



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

NÁVRH PÁSOVÉ BRUSKY

DESIGN OF BELT GRINDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Denk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Daniel Denk
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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:

Návrh pásové brusky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem práce je konstrukční návrh stacionární pásové brusky pro robotické pracoviště. S ohledem na požadavky univerzality by měla být bruska přestavitelná, aby bylo možné její naklápění v různých osách.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.

Konstrukční návrh zvolené varianty – 3D model.

Nezbytné výpočty potřebné pro návrh a dimenzování.

Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

MAREK, Jíří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 979-80-260-6780-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh pásové brusky, která by s ohledem na univerzálnost použití měla být stavitelná v různých osách. V první části je popsána technologie broušení, princip pásové brusky a popis funkčně důležitých dílů pásové brusky. Druhá část je věnována rozboru již existujících pásových brusek, zhodnocení jejich konstrukčního řešení a návrh optimálního řešení konstrukce pásové brusky. Třetí část se zabývá potřebnými výpočty, rozбором konstrukčního řešení a ekonomickým zhodnocením. Součástí práce je 3D model vytvořený v programu Autodesk Inventor Professional 2020 a výkresová dokumentace.

ABSTRACT

Aim of this bachelor thesis is to produce a construction proposal of a belt grinder, which is, with respect to universality, adjustable in different axes. Grinding technology, belt grinder principle and description of the functionally important parts are presented in the first part. Second part is dedicated to the market research of existing belt grinders, evaluation of their construction design of an optimal belt grinder. Third part includes the necessary calculations, construction design analysis and economic evaluation of the optimal grinder and the project also contains its proposed 3D model created with Autodesk Inventor Professional 2020 model nad drawing documentation.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pásová bruska, brusný pás, konstrukce, robotické pracoviště, rotační pohyb.

KEYWORDS

Belt grinder, sanding belt, construction, robotic work place, rotary motion.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DENK, D. *Návrh pásové brusky*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2021, 57 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Janu Pavlíkovi Ph.D. za odborném vedení, cenné rady a připomínky při psaní této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

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 10.6.2021

.....

Denk Daniel

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	ROZBOR PROBLEMATIKY	17
2.1	Technologie broušení	17
2.2	Způsoby broušení, typy brusek	18
2.3	Princip funkce pásové brusky	21
2.4	Popis hlavních částí pásové brusky	22
2.4.1	Pohonná soustava	22
2.4.2	Rám stroje	23
2.4.3	Kladky	24
2.4.4	Brusný pás	25
2.4.5	Napínání pásu	27
2.4.6	Ložiska	27
2.4.7	Odsávání třísek	28
2.4.8	Robotické broušení	28
2.4.9	Bezpečnost provozu	31
3	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH	33
3.1	Popis typických dílů	33
3.2	Varianty řešení	34
3.3	Vyhodnocení variant a volba základních parametrů	35
4	VÝPOČTOVÁ ČÁST	37
4.1	Výpočet průměru hnací řemenice	37
4.2	Síly v páse	38
4.3	Kontrolní výpočet životnosti ložisek	41
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	43
5.1	Celková sestava	43
5.2	Kladky	45
5.3	Napínací mechanismus	45
5.4	Uložení brousícího ramene	47
5.5	Povrchová úprava, montáž a provoz stroje	47
5.6	Cenová kalkulace	48
6	ZÁVĚR	49
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	53
8.1	Seznam použitých zkratk	53
8.2	Seznam použitých symbolů	53
8.3	Seznam použitých tabulek	54
8.4	seznam použitých obrázků	54
9	SEZNAM PŘÍLOH	57

1 ÚVOD

Zaměřením této bakalářské práce je návrh pásové brusky pro robotické pracoviště v nepřetržitém provozu. Kvůli univerzálnosti a možnosti použití na více pracovištích je bruska stavitelná. Broušení je jedna z velmi důležitých technologií ve strojírenství. Klasické brusky se používají pro obrábění přesné, pásová bruska je vhodná spíše pro broušení přípravné. Broušení se často používá jako dokončovací operace, při které dochází k odstranění otřepů po obrábění, odlévání, nebo k odstranění otřepů u plechových výpalků. Také k odstranění zkorodované povrchové vrstvy, nátěrů a v neposlední řadě k broušení nožů. Díky výše popsaným operacím vznikla pásová bruska, která je pro tyto operace přímo vytvořena. Její výhodou oproti klasickým bruskám je její nízká cena, univerzálnost, jednoduchá obsluha, rychlé a relativně přesné broušení.

První část se věnuje teoretickému rozboru řešené problematiky, popisuje princip funkce brusky a broušení. Je zde vysvětlen rozdíl mezi bruskou klasickou a pásovou bruskou, a popis důležitých částí pásové brusky.

Druhá část je zaměřena na rozbor již zkonstruovaných pásových brusek a zhodnocení jejich funkce pro tyto účely. Na základě získaných znalostí je proveden předběžný návrh pásové brusky.

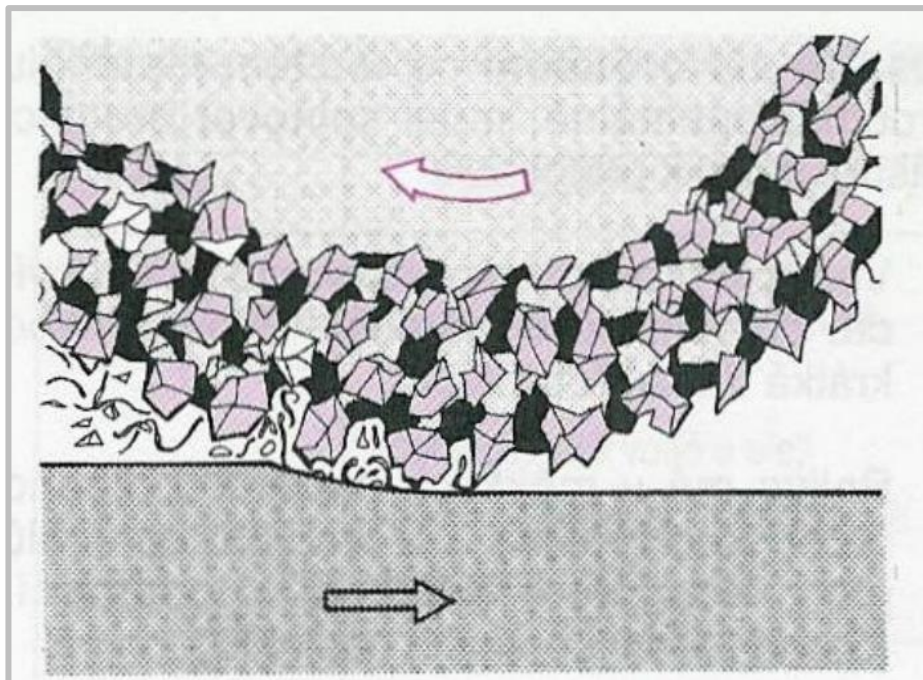
Třetí část obsahuje nezbytné výpočty, které jsou důležité pro optimalizaci funkce pásové brusky, pohon, síla předepnutí pásu, charakteristika pružiny, životnost ložisek.

Ve čtvrté, závěrečné části je popis vybraných konstrukčních uzlů, zhodnocení konstrukce jako celku a cenová kalkulace.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Technologie broušení

Broušení je technologie obrábění (nejčastěji dokončovací operace), při níž dochází k úběru broušeného materiálu v podobě třísek brusným kotoučem nebo pásem (obr.1). Materiál je ubírán vícebřitým nástrojem, brusným kotoučem nebo brusným pásem. Slouží k dosažení přesných rozměrů, požadovaných tvarů a drsností povrchu. Je možné brousit kalené tvrdé oceli, cementované součásti, slinuté karbidy i jiné tvrdé kovové i nekovové materiály. [7]

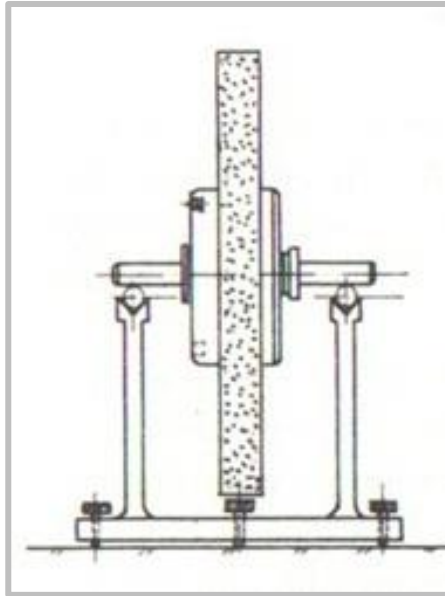


Obrázek 1) Princip úběru materiálu broušením [7]

Hlavní rotační pohyb vykonává nástroj, tedy brusný kotouč, který je připevněn k vřetenu brusky. Vedlejší pohyb vykonává obrobek, který je upnut buď na stůl při rovinném broušení (translační pohyb) nebo mezi hroty při obvodovém broušení (rotační pohyb).

Brusky jsou ve strojírenství nezastupitelnou skupinou obráběcích strojů. Patří společně s frézkami a soustruhy mezi základní obráběcí stroje. Zásadní rozdíl mezi bruskou a soustruhem či frézkou je v konstrukci stroje a otáčkách která koná nástroj nebo obrobek. Bruska jakožto stroj pro dokončovací operace musí být přesnější než zmiňované obráběcí stroje. Klasické brusky dosahují přesnosti obrobených ploch v desítkách až jednotkách mikrometrů.

Kvůli vysokým otáčkám vřetene, tedy i brousícího kotouče a jeho váze, je nutné kotouč vyvážit. Nevyváženost se nepříznivě promítá na přesnost a drsnost obrobených ploch. Vyvažování se provádí dvěma způsoby, staticky (obr.2) nebo dynamicky.



Obrázek 2) Statické vyvažování brousícího kotouče [8]

Vyvážení kotouče zamezuje vibracím, ale nemá vliv na geometrický tvar kotouče. Pro zajištění ideálních brousících podmínek a zajištění optimálního řezného procesu je vyvažování pevně spjato s orovnáváním kotouče. Při orovnávání dochází k obnovení geometrické přesnosti kotouče a obnovení brusných struktur. Proces je prováděn nejčastěji diamantovým hrotem (obr.3).



Obrázek 3) Diamantový orovnávací přípravek [9]

2.2 Způsoby broušení, typy brusek

Způsoby broušení jsou spjaty s typem brusky. V zásadě jsou u klasických brusek dva druhy broušení, rovinné broušení („broušení na plochu“) a obvodové broušení. Rozdíl spočívá ve tvaru broušené plochy.

Broušených materiálů existuje velké množství, každý materiál vyžaduje specifické brousící podmínky. Díky velkému množství broušených tvarů vznikají stále nové speciální brusky. Zde je uvedeno několik druhů brusek.

Základní dělení brusek:

1. Podle tvaru broušené plochy

- a) Vnější plochy
- b) Vnitřní plochy
- c) Ozubená kola
- d) Závity

2. Podle druhu užití

- a) Stojanové brusky
- b) Hrotové brusky
- c) Bezhruté brusky
- d) Brusky na díry
- e) Rovinné brusky
- f) Speciální brusky

3. Podle druhu nástroje

- a) Pásové
- b) Kotoučové
- c) Kartáčové

4. Podle typu obsluhy

- a) Strojní
- b) Ruční

Na obrázku 4 je ukázána rovinná, bezhrutá, kotoučová bruska. Tato bruska tvoří společně s bruskou pro válcové plochy dvojici, která je základním kamenem obrábění společně s frézkou a soustruhem.



Obrázek 4) Rovinná bruska [10]

Dále je zde ukázána ruční pásová bruska pro broušení trubek (obr.5a) a úhlová ruční bruska pro univerzální broušení (obr.5b). Obě tyto brusky fungují na stejném principu. Kroutící moment je generován elektromotorem a ten je přímo nebo nepřímo přenesen na výstupní hřídel. Na výstupní hřídeli je nasazen nástroj



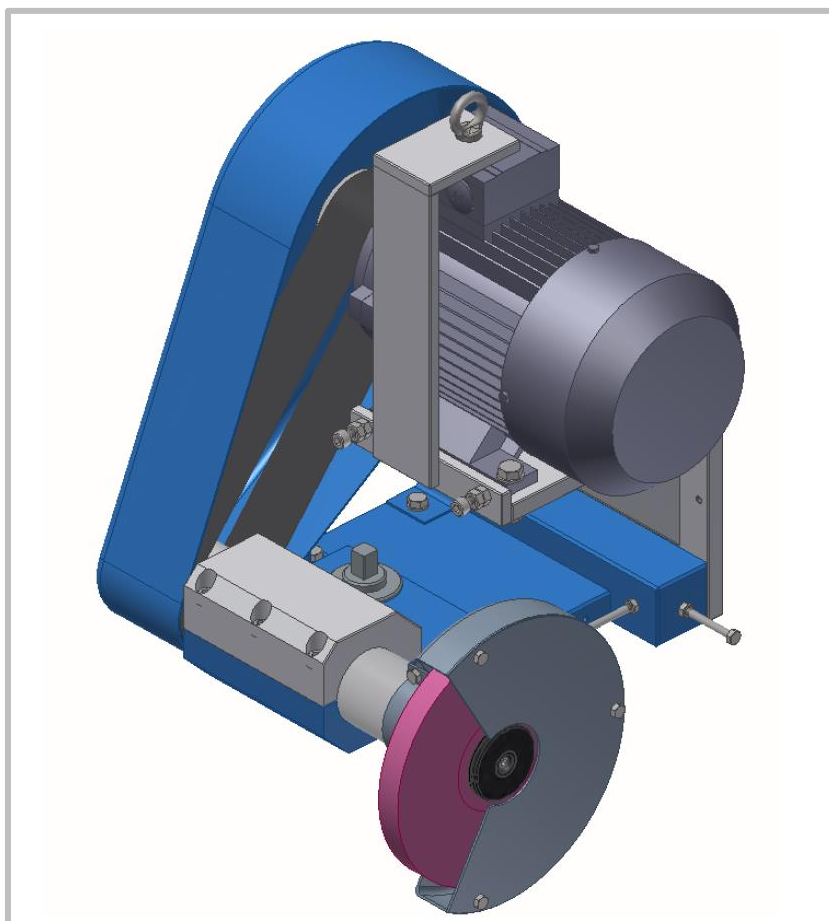
a)



b)

Obrázek 5) Ruční brusky a) Pásová trubko bruska b) Úhlová rotační bruska [11]

Poslední ukázkou je speciální brusné vřeteno (obr.6) vytvořené pro připojení k soustruhu pro broušení vnějších a vnitřních válcových ploch upnutých v univerzálním sklíčidle soustruhu. Tato bruska byla vytvořena za účelem nahrazení brusky pro broušení válcových ploch.



