působeno pouze zepředu.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem univerzální strojní pásové brusky s možností vertikálního i horizontálního broušení a také návrhem několika přípravků, které zvýší potenciál využití celého stroje. Cílem je vytvořit a realizovat stroj, který má vysokou kvalitu a tuhost konstrukce, regulovatelnou rychlost brusného pásu a je uživatelsky velmi přívětivý.

Na základě rešerše bylo zvoleno, že se bude vycházet z konstrukcí nožičských pásových brussek, které pro tyto požadavky měli nejlepší počáteční vlastnosti. V koncepčních návrzích byla vybrána vhodná varianta uložení výsuvných ramen pásové brusky a také typ napínacího systému pro brusný pás, kterým je otočné rameno s kladkou napínané pomocí plynové pružiny.

Pohonem pásové brusky byl zvolen přírubový asynchronní elektromotor s výkonem 2,2 kW, který je řízený frekvenčním měničem, což v kombinaci s vypočítaným průměrem hnacího kola  $D = 144$  mm zajišťuje plynulou regulaci řezné rychlosti pásu od 8 do 40 m/s a také dostatečnou sílu i pro agresivní broušení. Z důvodu bezpečnosti bylo zkontrolováno napětí v hnacím kole metodou konečných prvků v programu Ansys, kde vyšel velmi uspokojivý výsledek se součinitelem bezpečnosti  $k = 6,5$ .

Důležitým krokem bylo určení vhodné síly plynové pružiny pro napínání brusného pásu, u kterého bylo vycházeno z rovnice vláknového tření brusného pásu na hnacím kole, ze které vyplývá, že se zvyšující se silou napnutí pásu roste velikost přeneseného kroutícího momentu z hnacího kola na brusný pás. Jako maximální možný přenesený moment byl zvolen 130 % nominálního točivého momentu elektromotoru a pro tuto hodnotu byla vypočítána vhodná napínací síla, na základě které byla následně zvolena plynová pružina o síle 150 N.

V rámci celé závěrečné práce byla navržena univerzální strojní pásová bruska s možností vertikálního i horizontálního broušení, která splňuje veškeré zadané požadavky a společně s ní bylo navrženo i několik přípravků, kterými konkrétně jsou:

- tříkladková broušící hlava s opěrkou brusného pásu,
- univerzální opěrný stolek s T drážkou,
- úhelník ke stolku,
- sada malých rolen s držákem,
- opěrný stolek s výřezy,
- lineární magnetická rovinná bruska,
- podstavec pásové brusky.

Celý tento projekt byl nakonec realizován a odzkoušen v provozu, kde se potvrdila správná funkčnost celého stroje a jednotlivých přípravků. Menší problém byl zaznamenán pouze u přípravku sady malých rolen, kde je poněkud náročnější vycentrování pásu, a podstavce s namontovanou pásovou bruskou, který lze v bočním směru lehce rozkývat, což ale nemá žádný negativní vliv na obráběcí procesy.