Obrázek 6) Přídavné brusné vřeteno na soustruh [12]

2.3 Princip funkce pásové brusky

Hlavní rozdíl mezi klasickou a pásovou bruskou je v nosiči brusných zrn. U klasické brusky je nosičem samotný brusný kotouč, zatímco u pásové brusky je nosičem textilní nebo papírový pás.

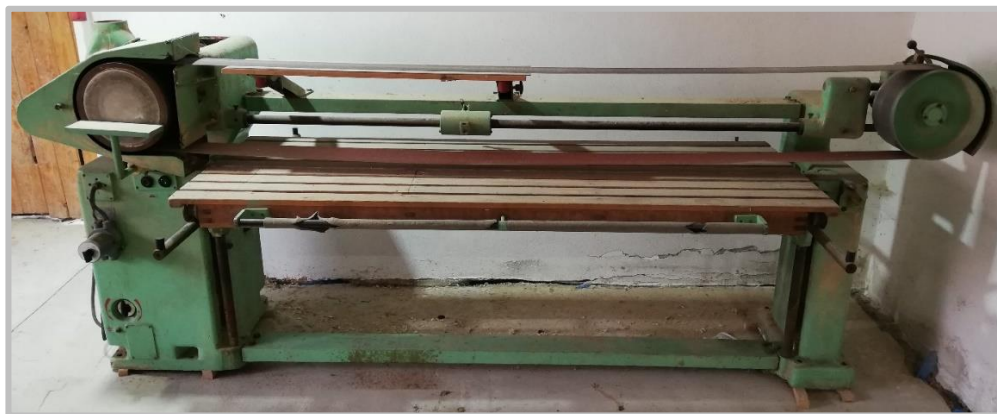
Výhody, které pásová bruska nabízí, jsou nízké pořizovací náklady, velká produktivita, nenáročná údržba a nízká kvalifikace obsluhy. Další výhodou je možnost regulace otáček, tedy i řezné rychlosti, v závislosti na broušeném materiálu. Změna otáček je nejčastěji prováděna kombinací asynchronního motoru a frekvenčního měniče. Nevýhodou je malá tuhost stroje. Pásové brusky nejsou používány pro broušení přesné, ale pro broušení přípravné.

Samotné broušení probíhá stykem broušeného obrobku s brusným pásem. Místo styku může být bod, úsečka nebo plocha. Tvar stykové plochy je závislý na tvaru broušeného obrobku a způsobu broušení. Velikost stykové plochy má velký vliv na výkonnost broušení.

V zásadě máme tři možnosti broušení:

- a) Broušení do volného pásu
 - Tento způsob broušení je vhodný pro tvarově složité plochy. Velikost přtlaku je úměrná velikosti předepnutí pásu. Tímto způsobem broušení nelze dosáhnout velké přesnosti.
- b) Broušení o kontaktní kolo
 - Tento způsob broušení je nejčastější. Díky své univerzálnosti je možno tímto způsobem brousit takřka všechny materiály a tvary. Kontaktní kolo je přesně vyrobeno a vyváženo, aby bylo zabráněno nežádoucím vlivům při broušení. Kolo je vyrobeno z pevného jádra (ocel nebo hliník), na povrch je přilepena vrstva zvyšující adhezni podmínky (pryž, PVC, PUR).
- c) Broušení o přitlačnou desku
 - Tento způsob broušení se používá výhradně pro broušení nebo leštění rovinných ploch. Přitlačná deska bývá povrchově upravena, aby došlo k minimalizaci ztrát třením. Při broušení dochází k zahřívání desky, často bývá chlazena.

Na obrázku níže (obr.7) je zobrazena pásová bruska na dřevěné výrobky. Řezná rychlost je okolo 15 m/s, šířka pásu 12 cm. Přitlačná síla pásu je vyvozována deskou, jedná se tedy o rovinné broušení. Napínání pásu je řešeno odpruženou hnanou kladkou, kladka plní účel vedení pásu a zároveň jeho napínání. Maximální rozměry broušeného výrobku jsou 200x70 cm.



Obrázek 7) Pásová bruska pro broušení dřevěných výrobků

2.4 Popis hlavních částí pásové brusky

Pásové brusky jsou velmi jednoduché univerzální stroje, ať se jedná o stacionární, nastavitelné nebo speciální brusky. U všech je možné najít podobné díly ze kterých jsou smontovány. Aby mohlo dojít ke kvalitnímu návrhu pásové brusky, je nutné tyto části pochopit a orientovat se v nich.

2.4.1 Pohonná soustava

Pohon je základem celé brusky. Jeho volbě je uzpůsobena konstrukce. Dříve, v době páry, byl pohon zajišťován parním strojem.

Pohonná soustava je tvořena motorem a členem, pro převod kroutícího momenty. Změny otáček je možno docílit použitím mechanických převodů nebo užitím frekvenčního měniče.

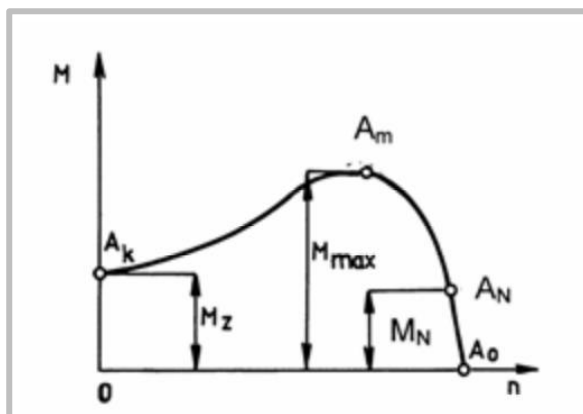
Nejčastěji je používán asynchronní motor s kotvou nakrátko (obr.8). Asynchronní motor je točivý elektrický stroj na střídavý proud. Další výhodou asynchronního motoru je jeho jednoduchá konstrukce, jednoduchá výroba, menší pořizovací náklady a bezúdržbovost. Ukotvení motoru se provádí buďto přišroubováním patek motoru k základovému tělesu (patkové uchycení) nebo přišroubováním příruby k základovému tělesu (přírubové uchycení).



Obrázek 8) Třífázový asynchronní motor SIMOTICS Výrobce: SIEMENS [14]

Princip činnosti spočívá ve vytvoření točivého magnetického pole ve statoru. Pohyb magnetického pole zajišťuje, že indukční siločáry protínají vodiče na rotoru a v rotoru se indukuje napětí. Toto napětí zajišťuje, že rotorem protéká proud, což způsobuje silovou interakci vodičů na rotoru s vodiči na statoru.[13] Aby motor mohl fungovat, musí mít točivé pole rotoru zpoždění oproti točivému poli statoru. Tento rozdíl otáček se označuje jako skluz. Při zvýšení zatížení se skluz zvyšuje a roste generovaný točivý moment až do maximální hodnoty. Není vhodné motor přetěžovat nad pracovní oblast, motor se přehřívá a snižuje se jeho životnost.

Každý motor má svou momentovou charakteristiku (obr.9). Tato charakteristika znázorňuje velikost generovaného momentu v závislosti na otáčkách a pracovní bod motoru.



Obrázek 9) Momentová charakteristika asynchronního motoru [15]

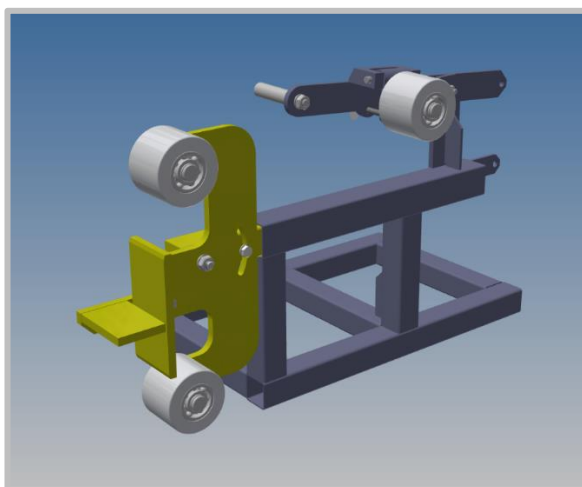
A_k – záběrný bod; A_m – maximální pracovní bod; A_N – pracovní bod; M_z – záběrný moment;
 M_{max} – maximální moment; M_N – jmenovitý pracovní moment; M – moment;
 n – otáčky

2.4.2 Rám stroje

Rám stroje je kostrou celé pásové brusky. Do rámu se montují všechny díly, které dohromady tvoří fungující celek. Požadavky na rám jsou eliminace vibrací vzniklých při provozu brusky, dostatečná tuhost, aby nedocházelo k deformacím, které mají vliv na funkčnost brusky a nízké výrobní náklady.

Pro malosériovou výrobu jsou litinové rámy nepoužitelné. Alternativní řešení jsou rámy svařované z dutých profilů nebo z plechových výpalků. Schopnost svařovaných rámu tlumit vibrace je velmi malá, jejich výroba je levná a rychlá. V případě potřeby může být konstrukce upravována což je velkou výhodou při kusové výrobě kdy je zhotovena předloha, která je konfigurována dle požadavků zákazníka.

Při použití svařovaného rámu (obr.10) je důležité brát ohled na deformace vzniklé svařováním. Toto hledisko je obzvláště důležité při konstrukci velkých rámu. Dalším faktorem je pnutí, které může vzniknout uvnitř rámu v důsledku nesprávného postupu při jeho svařování.



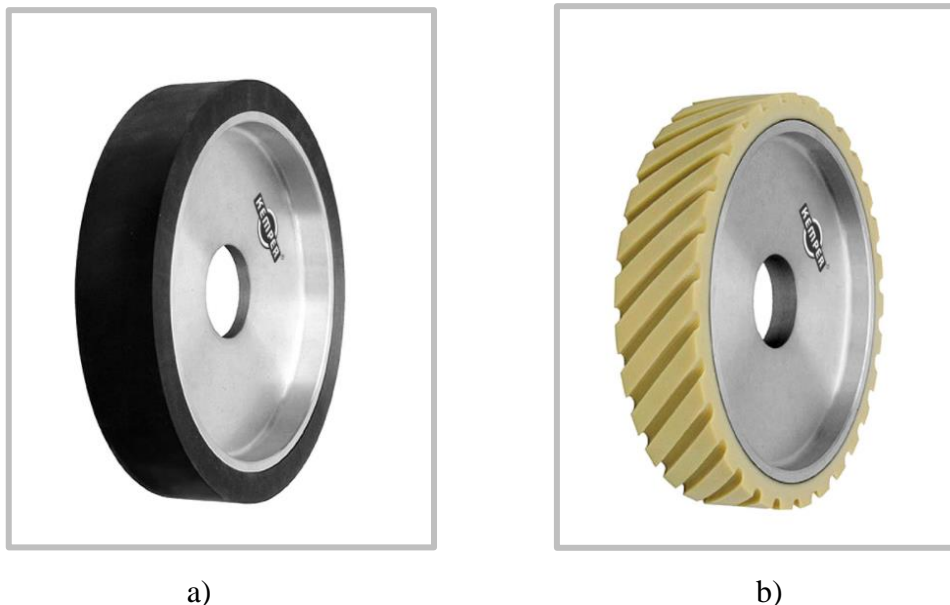
Obrázek 10) Rámová konstrukce pásové brusky [16]

2.4.3 Kladky

Kladky zajišťují pohyb brusného pásu a přenos kroutícího momentu. Součástí každé pásové brusky jsou minimálně 2 kladky, jedna hnací kladka a jedna napínací kladka. Tato kombinace je vhodná zejména pro pásové brusky určené pro broušení dřevěných výrobků (obr.8). Pro broušení kovů je vhodné užít minimálně tři nebo čtyř kladek. Přidané kladky jsou napínací a vodící.

Konfigurace kladek a jejich počet je závislý na dráze pásu a způsobu broušení. Dráha pásu je pro každou pásovou brusku jiná, záleží na požadavcích zákazníka, broušeném materiálu, požadované délce provozu a dalších aspektech. Kladky dělíme do těchto skupin:

- a) Hnací kladka, řemenice
 - Hnací řemenice je nasazena přímo na hřídel motoru, většinou pomocí pera a drážky, alternativou je svěrné pouzdro. Kladka přenáší kroutící moment z hřídele motoru na pás. Průměr hnací řemenice je důležitý pro rychlost pásu. Rychlost pásu je závislá na volbě otáček motoru a průměru hnací řemenice. Důležitá je přesná výroba hnací řemenice z důvodu možných vibrací vzniklých nepřesnou výrobou nebo nevyvážením kladky.
- b) Napínací kladka
 - Napínací kladka zajišťuje správné napnutí pásu a zároveň pás vede. Správné napnutí pásu je velmi důležité. Při malém napnutí hrozí zastavení pásu nebo natržení pásu při přiložení ostré hrany. Naopak velké napnutí zkracuje životnost pásu a zbytečně zatěžuje celou brusku, zejména ložiska. Napínací kladky bývají zpravidla malé. Napínací síla působící na kladku může být vyvinuta mechanicky nebo pneumaticky.
- c) Vodící kladka
 - Vodící kladka zajišťuje pouze správné vedení pásu po dráze. Přidáním vodících kladek do tratě je možné dráhu pásu měnit.
- d) Naklápěcí kladka
 - Naklápěcí kladka slouží k udržení pásu na kladkách. Naklápěcí ložiska použitá při uložení této kladky umožňují mírné naklopení kladky, tedy i pásu.
- e) Kontaktní kolo
 - Kontaktní kolo (obr.11) slouží k broušení. Jádro kola je ocelové nebo hliníkové, povrch kola je většinou upraven buď přilepením pryže nebo jiných adhezi zlepšujících potahů určených pro daný druh broušeného materiálu.

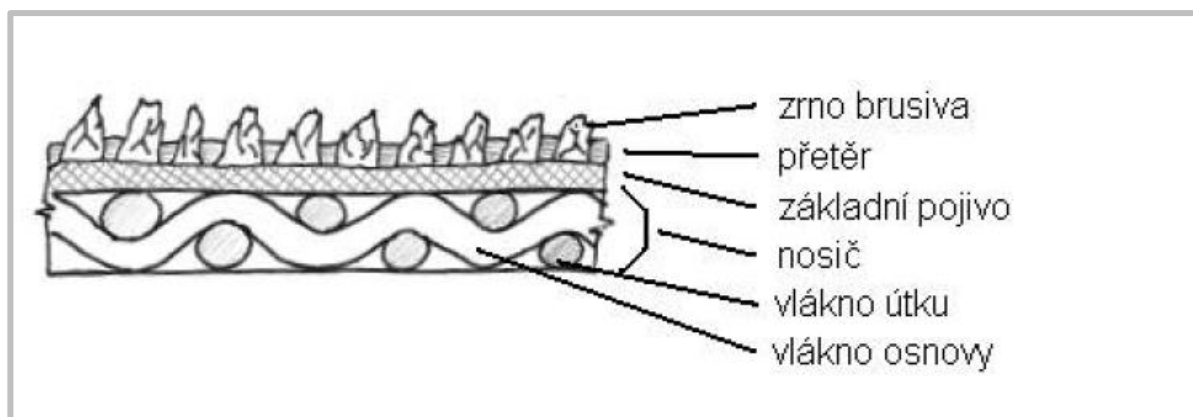


Obrázek 11) Kontaktní kolo Kemper a) Kemper Elex b) Kemper Ela [17]

Důležitým prvkem kladek je bombírování. Bombírování je vyklenutí pracovní plochy věnce řemenice [3]. Tato technologická úprava při výrobě řemenic je prováděna z důvodu udržení pásu na kladkách. Nerovnoběžnost hřídelů způsobuje různé délky krajních vláken pásu, v delším vlákně pásu dochází k nárustu tečných sil, pás je posouván tímto směrem až do spadnutí pásu z kladek. Z tohoto důvodu je na kladkách prováděna technologická úprava bombírování.

2.4.4 Brusný pás

Při konstrukci pásové brusky je brusný pás nejdůležitějším prvkem. Brusné pásy jsou vyráběny z polotovarů, svitků brusných plátů, které se dále rozměrově upravují dle požadavku zákazníka. Při větších sériích výroby je naprosto běžná zakázková výroba brusných pásů.



Obrázek 12) Skladba brusného pásu [18]

Brusný je složen skládá z několika vrstev (obr.12), základem je nosný pás, který je buď z textilních vláken (obr.13) nebo z papíru. Papírové podklady jsou vhodné pro jemné broušení a leštění, textilní podklady snesou větší přitlačné síly, proto jsou vhodné pro klasické a hrubé broušení. Dalšími vrstvami jsou brusná zrna a pojivo. Brusné zrno je na pás nanášeno elektrostatickým nábojem (antistatické nanášení), díky tomu vzniká možnost regulace orientace nanesených zrn. Zrno je nejčastěji zalito pryskyřicí. Brusných zrn a pojiv je několik druhů.



Obrázek 13) Brusný pás PO3 150x2000 mm [20]

Charakteristikou brusiva je jeho zrnitost. Zrnitost udává informaci o velikosti brusných zrn zalitých v matrici pásu. Zrnitost je dána stupnicí instituce FEPA (Federace Evropských producentů abrasiv), čím nižší číslo tím je pás hrubší a naopak. Pro běžné broušení se pohybuje v rozmezí 20 až 200, Vyšší hodnoty jsou pro jemné broušení až leštění [19].

Základní brusiva [18]:

- a) Umělý korund – oxid hlinitý (Al_2O_3)
 - Jedná se o nejrozšířenější brusný materiál. Je vhodný k broušení takřka všech kovových materiálů. Pro měkké materiály má vysokou efektivitu broušení. Díky nízké přitlačné síle je vhodný pro ruční broušení.
- b) Korund – Zirkon
 - Korundové brusivo je tvrdší než umělý korund, je vhodný k broušení ušlechtilých ocelí a barevných kovů. Toto brusivo není vhodné pro ruční broušení.
- c) Karbid Křemíku (SiC)
 - Karbid Křemíku tvoří velmi tvrdou a drsnou strukturu povrchu, z tohoto důvodu je vhodný k broušení houževnatých a velmi tvrdých materiálů.

Základní pojiva:

- a) Pryskyřicová pojiva
 - Nejběžnější druh pojiva pro brusné pásy. Vhodný pro broušení všech kovů.
- b) Voděodolná pojiva
 - Tyto pojiva jsou určena pro broušení pod vodou, tedy s chlazením. Jsou vhodná pro broušení v keramickém a sklářském průmyslu.

Pojiv i brusiv existuje celá řada, zde jsou zmíněny pouze zástupci těchto skupin. Brusky mohou být použity i pro leštění. Úprava stroje je provedena výměnou brusného pásu a změnou napínací síly.

Faktory snižující životnost pásu jsou velká napínací síla, nevhodná řezná rychlost, malý poloměr otáčení, velká přitlačná síla. Nejzásadnější vliv na životnost má řezná rychlost, vhodné řezné rychlosti pro různé materiály jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1) Řezné rychlosti broušených materiálů [20]

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, bronz	30 - 45
Hliník (aluminium)	30 - 45

2.4.5 Napínání pásu

Správná napínací síla pásu je velmi důležitá. Příliš velké napnutí pásu způsobuje jeho rychlejší prodloužení, poškození vazeb vláken a vydrolení brusných zrn. Příliš malá síla může způsobit protočení hnací kladky (zatavení pásu při přitlačení obrobku) nebo mechanicky poškodit pás. Mechanické poškození má velký vliv na kvalitu brousícího procesu a životnost pásu. Brusný pás by se při dodržení správného použití neměl během provozu nikdy přetrhnout.

Napínací síla je vyvozena buď mechanicky (pružina) nebo pneumaticky (pneumatický válec), hydraulické napínání se nepoužívá.

Mechanické napínání využívá energie pružiny. Dosedací plochy pružiny jsou stavitelné, aby se napínací síla dala upravit pro případ prodloužení pásu nebo výměny pásu s požadavkem jiné napínací síly. Využívá se momentové rovnováhy, aby obsluha při výměně pásu nemusela na ovládací páku působit příliš velkou silou, nevýhodou je nutná aretace polohy napínacího ramene při výměně pásu. Tento způsob napínání je vhodný pro dílenskou brusku.

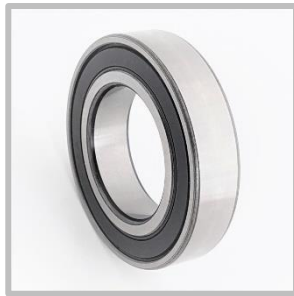
Pneumatické napínání je užíváno v automatizovaných provozech. Na úkor vyšších pořizovacích nákladů je napínání snáze regulovatelné, pohodlnější a přesnější. Při výměně pásu stačí odpuštit vzduch z válce a je možné pás vyměnit bez nutnosti aretace ramene.

2.4.6 Ložiska

Ložiska umožňují rotační pohyb tělesa vůči jinému tělesu, ve kterém je těleso uloženo. Ložiska se dělí na dvě základní skupiny, kluzná a valivá. U pásových brusek se vyskytují pouze ložiska valivá, která se skládají z vnějšího kroužku, vnitřního kroužku, valivých elementů, klece a případně krytování. Podle tvaru valivých elementů se valivá ložiska dělí na kuličková, válečková, soudečkovitá, kuželíková a ložiska bez vnitřního kroužku (jehličkovitá).

Při konstrukci pásových brusek se nejčastěji setkáme s ložisky kuličkovými radiálními. Je to nepoužívanější skupina valivých ložisek. Vyrábí se mnoho řad, buď krytovaných z obou stran s doživotní náplní plastického maziva (obr.14), krytovaných z jedné strany nebo nekrytovaných. Doporučuje se používat přednostní řady ložisek kvůli výměně a dostupnosti ložisek.

Brusky jsou instalovány do znečištěných pracovišť, z broušeného povrchu odletují žhavé třísky. Velká část třísek je odsávána. Musí být zabráněno zanesení nečistot do ložiska, v případě průniku nečistoty hrozí špatná funkce ložiska, v horším případě jeho poškození. Užitím krytovaných ložisek je zabráněno vniknutí nečistoty do pracovního prostoru ložiska.



Obrázek 14) Oboustranně krytované ložisko Výrobce: ZKL [21]

2.4.7 Odsávání třísek

Při broušení vzniká velké množství odpadu v podobě třísek. Platí zákon zachování objemu, tedy objem odebraného materiálu je roven objemu třísek, avšak třísky jsou neuspořádané a dělené, je mezi nimi vzduch. Objem třísek je mnohem větší než objem odebraného materiálu. Při broušení vznikají škodlivé plyny, které je též třeba odsát společně s třískami.

Odsávání probíhá vytvořením podtlaku v okolí broušeného prostoru. Vytvořený podtlak nasává třísky i plyny do odsávací hubice a pracoviště udržuje v relativní čistotě. Třísky jsou odváděny odsávacím potrubím do vzduchového odsávače, kde proudí společně se vzduchem přes plechový labyrint. Díky své hmotnosti třísky narazí do plechů, ztratí svou kinetickou energii a padají do sběrače třísek. Podtlak je vyvozován ventilátorem, který je poháněn elektromotorem. Ventilátor nasává vzduch skrze odsávací ústrojí, v němž vytváří podtlak. Zařízení na odsávání třísek jsou velká a jsou vhodná pro odsávání více pracovišť najednou.

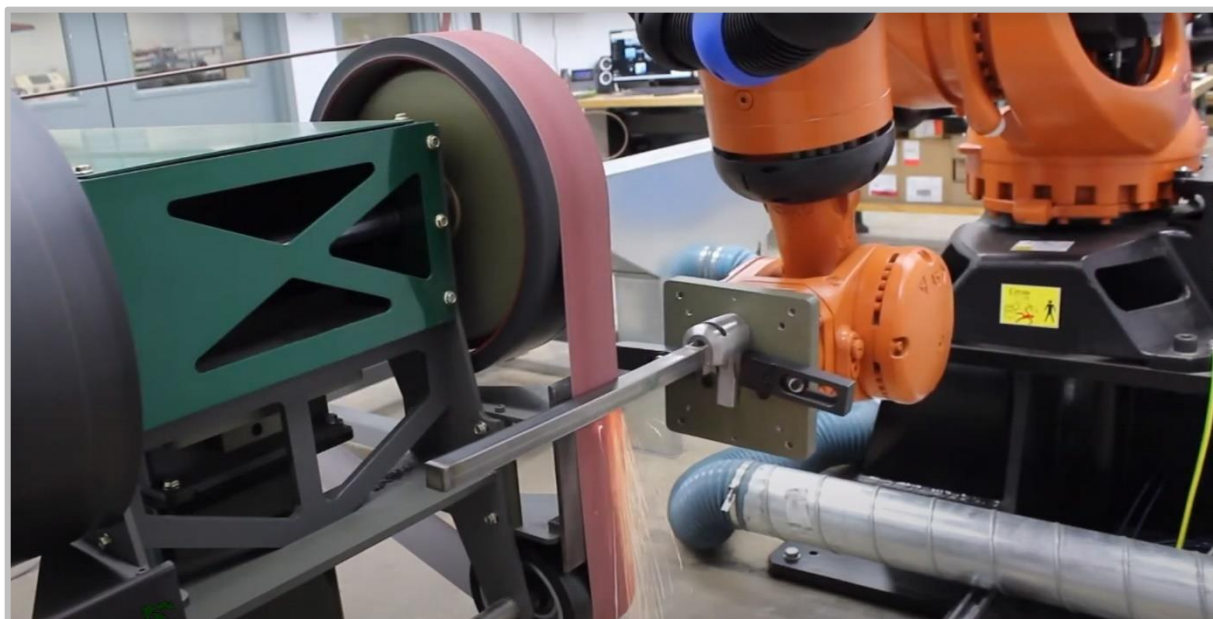
2.4.8 Robotické broušení

Aplikace robotů do běžného provozu dostává v posledních několika letech čím dál více pozornosti nejen při broušení. Je to zejména díky neustále zvyšujícím se nákladům na pracovníky a jejich nedostatek. Broušení je fyzicky náročná práce nevyžadující vysokou kvalifikaci, ideální místo pro implementaci robotů.