Tímto bylo tedy dosaženo všech požadovaných cílů a výstupů. Výkresová dokumentace pro vybrané součásti a sestavy se nachází v příloze této bakalářské práce.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3. - 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 2. vydání. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [2] *Makita | Broušení*. Online. Makita spol. s r.o. © 2023. Dostupné z: <https://katalog.makita.cz/kategorie/brouseni/>. [cit. 2024-05-19].
- [3] *Bernardo | Brusky*. Online. Bernardo. © 2018. Dostupné z: <https://www.bernardo.at/cz/holz/holzbearbeitung/schleifmaschinen>. [cit. 2024-05-19].
- [4] *Pásová bruska BS150*. Online. Uni-max. © 2024. Dostupné z: <https://www.uni-max.cz/pasova-bruska-bs150/>. [cit. 2024-03-03].
- [5] *Pásová bruska na kov MBSM 100-130-2*. Online. Značkové nářadí. 2017. Dostupné z: <https://www.znackove-naradi.eu/pasova-bruska-na-kov-mbsm-100-130-2-107983.html>. [cit. 2024-03-03].
- [6] *Pásová bruska H03 V2*. Online. HAIM Vladimír Horák. 2010. Dostupné z: <https://www.pasovebrusky.com/category/pasove-brusky/pasova-bruska-h03-v2/17>. [cit. 2024-05-19].
- [7] *GIBSON 2X72" BELT GRINDER*. Online. 84 Engineering. © 2024. Dostupné z: <https://84engineering.com.au/products/gibson-72-belt-grinder>. [cit. 2024-03-03].
- [8] *KMG Articulating Work Rest System for KMG-TX, and other grinders!*. Online. Beaumont Metal Works. 2019. Dostupné z: <https://beaumontmetalworks.com/product/txartwrsys/>. [cit. 2024-03-03].
- [9] *TR Maker 2 x 72 Surface Grinder Attachment*. Online. Maritime Knife Supply. © 2024. Dostupné z: <https://maritimeknifesupply.ca/products/tr-maker-2-x-72-surface-grinder-attachment>. [cit. 2024-03-04].
- [10] TOKÁR, Anton. "*Šmirgly*" pod lupou. Online. HERMAN. 2023. Dostupné z: <https://www.hermantools.cz/blog/smirgly-pod-lupou>. [cit. 2024-03-09].
- [11] *VSM Brusné pásy pro průmyslové použití*. Online. VSM Abrasives. © 2024. Dostupné z: <https://www.vsmabrasives.com/cs/vyrobky/pasy>. [cit. 2024-03-06].
- [12] *The Basics of Coated Abrasives*. Online. Klingspor. © 1991–2024. Dostupné z: [https://www.klingspor.com/c/template1.aspx?page=default/html/basicsOfCoatedAbrasives\\_en-US.html](https://www.klingspor.com/c/template1.aspx?page=default/html/basicsOfCoatedAbrasives_en-US.html). [cit. 2024-03-06].
- [13] *Znalosti o broušení*. Online. Klingspor. 2019. Dostupné z: <https://www.klingspor.cz/znalosti-o-brouseni>. [cit. 2024-03-06].
- [14] *3M™ Cubitron™ II Industrail Abrasive Belts Brochure*. Online. 3M. © 2023. Dostupné z: <https://multimedia.3m.com/mws/media/2303507O/3m-cubitron-ii-984fx-pro-belt-brochure-english.pdf>. [cit. 2024-03-09].

- [15] *Brusné pásy*. Online. Truhlaříme. © 2024. Dostupné z: <https://www.truhlarime.cz/brusne-pasy/>. [cit. 2024-03-07].
- [16] *Zrnitost brusiva: na co se zaměřit při výběru brusných nástrojů?*. Online. Pilana Market. © 2010–2024. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/clanky/zrnitost-brusiva-na-co-se-zamerit-pri-vyberu-brusnych-nastroju/>. [cit. 2024-03-09].
- [17] *Nejběžnější pásové brusky a brusné pásy*. Online. INGTECH. 2024. Dostupné z: <https://eshop.ingtech.cz/blog/post/nejbeznejsi-pasove-brusky-a-brusne-pasy>. [cit. 2024-03-08].
- [18] *Doporučené řezné rychlosti pro brusné pásy*. Online. Piskač a syn a.s. © 2020. Dostupné z: <https://www.eshop.piskacasyn.cz/doporucene-rezne-rychlosti-pro-brusne-pasy/t-19>. [cit. 2024-03-09].
- [19] *Elektromotory AL*. Online. VYBO Electric. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/elektromotory-3/>. [cit. 2024-03-13].
- [20] MALÁŠEK, Jiří. *Dopravní a manipulační zařízení: Momentová charakteristika třífázového asynchronního elektromotoru řízeného měničem frekvence*. Přednáška. Brno: VUT FSI v Brně, 2022.
- [21] *Aluminium 6082 - Technical Datasheet*. Online. Smiths Metal. © 2023. Dostupné z: <https://www.smithmetal.com/pdf/aluminium/6xxx/6082.pdf>. [cit. 2024-04-16].
- [22] *MAREK Industrial a.s.* Online. © 2017–2024. Dostupné z: <https://www.marek.eu/>. [cit. 2024-03-23].
- [23] *Ploché řemenice*. Online. Pikron. © 2024. Dostupné z: <https://www.pikron.cz/ploche-remenice#category-more-info>. [cit. 2024-03-18].
- [24] BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, J. Keith. *Shigleyho konstruování strojních součástí*. 10th edition. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2023. ISBN 978-80-214-5471-2.
- [25] JENSEN, Douglas. *Abrasive belt tensioning: Overlooked and under-addressed*. Online. The Fabricator. 2017. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/finishing/abrasive-belt-tensioning-overlooked-and-under-addressed>. [cit. 2024-03-22].
- [26] BARTOŠ, Josef. *Strojnické tabulky: pomocná kniha pro střední průmyslové školy strojnické a pro školy příbuzných oborů*. 7. upr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
- [27] *Radiální jednořadé kuličkové ložisko 6202-RS*. Online. ZKL. © 2024. Dostupné z: <https://www.zkl.cz/cs/p/6202-2RS>. [cit. 2024-03-26].