Výhody robotů jsou: nahrazení fyzicky náročné práce, vyšší produktivita oproti ručnímu broušení, rychlá ekonomická návratnost, stejná kvalita práce a opakovatelnost opracování. Velkou výhodou je optimalizace režného procesu na základě aktuálně získávaných informací při broušení. [22]

Robotické broušení se dělí na 2 způsoby. První způsob spočívá v pohybu broušené součásti robotem vůči brusnému pásu. Druhý způsob spočívá v nahrazení člověka i brusky. Robot má upnut poháněný brousící nástroj.

Statické broušení spočívá v nahrazení člověka robotem, robot zde zastává pouze funkci manipulátoru (obr.15). Proces začíná předáním obrobku z předchozí operace. Předání obrobku může být přímo z obráběcího centra nebo z dopravníku mezi jednotlivými stanovišti. Následuje upnutí obrobku do čelistí robotu, samotné broušení součásti a předání součásti na další pracoviště. Broušení může také probíhat přivezením bedny s díly k broušení do robotického pracoviště kde si robot sám bere díly a dochází k jejich obrobení. Automatické upínání součástí je možné díky kamerovému vidění, kdy je robot schopen poznat polohu dílu a uchopit jej. Tento způsob broušení je vhodný pro malé a lehké díly, broušení probíhá přiložením dílu k pásu.



Obrázek 15) Statické robotické broušení do volného pásu [22]

Dynamické broušení funguje na principu nahrazení jak člověka, tak i brusky robotem. Robot má upnut poháněný brousící nástroj na konci svého ramene. Nástroj má vlastní pohonnou soustavu, ke které je dovedena potřebná kabeláž (elektřina a pneumatika). Nástrojů je celá řada v různých specifikacích podle potřeby zákazníka. Nejčastěji se setkáme se dvěma druhy nástrojů buďto rotačními brusnými vyměnitelnými kotouči nebo s pásovými brusnými hlavami fungujícími na principu pásové brusky. Tento způsob broušení je vhodný pro sériovou výrobu velkých těžkých dílů. Oblast použití je v automobilovém průmyslu (broušení karosérie aut), zemědělském průmyslu (broušení velkých svařenců), slévárenském průmyslu (broušení velkých odlívaných frém).

Rotační broušení spočívá v upnutí brousící hlavy k robotu (obr.16). Brousící hlava se skládá ze dvou celků. Větší celek je nehybně připevněn k robotu a má v sobě měřící zařízení, které snímá přítlačnou sílu (tento způsob měření přítlaků se jmenuje aktivní měření) a posun pohyblivé části nástroje. Pohyblivá část nástroje je posuvně připevněna k nehybné části, má v sobě ukrytý pohon nástroje, upínací zařízení (kuželové) které slouží k upnutí nástroje a prvky sloužící k řízení velikosti přítlaku. Rotační brusná hlava je ideální k broušení tvarově složitých prvků, a součástí s velkým množstvím přechodů.



Obrázek 16) Rotační brousící hlava s aktivním odměřováním [22]

Pásová brousící hlava je zmenšeným modelem klasické pásové brusky (obr.17). Výhodou oproti klasické brusce je možnost regulace řezné rychlosti a volba pracovní pozice, které se u klasických pásových brusek dosahuje podstatně hůř. Hlava umožňuje tři typy broušení: přes přítlačný válec, rovinné broušení plochou s přítlakem a volné broušení pásem bez podpory. [22] Pracovní poloha je nastavena rotací nástroje kolem osy příruby robotu. Hlava se hodí pro broušení větších rovinných dílů a trubek.



Obrázek 17) Pásová brousící hlava [22]

Velkou výhodou při robotickém broušení je možnost výměny nástroje. V případě broušení tvarově náročných prvků robot používá rotační brusnou hlavu a pro broušení větších rovinných ploch hlavu pásovou. Příkladem může být broušení rámu podvozku nákladního automobilu. Vnější plochy jsou lehce přístupné velké a rovinné, vhodné pro pásovou hlavu. Prostory uvnitř rámu jsou často tvarově náročné, těžko přístupné, vhodné pro broušení rotační hlavou.

Implementací robotů do výrobního procesu je zvyšována produktivita, přesnost a opakovatelnost. Nejvýraznější z těchto aspektů je produktivita. Produktivity je docíleno zamezením veškerých prostojů strojů a chyb, které mohou vzniknout fyzickou obsluhou. Ideální proces je od vstupu materiálu až po jeho výstup plně automatizovaný, nezasahuje do něj člověk.

Tento typ automatizace je vhodný pro velkosériovou výrobu, díky snižujícím se pořizovacím nákladům a zvyšujícím se nákladům na fyzické pracovníky jsou automatizovány provozy střední i malé. Záleží na míře a efektivitě automatizace.

Celý tento proces je řízen počítačem, softwarem, který propojuje a řídí veškeré procesy které jsou současně prováděny. Lidský faktor bude vždy nutný, nelze výrobní proces připravit na veškeré situace které mohou nastat, v takovém případě dochází k účasti osoby na procesu a jeho úpravě. Tyto situace mohou být způsobeny vstupním materiálem.

2.4.9 Bezpečnost provozu

Bezpečnost je nezbytnou součástí všech výrobních pracovišť. Musí být zabráněno všem možným způsobům kterými může dojít k poranění či usmrcení osoby. Norma ČSN EN ISO 12100 je celosvětová norma nařizující způsob zabezpečení pracoviště.

U robotického pracoviště je nutné zabránit přístupu osob do pracovního prostoru robota a brusky. Zamezení přístupu se prováděno dvěma cestami, mechanickým zahrazením prostoru nebo použitím elektronických prvků světelných závor a kamerových systémů (obr.18). Mechanické zahrazení probíhá výstavbou ochranné buňky pracovního prostoru. Nosná konstrukce je ukotvena do podlahy a vyplněna plexisklem nebo pletivem. Oky pletiva nesmí být protáhnout ruku. Vstupní dveře jsou jištěny elektrickými zámky s dvojitým zabezpečením. Elektronické prvky pracují na principu neobvyklého signálu (vstup osoby do pracoviště snímané kamerou, přerušení paprsku mezi světelnými závorami). U tohoto způsobu zabezpečení je důležité počítat s reakční dobou, doba, za kterou se robot zastaví od přerušení signálu.



Obrázek 18) Bezpečnostní kamerový snímač s nastavitelnou detekční oblastí Výrobce: SICK [23]

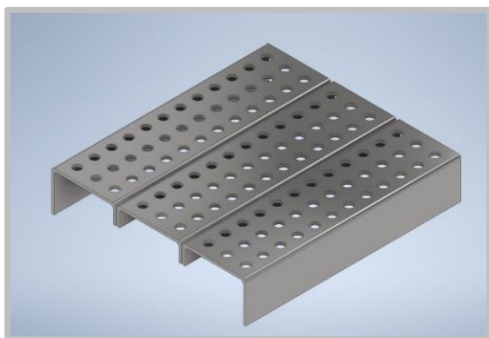
3 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

Při návrhu konstrukce pásové brusky je nutné vycházet ze zadaných parametrů a požadavků zákazníka, tj. změna pracovní polohy stroje a délka pásu. Dále je nutné zahrnout pracovní prostor pracoviště, tvar, velikost a materiál broušených dílů. Velmi důležitým parametrem je cyklový čas. Čas, za který musí být obrobek obroušen.

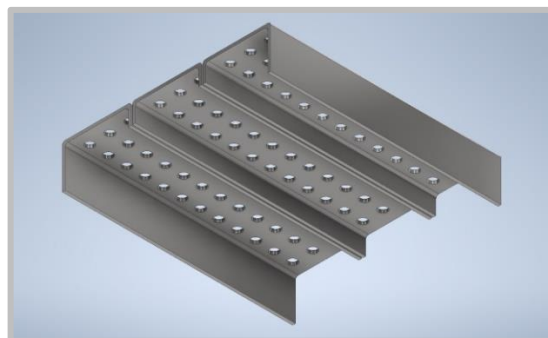
3.1 Popis typických dílů

Bruska je určena pro sériovou nepřetržitou výrobu v robotickém pracovišti. Broušené díly budou různých tvarů a rozměrů proto je důležité, aby bylo možné brusku přenastavit do jiné pracovní polohy při zachování efektivity výroby. Změna pracovní polohy brusky je důležitá pro minimalizování pohybu robota. Typické broušené díly jsou zobrazeny na obrázku 19 a 20.

První ukázkou je rošt svařený z ohýbaných plechových výpalků. Clem je obrousit ostré hrany a zarovnat plochu po svařování. Svary jsou ve stykových plochách plechů z horní a dolní strany. Délka roštu je 450 mm. Díl je vhodný k broušení o kontaktní kolo. Při broušení do volného pásu by při prvotním styku ostré hrany s pásem mohlo dojít k jeho poškození.



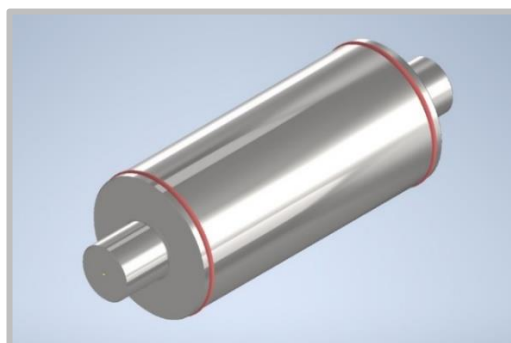
a)



b)

Obrázek 19) Typický díl pro broušení o kontaktní kolo a) Horní pohled b) Spodní pohled

Druhou ukázkou je buben rotačního drtiče, červeně jsou na obrázku 20 vyznačena místa svarů. Tyto svary je nutné obrousit. Pro tento díl je vhodné brousit do volného prostoru, protože se jedná o přístupnou válcovou plochu. Vzniklým přitlakem je broušena i hrana příruby válce, což je žádoucí.



Obrázek 20) Typický díl pro broušení do volného pásu

3.2 Varianty řešení

Dále je zde představeno několik zástupců pásových brusek, u kterých je komentována funkčnost a vhodnost pro dané zadání.



Obrázek 21) Pásová bruska ACE 86 Výrobce: Aceti Macchine [24]

Důležité parametry:

Výkon:	1,1 kW
Rozměr pásu:	50x1250 mm
Rychlost pásu:	30 m/s
Způsoby broušení:	broušení do volného pásu, broušení o kontaktní kolo
Hmotnost:	30 kg
Cena:	28 500 Kč

Bruska ACE 86 (obr 21) je vhodná pro drobné dílenské broušení. Malý výkon brusce nedovolí velké přítlačné síly. Motor je poháněn třífázovým střídavým proudem. Bruska nabízí možnost broušení do volného prostoru což zvyšuje univerzálnost a možnosti broušení. Rameno je zde statické, je připevněno k hřídeli motoru. Při výměně pásu je nutné odšroubovat část ochranného krytu.

Bruska je pro tyto potřeby velmi dobře koncepčně vyřešená. Nabízí potřebné možnosti broušení, při drobné konstrukční úpravě je možná změna polohy ramene a zároveň je relativně levná.



Obrázek 22) Pásová bruska H01P V2 Výrobce: HAIM [25]

Důležité parametry:

Výkon:	1,5 kW nebo 2,2 kW
Rozměr pásu:	50x2000 mm
Rychlost pásu:	10 – 30 m/s
Způsoby broušení:	broušení o podpěru, broušení do volného pásu
Hmotnost:	90 kg
Cena:	61 191,5 Kč

Výrobce HAIM vyrábí velmi kvalitní brusky (obr.22). Z robustní konstrukce je patrné, že je bruska určena pro velké přitlačné síly, dalším vodítkem je výkon motor. Bruska využívá pro změnu otáček frekvenčního měniče, to je velká výhoda, protože není potřeba velká řemenice. Dále je možné v určitém úhlu naklápět brousící rameno. Nevýhodou je nemožnost brousit o kontaktní kolo.

Pro konstrukci je zde inspirace v robustní konstrukci a výkonu motoru.

3.3 Vyhodnocení variant a volba základních parametrů

Výše uvedené brusky jsou vhodné do dílny a pro obsluhu člověkem. U obou brusek je nutné při výměně pásu demontovat část ochranného krytu. U navrhované brusky tato potřeba odpadá, bruska bude obsluhována robotem, krycí plechy zde nejsou potřeba.

Kvůli nepřetržitému provozu je žádoucí co nejvíce zamezit prostojům. Jeden z hlavních prostojů je při výměně brusného pásu, prostoji se dá zamezit použitím dlouhého brusného pásu.

Minimalizace času broušení, to znamená využít hraničních řezných rychlostí pro daný materiál, předpokládáme broušení ocelových dílů. Zde je dobré si uvědomit, že cena brusky v porovnání s cenou obráběcího centra, je velmi malá, proto je potřeba upravit podmínky broušení tak, aby proces nebyl delší než předchozí operace. Při nedodržení cyklového času je na zvažování zdvojení brousícího pracoviště.

S produktivitou je pevně spojen výkon, s výkonem řezné síly. Proto je zvolena silnější varianta motoru, díky níž je možné dosahovat velikých přitlačných sil.

Volené parametry důležité pro výpočty a konstrukci:

- Výkon motoru: $P = 2,2 \text{ kW}$
- Šířka pásu: $b = 50 \text{ mm}$

4 VÝPOČTOVÁ ČÁST

Tato kapitola se zabývá důležitými výpočty nezbytnými pro konstrukci a optimalizaci brusky. V předchozí kapitole byly zvoleny důležité vstupní parametry, od kterých se celý výpočet odvíjí. To je výkon a otáčky motoru, dále je zde uveden požadavek na rychlost pásu. Z těchto parametrů je možné spočítat průměr hnací řemenice. Dále je nutné zvolit geometrické uspořádání kladek. Ze zvolených geometrických rozměrů jsou spočteny síly v páse, potřebná napínací síla a síla pružiny. Další část výpočtu se zabývá výpočty trvanlivostí ložisek a pevnostním výpočtem hřídele kontaktního kola.

4.1 Výpočet průměru hnací řemenice

Pro výpočet průměru řemenice jsou zásadní parametry motoru. Motor je zvolený s ohledem na požadavek silového broušení, tedy více výkonný. Volený motor je z řady SIMOTICS od výrobce SIEMENS [14]. Označení motoru je SIEMENS SIMOTICS GP-90L-IMB3-2P. Jedná se o asynchronní motor, podle poslední dvojice znaků se dá vyčíst, že se jedná o motor dvoupólový, to znamená že otáčky magnetického statoru pole jsou shodné s frekvencí napětí v běžné síti. Zvýšením dvojic pólů je možné permanentně regulovat otáčky motoru. Dále je možné regulovat otáčky frekvenčním kterým je možné zvyšovat frekvenci napětí vstupujícím do motoru a tím přímo měnit otáčky motoru. V našem případě při základní konstrukci neuvažujeme změny otáček, avšak je dobré předvídat možnost změny broušených dílů a v rozvaděči vymezit prostor pro případnou instalaci měniče.

V prvním kroku je spočten průměr řemenice při volbě rychlosti pásu 35 m/s což je střed brousící rychlosti pro kovové materiály, tato rychlost byla zvolena na základě informací získaných ze zdroje [20]. Dalšími vstupy jsou parametry motoru:

- Otáčky motoru $n = 2\,890\ 1/min$
- Výkon motoru $P = 2,2\ kW$

Z rovnice (1) je vypočten průměr řemenice pro rychlost pásu 35 m/s:

$$D = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot n} = \frac{35 \cdot 60}{\pi \cdot 2890} = 0,231\ m = 231\ mm \quad (1)$$

Na základě výpočtu je zvolen průměr řemenice 240 mm.

$$D_{skut} = 240\ mm$$

Skutečnou rychlost v pásu dostaneme dosazením do rovnice (2):

$$v_{skut} = \frac{\pi \cdot D_{skut} \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,24 \cdot 2890}{60} = 36,32\ m/s \quad (2)$$

Tato rychlost je plně dostačující, avšak je nutné poznamenat, že při reálném provozu dochází ke skluzu pásu. Pro naše výpočty je tento model postačující.

4.2 Síly v páse

Dalšími důležitými veličinami jsou síly v páse. Pokud budou síly příliš velké dojde ke snížení životnosti pásu, v extrémním případě jeho přetržení. Naopak malá síla způsobí prokluz pásu což se negativně projeví na životnosti kladek, pásu, a především na kvalitě broušení. Síly v páse jsou ovlivněny úhlem opásání hnací řemenice, součinitelem tření mezi brusným pásem a povrchem řemenice. Aby v páse vznikly síly je nutná pás předeprnout. Pro výpočet síly předpětí a sil v páse je použito modelu řemenového převodu s plochým řemenem **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Pro výpočet sil v páse je nutné spočítat moment generovaný elektromotorem, následně jsou spočteny síly při broušení. Jmenovitá, pro běžný provoz a maximální, pro krajní případ, který může nastat, než dojde k přetížení motoru, při tomto zatížení může motor pracovat pouze krátkodobě.

Z rovnice (3) je spočten jmenovitý kroutící moment [26]:

$$M = \frac{9,55 \cdot P \cdot 1000}{n} = \frac{9,55 \cdot 2,2 \cdot 1000}{2890} = 7,27 N \cdot m \quad (3)$$

Dále je nutné spočítat maximální krátkodobě generovaný kroutící moment. Tento moment vzniká při zvýšení skluzu motoru, zmenšování otáček motoru při zvyšující se zátěži. Momentová charakteristika motoru (kap 2.4.1) znázorňuje pracovní oblast motoru ze které se stanoví poměr jmenovitého a maximálního kroutícího moment. Tento poměr nemá žádné speciální označení. Pro námi volený motor je hodnota poměru 2,5. Z rovnice (4) je spočten maximální kroutící moment:

$$M_{max} = 2,5 \cdot M = 2,5 \cdot 7,27 = 18,17 N \cdot m \quad (4)$$

Nyní se přesouváme k výpočtu sil, které je motor schopný vygenerovat na obvodu řemenice. Zároveň je hodnota této síly rovna složce síly přítlaku. Jmenovitá obvodová síla je spočtena z rovnice (5):

$$F = \frac{2 \cdot M}{D_{skut}} = \frac{2 \cdot 7,27}{0,24} = 60,58 N \quad (5)$$

Maximální obvodová síla je spočtena z rovnice (6):

$$F_B = \frac{2 \cdot M_{max}}{D_{skut}} = \frac{2 \cdot 18,17}{0,24} = 151,42 N \quad (6)$$

Výše uvedené výpočty řeší pohonnou soustavu. Následující výpočty řeší silové účinky motoru přenesené na pás. Proto abychom mohli výpočet provést je nutné znát další předpoklady vycházející z návrhu a těmi jsou:

- Úhel opásání hnací řemenice $\beta = 145^\circ = 2,531 \text{ rad}$
- Součinitel tření ocel – textilní vlákno $f = 0,3$

Proto aby mohlo dojít k přenosu kroutícího momentu z řemenice na pás, musí být v páse vyvinuto určité předpětí. Předpětí se získá napnutím pásu tak aby v něm vznikly vnitřní síly. Síla předpětí se vyvozuje za klidu stroje, pro tento stav jsou odvozeny následující rovnice (7–9) [2]. Předpětí se provádí vtlačení jedné z kladek do dráhy pásu. Síla předpětí je součástí obou větví pásu. Síla předpětí je spočtena z rovnice (7):

$$F_u = \frac{M_{max}}{D_{skut}} \cdot \frac{e^{\beta \cdot f} + 1}{e^{\beta \cdot f} - 1} = \frac{18,17}{0,24} \cdot \frac{e^{2,531 \cdot 0,3} + 1}{e^{2,531 \cdot 0,3} - 1} = 208,91 \text{ N} \quad (7)$$

Dalším krokem je výpočet síly v napnuté větvi pásu (8):

$$F_1 = F_u \cdot \frac{2 \cdot e^{\beta \cdot f}}{e^{\beta \cdot f} + 1} = 208,91 \cdot \frac{2 \cdot e^{2,531 \cdot 0,3}}{e^{2,531 \cdot 0,3} + 1} = 284,62 \text{ N} \quad (8)$$

Síla v ochablé větvi pásu se vypočítá z rovnice (9):

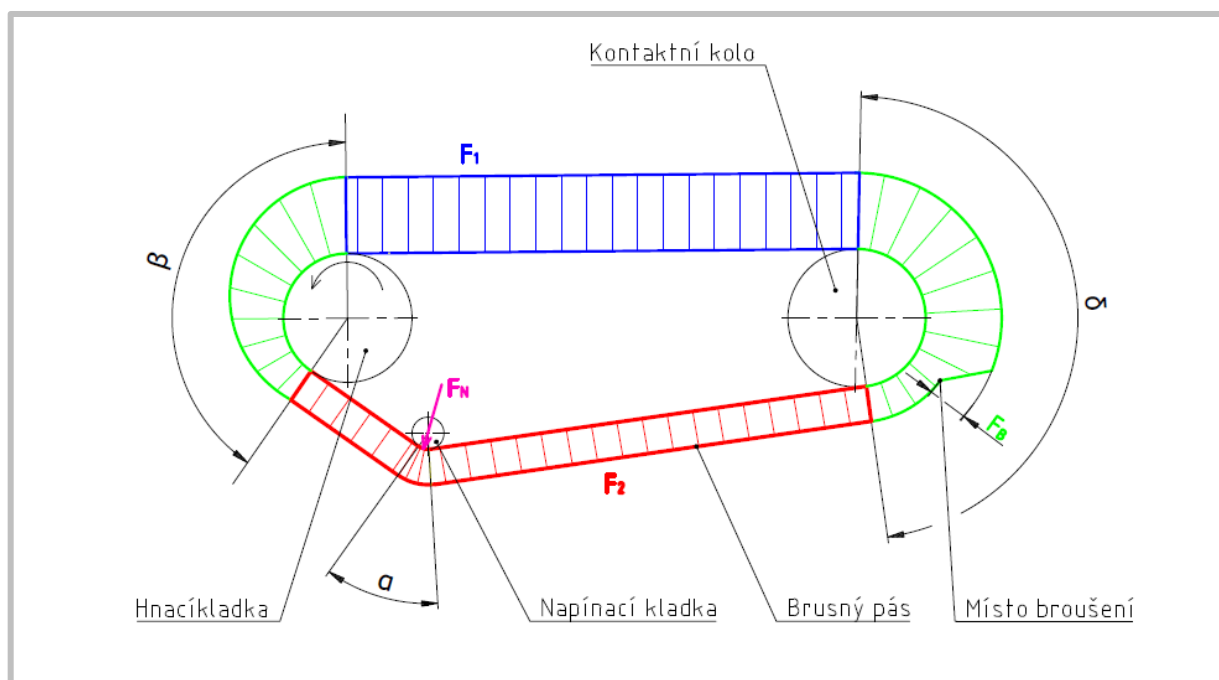
$$F_2 = F_u \cdot \frac{2}{e^{\beta \cdot f} + 1} = 208,91 \cdot \frac{2}{e^{2,531 \cdot 0,3} + 1} = 133,20 \text{ N} \quad (9)$$

Nyní ověříme platnost těchto vztahů. Rozdíl sil v páse musí být roven maximální obvodové síle. Kontrolní výpočet je proveden v rovnici (10):

$$F_B = F_1 - F_2 = 284,62 - 133,20 = 151,42 \text{ N} \quad (10)$$

Tímto byla potvrzena platnost použitých vztahů. Zároveň je nutné podotknout že se dopouštíme chyby neuvažováním odstředivých sil. Odstředivá síla závisí na rychlosti pásu, poloměru ohybu a délkové hustotě vlákna, právě díky malé délkové hustotě je chyba minimální.

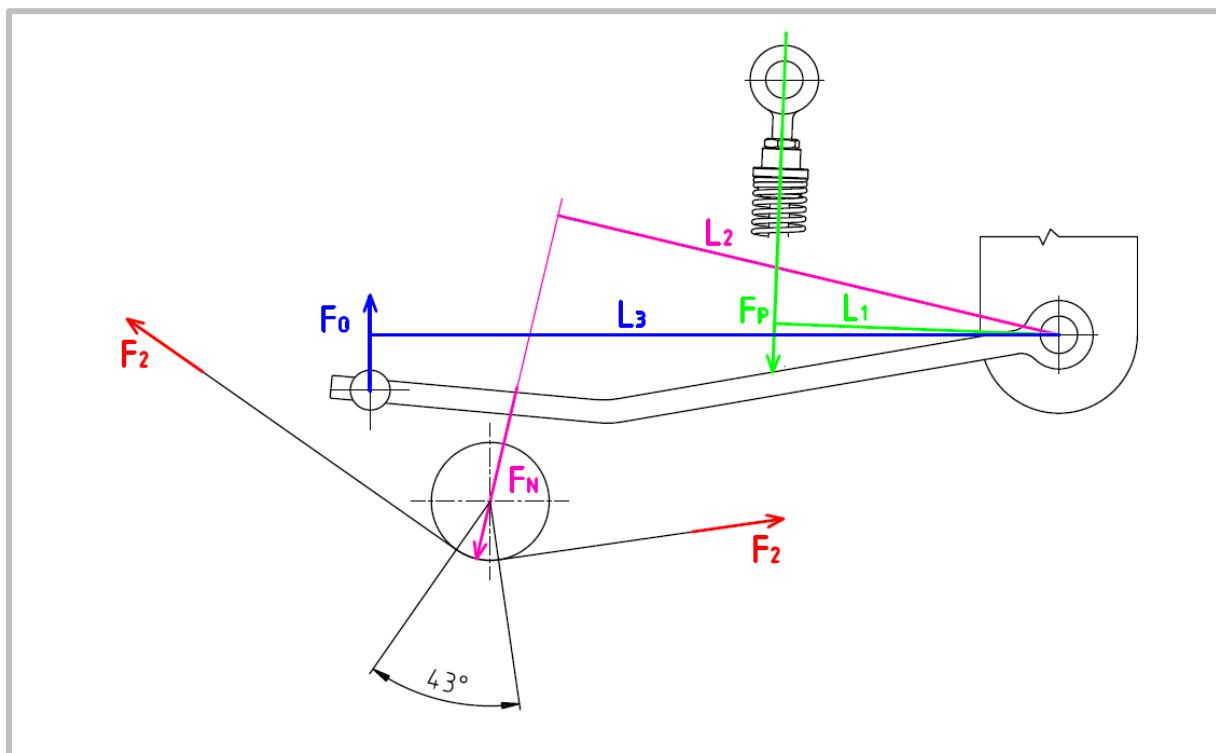
Na obrázku 23 je vykreslen průběh sil podél pásu. Nutno podotknout že je při výpočtech vycházeno z maximálního zatížení motoru ke kterému při běžném provozu nedojde. Tato situace ovšem může nastat, a proto je třeba na ní stroj dimenzovat.