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAD		počítačem podporované projektování
EN		Evropská norma
FEPA		Federace evropských výrobců brusných prostředků
HRC		tvrdost dle Rockwella
ISO		Mezinárodní organizace pro normalizaci
$\alpha$	[rad]	úhel opásání hnacího kola
$\beta$	[°]	úhel ohnutí pásu přes napínací kladku B
$\delta$	[°]	úhel ohnutí pásu přes vodící kladku D
$\mu$	[ - ]	součinitel tření hliník / tkanina
$\pi$	[ - ]	konstanta – Ludolfovo číslo
$a$	[ - ]	mocnitel pro kuličková ložiska
$b$	[mm]	šířka napínací kladky
$C$	[N]	základní dynamická únosnost
$D$	[mm]	průměr hnacího kola
$d_B$	[mm]	průměr napínací kladky
$d_D$	[mm]	průměr malé vodící kladky
$e$	[ - ]	konstanta – Eulerovo číslo
$F_1$	[N]	minimální síla napnutí pásu (v ochablé větvi)
$F_2$	[N]	maximální síla napnutí pásu (v aktivní větvi)
$F_{2n}$	[N]	síla v brusném pásu na kladce D při nominálním točivém momentu
$F_B$	[N]	napínací síla kladky
$F_D$	[N]	radiální síla působící na kladku D při nominálním točivém momentu
$F_{kr}$	[N]	kritická síla elektromotoru na obvodu hnacího kola pro prokluz pásu
$F_n$	[N]	obvodová síla na hnacím kole při nominálním točivém momentu
$F_P$	[N]	napínací síla plynové pružiny
$f$	[Hz]	jmenovitá frekvence elektromotoru
$f_{max}$	[Hz]	maximální frekvence nastavení frekvenčního měniče
$f_{min}$	[Hz]	minimální frekvence nastavení frekvenčního měniče
$h$	[mm]	výška klenutí funkční plochy věnce řemenic
$i$	[ - ]	počet ložisek v jedné kladce

$k$	[ - ]	součinitel bezpečnosti
$L_{10h}$	[hod]	základní výpočtový trvanlivost ložiska
$M_{kr}$	[N·m]	kritický točivý moment elektromotoru pro prokluz pásu
$M_n$	[N·m]	nominální točivý moment elektromotoru
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	jmenovité otáčky elektromotoru
$n_D$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky vodící kladky D
$n_{max}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru při maximální řezné rychlosti
$n_{min}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru při minimální řezné rychlosti
$r_B$	[mm]	vzdálenost osy napínací kladky od středu otáčení S
$r_P$	[mm]	vzdálenost osy plynové pružiny od středu otáčení S
$v$	[m·s <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost brusného pásu
$v_{max}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	maximální zvolená řezná rychlost
$v_{min}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	minimální zvolená řezná rychlost
$v_n$	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost brusného pásu při nominálních otáčkách elektromotoru

## SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

USPB 00-000 Univerzální strojní pásová bruska	(výkres sestavy)
USPB 04-001 Hnací kolo	(výkres součásti)
USPB 08-000 Tříkladková broušící hlava s opěrkou pásu	(výkres sestavy)
USPB 08-001 Nosná hvězdice	(výkres součásti)
USPB 08-002 Upínací čep	(výkres součásti)
USPB 08-003 Držák opěrky pásu	(výkres součásti)
USPB 08-004 Opěrka brusného pásu	(výkres součásti)