Obrázek 23) Průběh sil podél pásu

Dalším krokem je výpočet normálové síly působící na pás, síly v pružině a ovládací síly. Aby bylo možné výpočet provést je nutné znát geometrii ramene (obr 24). Velikost normálové síly je počítána pro maximální výkon motoru tak aby nedošlo k prokluzu pásu, větší normálová síla zbytečně zatěžuje pás. Znázorněnými geometrickými parametry jsou:

- Úhel opásání napínací kladky $\alpha = 43^\circ$
- Rameno páky síly od pružiny $L_1 = 148 \text{ mm}$
- Rameno působíště normálové síly $L_2 = 272 \text{ mm}$
- Rameno působíště ovládací síly $L_3 = 364 \text{ mm}$



Obrázek 24) Znázornění sil a jejich nejkratší vzdálenost k ose rotace na napínacím rameni

Síla předpětí F_u je složkou síly F_2 , z tohoto vztahu a geometrie napínací kladky je možné spočítat normálovou sílu rovnice (11):

$$F_N = F_u \cdot \sin \frac{\beta}{2} = 208,91 \cdot \sin(21,5^\circ) = 76,57 \text{ N} \quad (11)$$

Normálová síla F_N působí v ose napínací kladky. Normálová síla je však vyvozována pružinou a síla od pružiny F_p působí v místě průniku osy pružiny s napínacím ramenem. Zároveň je zde použit pákový mechanismus, který slouží ke zvětšení nebo zmenšení síly v závislosti na délce ramene. Kvůli uchycení pružiny k rameni byla zvolena tato konfigurace. Síla od pružiny je spočtena z rovnice (12)

$$F_p = \frac{F_N \cdot L_2}{L_1} = \frac{76,57 \cdot 272}{148} = 140,72 \text{ N} \quad (12)$$

Síla, kterou pružina vyvíjí je reálně o něco větší, než je zde spočtená. Pro naše účely je tato síla postačující. Na základě tohoto výpočtu je volena pružina od výrobce SODEMANN s označením 13 130 [29]. Její parametry jsou následující:

- Průměr drátu 2,5 mm
- Délka bez zatížení 240 mm
- Délka při maximálním zatížení 70,8 mm
- Maximální síla při zatížení 233,4 N

Při volbě pružiny je důležité mít na paměti, že se pás prodlužuje a je možné pás měnit pro jiný typ broušení, s typem broušení se mění i síly v páse. Z těchto důvodů je lepší mít pružinu spíše delší a stavitelnou tak aby se vždy zajistili optimální brousící podmínky.

V další rovnici (13) je na stejném principu spočtena síla ovládací. Výměna pásu probíhá stlačením pružiny pomocí pohybu ramene, následné aretaci ramene, výměnou pásu, nadzvednutím ramene, odjištěním ramene a spuštěním napínacího ramene. Síla potřebná pro stlačení je vyvozována člověkem, tedy musí být dosažitelné tuto sílu vyvinout. Čím více je pružina stlačována, tím větší klade odpor a roste síla kterou působí na rameno. Ve výpočtu pro stlačení pružiny počítáme s teoretickou maximální silou, kterou je pružina schopna vyvinout. V rovnici (13) je spočtena maximální ovládací síla:

$$F_O = \frac{F_{Pmax} \cdot L_1}{L_3} = \frac{233,4 \cdot 148}{364} = 94,89 \text{ N} \quad (13)$$

Tato síla je vyhovující.

Na hodnoty zde vypočtených parametrů byla bruska zkonstruována. Důležité je zmínit, že je výpočet dimenzovaný pro mezní stav, který může nastat.

4.3 Kontrolní výpočet životnosti ložisek

Další výpočetní blok se věnuje životnosti ložisek. Životnost ložisek má zásadní vliv na celkovou životnost stroje. Při zadření ložiska může dojít k masivnímu poškození stroje, je nutné ložiska dimenzovat na stanovenou životnost. Životnost stroje se předpokládá 5 let v nepřetržitém provozu tj. 306 600 hodin.

V sestavě máme 2 typy ložisek. Jeden typ pro uložení kontaktního kola a druhý pro uložení napínací kladky. Výpočet probíhá pro oba typy ložisek stejně. Síly z pásu se přenášejí na ložiska. Díky rozdílu průměrů kladek jsou různé otáčky i silové poměry, proto je nutné zkontrolovat oba typy ložisek.

První kontrolní výpočet je věnován ložiskům na kontaktním kole. Pro výpočet je nutné rozložit síly ve spodní části větve do směrů zvoleného souřadného systému. Pro složitost problematiky je tento krok přeskočen a do výpočtu vstupují složky sil působící na hřídel ve zvoleném souřadném systému. Vstupními hodnotami jsou síly působící od pásu na kontaktní kolo ve dvou na sebe kolmých směrech.

- Síla působící ve svislém směru v ose kola $F_{KRY} = 19,02 \text{ N}$
- Síla působící ve vodorovném směru v ose kola $F_{KRx} = 416,56 \text{ N}$

Tyto síly se rozkládají na obě ložiska souměrně. Velikost celkové síly působící na jedno ložisko je dána geometrickým součtem těchto sil. Z rovnice (14) je spočtena celková síla působící na jedno ložisko.

$$F_{KR} = \frac{\sqrt{F_{KRY}^2 + F_{KRX}^2}}{2} = \frac{\sqrt{19,02^2 + 416,56^2}}{2} = 208,47 \text{ N} \quad (14)$$

Z další rovnice (15) je vypočtena celková životnost ložisek v hodinách. Abychom tento výpočet mohli provést je nutné znát parametry ložisek. Výrobce ložisek je firma SKF, ložiska nesou označení 6006–2RS1 a jejich parametry jsou [30].

- Dynamická únosnost $C_K = 13\,800 \text{ N}$
- Koeficient tvaru valivých elementů $a = 3$

Z rovnice (15) je spočtena životnost ložisek **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

$$L_{10KR} = \left(\frac{C_K}{F_{KR}}\right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{13\,800}{208,47}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 2890} = 1\,672\,852 \text{ h} \quad (15)$$

Tato životnost je zbytečně velká, typ ložisek byl v návrhu ponechám kvůli konstrukčnímu řešení uložení kol.

Druhým kontrolovaným ložiskem je ložisko 61804–2Z s parametry [30]:

- Dynamická únosnost $C_N = 4\,030 \text{ N}$
- Koeficient tvaru valivých elementů $a = 3$

Dále je nutné znát průměr napínací kladky:

- Průměr napínací kladky $D_{nap} = 60 \text{ mm}$

Napínací váleček má jiné otáčky, než jakými se točí hnací řemenice a kontaktní kolo. Otáčky jsou spočteny z převodového poměru mezi hnací řemenicí a vodícím válečkem bez uvažování prokluzu. Otáčky jsou spočteny v rovnici (17):

$$n_N = \left(\frac{D_{skut}}{D_{nap}}\right) \cdot n = \left(\frac{240}{60}\right) \cdot 2890 = 11\,560 \text{ 1/min} \quad (16)$$

Výpočet pro životnost ložiska napínacího válečku je obdobně proveden v rovnici (17):

$$L_{10N} = \left(\frac{2 \cdot C_N}{F_N}\right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_N} = \left(\frac{4030}{76,57}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 11\,560} = 1\,681\,560 \text{ h} \quad (17)$$

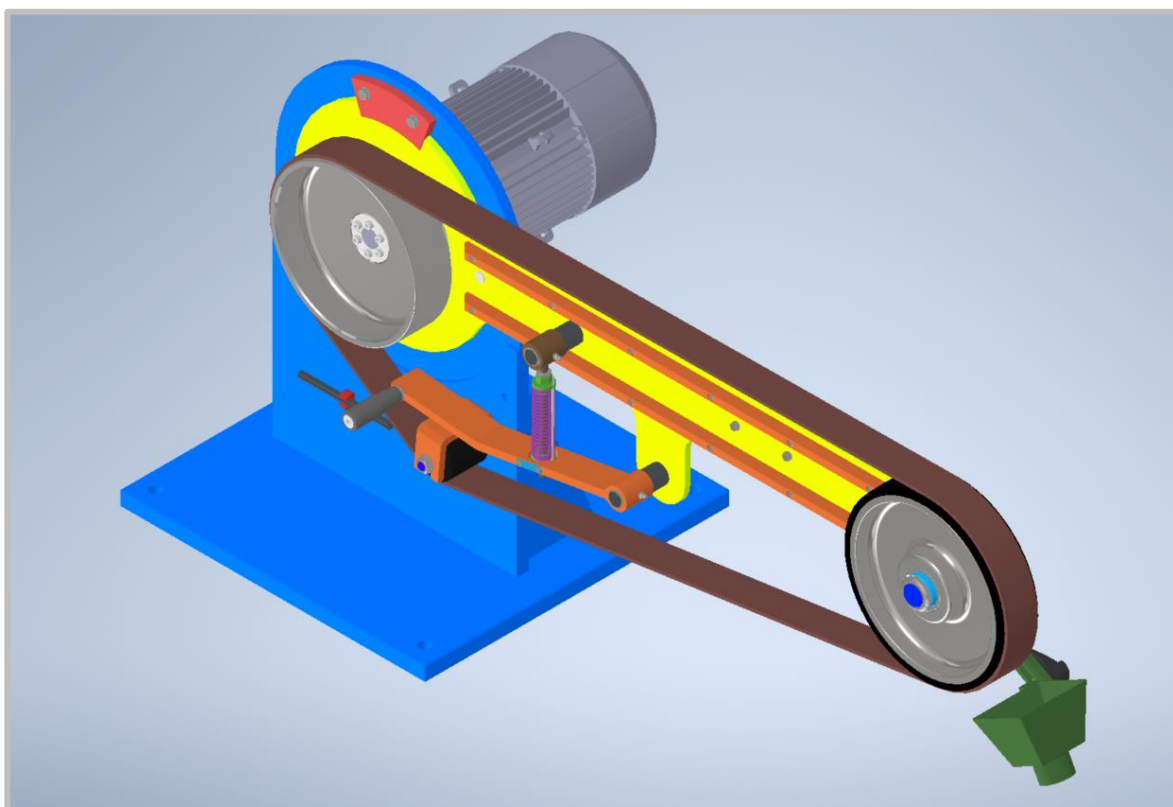
Životnost v obou případech vyšla velmi velká. Je to způsobeno nízkým zatížením. Konstrukce je volena bytelnější s ohledem na možné deformace a vibrace stroje k tomu jsou rozměrově uzpůsobeny i ložiska.

S ložisky je spojen i výpočet hřídele. Kontrolována byla hřídel kontaktního kola. Výpočet byl proveden podle únavové teorie [2]. Nejnebezpečnějším místem je osazení hřídele, kde je vyroben zápich pro montáž ložiska. Zápich funguje jako koncentrátor napětí. Nejnižší bezpečnost vyšla vzhledem k meznímu stavu únavy $k_U = 4,29$. K optimalizaci nedošlo z důvodu deformací hřídele a celkové tuhosti brusky.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

5.1 Celková sestava

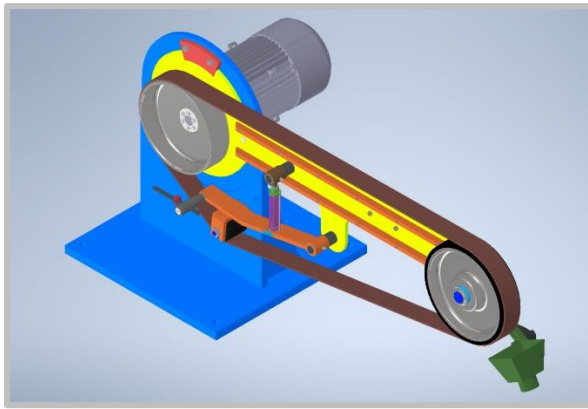
Při konstrukci brusky (obr.25) byl kladen důraz na možnost změny pracovní polohy, to se odráží na celé konstrukci. Základem je podstavec, který je přišroubovaný k svařenému stolu, který je ukotven do betonové podlahy nebo je podstavec kotven přímo do podlahy. Kotvení probíhá pomocí chemické kotvy a závitových tyčí. K podstavci je přišroubován motor, z druhé strany brousící rameno. Veškeré další technologie jsou věšeny na rameno právě z důvodu možnosti nastavitelnosti ramene. Nastavitelnost ramene je v rozmezí 0–45°.



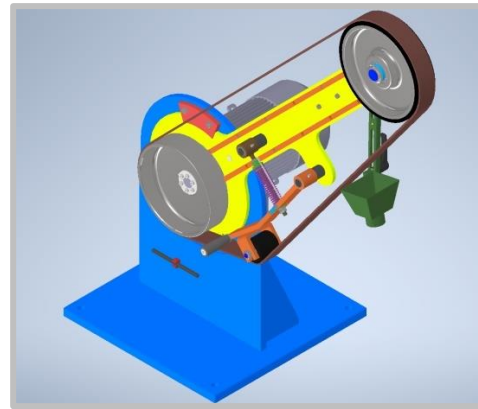
Obrázek 25) Pásová bruska

Nosná konstrukce se skládá ze svařeného podstavce a ramene, většina dílů jsou ocelové výpalky. Kvůli obavě prohnutí ramene bylo rameno vyztuženo obdélníkovými profily. Díky použití výpalků naroste celková hmotnost sestavy mnohem více než při použití dutých profilů. Profily mají menší váhu a lepší pevnostní vlastnosti. Důvodem zvolení výpalků je hmotnost, která přidá celkové tuhosti brusky a také levná výroba. Je nutné zmínit že se konstrukce z výpalků nehodí pro sériovou výrobu, důvodem je neopakovatelná přesnost výroby dílů.

Díky zvolené konfiguraci je možné měnit polohu brousícího ramene v rozmezí 0°–45° (obr 26). Při výrobě ramene bylo žádoucí vyhnout se tepelným úpravám povrchu, aby nedošlo k jeho deformaci a následnému vynucenému obrábění. Výroba ramene je velmi jednoduchá a díky tomu levná.



a)



b)

Obrázek 26) Pracovní polohy pásové brusky a) Ve vodorovné poloze b) V poloze naklonění ramene 45°

Uložení hnací řemenice na hřídeli motoru je realizováno svěrným pouzdrem FX 20. Svěrné pouzdro přenáší kroutící moment na základě silového působení [27]. Pouzdra přenesou velké kroutící momenty. Výhodou svěrných pouzder je jednoduchá montáž. Odpadá nutnost axiálního pojištění v porovnání s použitím pera. Pouzdra jsou samostředící, což je velkou výhodou, obzvláště v případě konstrukce brusky, kde je žádoucí eliminovat veškerou nevyváženost a nepřesnosti které mohou způsobovat vibrace. Svěrné pouzdro je zobrazeno na obrázku 27.



Obrázek 27) Svěrné pouzdro FX 20 Výrobce: HABERKORN [27]

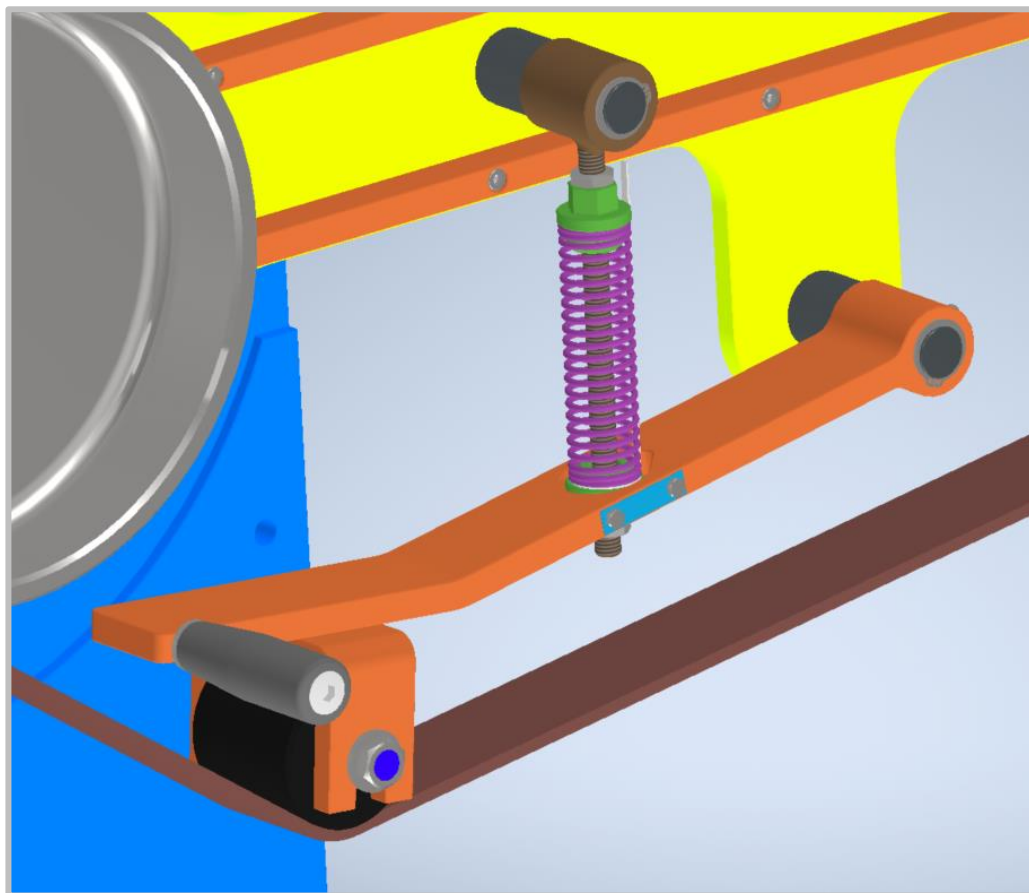
Montáž svěrného pouzdra probíhá vložení pouzdra do řemenice, následuje nasazení obou součástí na hřídel motoru, dorážení řemenice na osazení pouzdra. Následně se přiloží pravítko na hřídel motoru, tím na hraně pravítka vznikne pomyslná rovina. Řemenice s pouzdrem se dorazí k rovině a poté následuje utažení pouzdra. Tímto způsobem montáže dojde k jisté axiální nepřesnosti, tato nepřesnost je velmi malá a na chod stroje nemá vliv.

5.2 Kladky

Velmi důležitou součástí jsou kladky, ať se jedná o jakoukoli kladku je nutné, aby byla dynamicky vyvážená. Nevyváženost způsobí vibrace, to je nežádoucí efekt. V případě dosažení vlastní frekvence soustavy může dojít k rozvibrování brusky na úroveň viditelných deformací. Kmitání se dá zamezit vhodnou konstrukcí rámu, vyvážením všech pohybujících se členů soustavy a zamezením buzení vnějšího kmitání. V praxi se zamezuje vnějšímu kmitání usazením strojů na bukové klíny, klíny pohlcují vibrace a chvění, zároveň vytváří prostor mezi strojem a podlahou pro případnou manipulaci stroje.

5.3 Napínací mechanismus

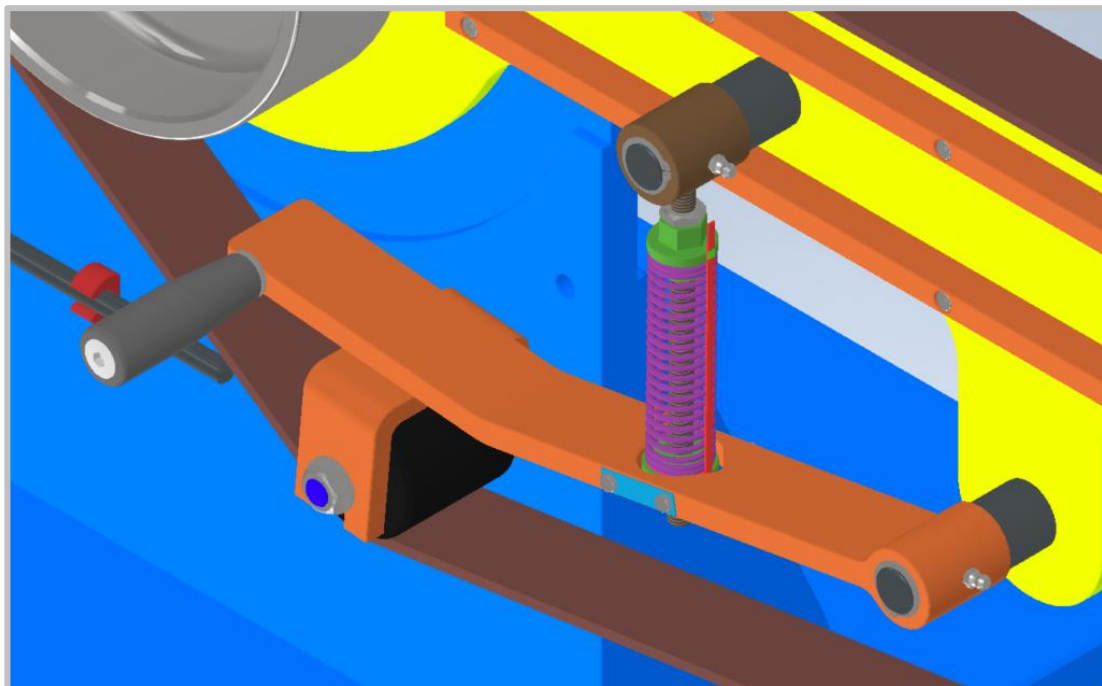
Napínací mechanismus je zde řešen kloubových mechanismem obr 28. Celá konstrukce je uchycena k rameni brusky. Hlavní rameno napínače je rotačně připevněno k rameni brusky. Na tomto rameni je zleva ovládací páka, držák napínací kladky a uložení pružiny. Držák napínací kladky je přivařen k rameni napínače. Nejvíce zajímavá část je rotační uložení spodního dorazu pružiny. Tento doraz zajišťuje kolmou dosedací plochu pružiny v každé poloze napínacího mechanismu. Je tak učiněno z důvodu vzepření pružiny. Pokud by nebyly dosedací plochy rovnoběžné, pružina by měla snahu vzpírat se, to by se promítlo na špatném silovém přenosu a nedostatečném napnutí pásů. Pod krycím plechem je díra, ve které je nalisovaný kalený kolík, který sahá až do části dorazu pružiny, kde je uložen s vůlí tak aby doraz mohl rotovat. Horní doraz pružiny je možné axiálně posouvat, zajištěn je kontramaticí. Na spodní části závitové tyče jsou umístěny dvě matice, které zajišťují případné vypadnutí páky z vodící tyče.



Obrázek 28) Napínací mechanismus

Výměna pásu probíhá manuálním nadzvednutím napínací páky, zasunutím aretační tyče do aretačního otvoru v podstavci, zapřením páky. Následuje výměna pásu, nadzvednutí páky, vysunutí aretační tyčky a spuštění ramene zpět na pás. Výměna pásu je prováděna z důvodu jeho opotřebení. Opotřebený pás je značně prodloužený oproti pásu novému. Proto je nutné seřídít sílu předpětí. K tomuto účelu byl pod pružinu přidán kontrolní plech, který znázorňuje ideální oblast předpětí pružiny (obr.29). Na kontrolním plechu je zelená oblast, pokud je horní čelo pružiny v zelené oblasti je pás optimálně napínán. Pás se prodlužuje i během svého provozu, je nutné provádět kontroly a seřizovat pružinu do optimální polohy.

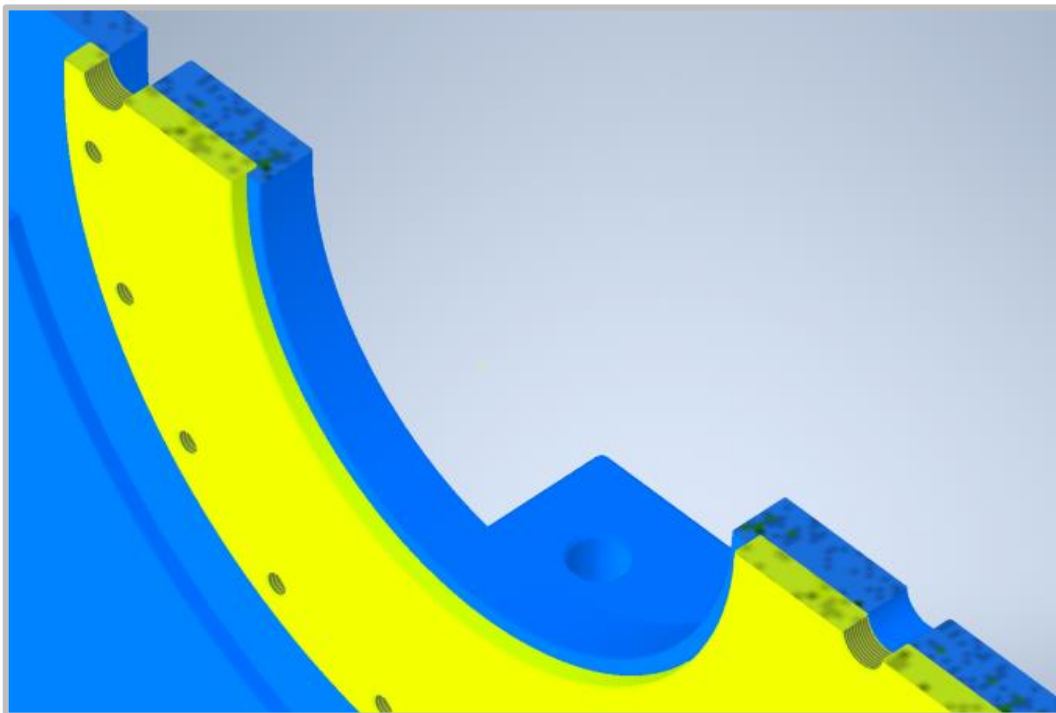
Bruska je určena pro robotické pracoviště a lze předpokládat její maximální vytížení. Proto je nutné mazat pohyblivé plochy, což jsou oka uložená na čepech. Mazání je prováděno vtlačáním maziva do spoje přes mazací hlavici. Po obvodu místa mazání je uvnitř ok vyfrézována drážka pro rozvod maziva po celé kluzné ploše.



Obrázek 29) Ukázka indikátoru ideálního nastavení pružiny

5.4 Uložení brousícího ramene

Rameno je rotačně uloženo na vyfrézovaném odsazení podstavce (obr.30). Styková plocha podstavce je obrobena společně s plochou pro připojení motoru. Změna polohy ramene se provádí povolením aretačních kliček, pootočením ramene a dotažením kliček. Pádu ramene z osazení je zabráněno přídržkou (obr 25).



Obrázek 30) Uložení brousícího ramene

5.5 Povrchová úprava, montáž a provoz stroje

Z důvodu životnosti brusky jsou všechny plochy mimo ploch funkčních opatřeny povrchovou úpravou. Kvůli vysoké mechanické odolnosti a dlouhé životnosti byla zvolena prášková barva komaxit [28]. Ochrana povrchu se provádí nanášením práškové barvy na povrch tělesa pomocí elektrostatického náboje. Barva se po nanášení vypéká v peci při 180°C.

Bruska je určena jako jednoúčelové zařízení pro vestavbu do obráběcí linky. Brousící zařízení není možno použít jako samostatné stojící pracoviště. Je zakázáno vstupu osoby do pracoviště při provozu linky.

Stroj se instaluje na pevnou podlahu, tak aby kolem zůstal volný prostor umožňující bezpečnou manipulaci. Bude umístěn podle potřeby zákazníka s nutností ukotvení.

Pro ustavení brousícího zařízení slouží kotvicí otvory pro ukotvení zařízení do betonové podlahy. Brousící zařízení je též možno instalovat na svařovaný rám (který není součástí tohoto zařízení) pomocí šroubových spojů. Svařovaný rám musí být rovněž kotven do betonové podlahy.

5.6 Cenová kalkulace

Poslední část je věnována cenové kalkulaci a porovnání s nabízenými produkty.

Cenově nejnákladnější položkou jsou vyráběné díly. Dvě třetiny ceny vyráběných dílů tvoří rameno a svařovaný podstavec. Důvodem je jejich velikost a náročnost na obrobení.

V tabulce 2 jsou vyčísleny ceny jednotlivých položek bez DPH.

Tabulka 2) Cenová kalkulace

	Cena [Kč]
Vyráběné díly	44 700
Nakupované díly	10 980
Montáž a seřízení	4 800
Povrchová úprava	2 400
Celkem	62 880

Cena brusek podobné kategorie je srovnatelná s cenou navržené pásové brusky, tudíž lze říci, že je bruska konkurenceschopná.

6 ZÁVĚR

Cílem této práce byl návrh a konstrukce pásové brusky pro robotické pracoviště s požadavkem změny pracovní polohy brusky.

První část této práce je věnována rozboru problematiky obecného a robotického broušení. Seznámení s pásovou bruskou a pochopení podstaty funkčnosti hlavních komponent brusky. Kooperaci výrobní linky s robotem a bruskou.

V druhé části byl proveden průzkum trhu, zhodnocení konstrukce vybraných konkurenčních brusek. Byla zhodnocena vhodnost brusek pro robotické pracoviště a na základě požadavků byl proveden návrh brusky s možností nastavení pracovní polohy brusky.

Třetí část je věnována potřebným výpočtům. Základem bylo určení rozměrů řemenice a výpočet síly pružiny. Na základě těchto výpočtů bylo provedeno konstrukční řešení.

Finální část pojednává o vybraných konstrukčních uzlech sestavy, ekonomické zhodnocení zkonstruované pásové brusky a shrnuje poznatky získané při psané této práci.

Použitými programy jsou Mathcad pro výpočet sil v páse, Autodesk Inventor Professional 2020 pro 3D model sestavy, AutoCad 2021 pro výkresovou dokumentaci a Microsoft Word pro tvorbu samotné práce.

Doporučením pro praxi je proškolení pracovníků o bezpečnosti práce v robotizovaných pracovištích.

Rozvoj projektu by mohl směřovat k automatizovanému nastavení pracovní polohy brusky na základě informace o tvaru broušené části nebo k automatizované výměně pásu na základě informace o jeho opotřebení.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHE a Richard Gordon BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
- [4] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2007. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 978-80-7196-345-5.
- [5] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
- [6] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN isbn80-7183-164-6.
- [7] Technologie broušení: Elektronická učebnice. *VOŠ, SOŠ A SOU KOPŘIVNICE* [online]. Kopřivnice: Renáta Bartoňová, 2012, 2012 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf
- [8] Druhy vyvažování. *ELUC* [online]. Olomouc: ELUC, 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1262>
- [9] Diamantový orovnávač. *E nářadí nástroje* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Enaradinastroje, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://www.enaradinastroje.cz/mnohozrny-diamantovy-orovnavac-format-2-5-karatu-stopka-mk1/?gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609ReXDtJ5oJNH7eXv8MRzlwCUQG8RIcUKFAitAmf30DyF7tVr8QW2geqxoCw8QQA_vD_BwE
- [10] Brusky Rovinné. *CEE - Machines* [online]. Beroun: CEE - Machines, 2016 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.cee-machines.com/stroj/16438/>
- [11] BOSCH pásová bruska. *Rucni-Naradi* [online]. Syrovice: Rucni-naradi.cz, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.rucni-naradi.cz/bosch-grb-14-ce-professional-pasova-bruska>
- [12] DENK, Marek. *Návrh přídatného brousícího vřetene pro univerzální soustruh*. Brno, 2017. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Jan Pavlík Ph. D.
- [13] Asynchronní stroje. *O energetice* [online]. Nové Dvory: oEnergetice, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni>
- [14] SIEMENS. *SIEMENS* [online]. Praha: SIEMENS, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/low-voltage-motors/simotics-gp.html>
- [15] ELEKTROTECHNIKA A ELEKTRONIKA. *VUT Brno* [online]. Brno: VUT Brno, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/327893/mod_resource/content/0/Asynchronn%C3%AAD%20motor_2.pdf

- [16] Rimmerak webpage. *Rimmerak webpage* [online]. Kralupy nad Vltavou: Rimmerak webpage, 2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://rimmerak.wgz.cz/rubriky/technika/pasova-bruska-nova-verze>
- [17] Kemper. *Kemper* [online]. Siegersbusch: Kemper, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.kemperkontakt.de/index.php?id=13&L=1>
- [18] *Automatizované technologické pracoviště broušení a leštění vodovodních armatur* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33555. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [19] *FEPA* [online]. Courbevoie, France: FEPA, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://fepa-abrasives.org/>
- [20] Pískač a syn a.s. *PÍSKAČ a syn* [online]. České Budějovice: Pískač, 2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.eshop.piskacasyn.cz/doporucene-rezne-rychlosti-pro-brusne-pasy/t-19>
- [21] Kuličkové ložisko. *INDUSTRIAL CZ* [online]. Praha: INDUSTRIAL CZ, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.industrial.cz/6208-2rs--kulickove-lozisko-oboustranne-utesnene-pryzovym-tesnenim-detail-1WR2000101.aspx?gclid=CjwKCAjwv_iEBhASEiwARoemvM-qq2SicN9seGj_zduy_ztcMP6S98GyWbvOWo2MsVd4WMaYFnX6ERoCyiIQAvD_BwE
- [22] *ROBOTIZOVANÉ BROUŠENÍ* [online]. Nymburk: Sp Tech, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://brousenirobotem.cz/>
- [23] *Bezpečností kamerový snímač* [online]. Varšava, Polsko: RS Company, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/>
- [24] *Průmyslové brusky a leštičky na kov* [online]. Brno: Bevel, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.kovobrusky.cz/>
- [25] *HAIM Vladimír Horák* [online]. Přerov: HAIM Vladimír Horák, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.pasovebrusky.com/>
- [26] Nabídka Elektromotorů značky SIEMENS. *Elektromotory Moravec s.r.o.* [online]. Hoštejn: Elektromotory Moravec, 2011 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.net/upload/>
- [27] *HABERKORN* [online]. Mokré Lazce: HABERKORN, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/>
- [28] Co je to komaxit? *InColour* [online]. Praha: InColour, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://www.incolour.cz/magazin-co-je-to-komaxit-detail-18>
- [29] *Sodemann Pružiny* [online]. Hiinerup, Dánsko: Sodemann Pružiny, 2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.sodemann-pruziny.cz/>
- [30] *SKF* [online]. Brno: SKF, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.skf.com/>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam použitých zkratk

FEPA	Federation of European producers of Abrasives (Evropská federace výrobců abrasiv)
3D	Three Dimensional (trojrozměrný)
např.	například
tzv.	takzvaně
tj.	to je
CNC	Computer Numerical Control (číslicově řízený počítač)

8.2 Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
v	Výpočtová rychlost pásu	m/s
v_{skut}	Skutečná rychlost pásu	m/s
D	Výpočtový průměr řemenice	m
D_{skut}	Skutečný průměr řemenice	m
n	Jmenovité otáčky elektromotoru	1/min
P	Jmenovitý výkon elektromotoru	kW
M	Jmenovitý kroutící moment	Nm
M_{max}	Maximální kroutící moment	Nm
F	Jmenovitá obvodová síla	N
F_B	Maximální obvodová síla	N
F_u	Síla předepjetí řemene	N
D_{skut}	Skutečný průměr řemenice	m
α	Úhel opásání napínací kladky	°
β	Úhel opásání hnací řemenice	°
f	Součinitel tření	–
F_1	Síla v napnuté části pásu	N
F_2	Síla v ochablé větvi pásu	N
F_2	Skutečná rychlost pásu	m/s
L_1	Rameno síly od pružiny	mm
L_2	Rameno působíště normálové síly	mm
L_3	Rameno působíště ovládací síly	mm
F_N	Normálová síla předepětí	N

F_P	Síla od pružiny	N
b	Šířka pásu	mm
F_{KRx}	Síla působící ve svislém směru v ose kola	N
F_{KRY}	Síla působící ve vodorovném směru v ose kola	N
F_{KR}	Velikost celkové síly působící na jedno ložisko	N
C_K	Dynamická únosnost ložiska na hřídeli kontaktního kola	N
C_N	Dynamická únosnost ložiska na hřídeli napínací kladky	N
a	Koeficient tvaru valivých elementů	–
L_{10KR}	Životnost ložiska na hřídeli kontaktního kola	h
L_{10n}	Životnost ložiska na hřídeli kontaktního kola	h
D_{nap}	Průměr napínací kladky	mm
N_n	Otáčky napínací kladky	1/minN
k_U	Bezpečnost hřídele na únavu v místě zápichu	–

8.3 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1) Řezné rychlosti broušených materiálů [20].....	27
Tabulka 2) Cenová Kalkulace	48

8.4 seznam použitých obrázků

Obrázek 1) Princip úběru materiálu broušením [7]	17
Obrázek 2) Statické vyvažování brousícího kotouče [8].....	18
Obrázek 3) Diamantový orovnávací přípravek [9].....	18
Obrázek 4) Rovinná bruska [10]	19
Obrázek 5) Ruční brusky a) Pásová trubko bruska b) Úhlová rotační bruska [11].....	20
Obrázek 6) Přídavné brusné vřeteno na soustruh [12]	20
Obrázek 7) Pásová bruska pro broušení dřevěných výrobků	21
Obrázek 8) Třífázový asynchronní motor SIMOTICS Výrobce: SIEMENS [14].....	22
Obrázek 9) Momentová charakteristika asynchronního motoru [15].....	23
Obrázek 10) Rámová konstrukce pásové brusky [16].....	23
Obrázek 11) Kontaktní kolo Kemper a) Kemper Elex b) Kemper Ela [17].....	25
Obrázek 12) Skladba brusného pásu [18].....	25
Obrázek 13) Brusný pás PO3 150x2000 mm [20]	26
Obrázek 14) Oboustranně krytované ložisko Výrobce: ZKL [21]	28
Obrázek 15) Statické robotické broušení do volného pásu [22].....	29
Obrázek 16) Rotační brousící hlava s aktivním odměřováním [22].....	30
Obrázek 17) Pásová brousící hlava [22].....	30
Obrázek 18) Bezpečnostní kamerový snímač s nastavitelnou detekční oblastí Výrobce: SICK [23].....	31
Obrázek 19) Typický díl pro broušení o kontaktní kolo a) Horní pohled b) Spodní pohled....	33
Obrázek 20) Typický díl pro broušení do volného pásu	33
Obrázek 21) Pásová bruska ACE 86 Výrobce: Aceti Macchine [24]	34

Obrázek 22) Pásová bruska H01P V2 Výrobce: HAIM [25]	35
Obrázek 23) Průběh sil podél pásu	39
Obrázek 24) Znázornění sil a jejich nejkratší vzdálenost k ose rotace na napínacím rameni..	40
Obrázek 25) Pásová bruska.....	43
Obrázek 26) Pracovní polohy pásové brusky a) Ve vodorovné poloze b) V poloze naklopení ramene 45°	44
Obrázek 27) Svěrné pouzdro FX 20 Výrobce: HABERKORN [27].....	44
Obrázek 28) Napínací mechanismus	45
Obrázek 29) Ukázka indikátoru ideálního nastavení pružiny	46
Obrázek 30) Uložení brousícího ramene	47

9 SEZNAM PŘÍLOH

Elektronická verze:

- Elektronická verze bakalářské práce
- 3D model sestavy (Autodesk Inventor Professional 2020)
- Výkres sestavy s kusovníkem
- Výkres podstavce s kusovníkem
- Výkres hřídele kontaktního kola
- Výkres hnací řemenice
- Výkres kontaktního kola