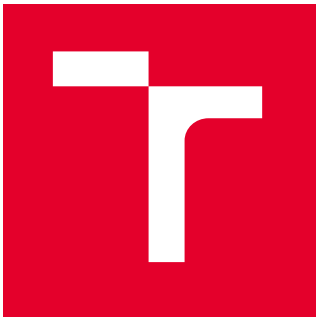
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022 Jan Polnický



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 — **Jan Polnický**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Jan Polnický**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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 ruční dílenské broušení dřeva, oceli, atd. Stanovení klíčových charakteristik budou součástí návrhu.

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, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem pásové brusky. První kapitola se zabývá rozborem technologie broušení a průzkumem dostupných pásových brusek na trhu. V další části je popsáno několik variant a vybrána nejvhodnější z nich. Ve vlastním návrhu je popsáno několik zásadních prvků důležitých pro provoz stroje. Poslední částí je o kontrole kritických součástí pomocí výpočtů.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a belt grinder. The first chapter deals with the analysis of grinding technology and research of available belt grinders on the market. In the next section, several variants are described and the most suitable one is selected. The design part describes some details important for the working of the machine. The last part is about checking critical parts by using calculations.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pásová bruska, obráběcí stroje, stojanová bruska, návrh stroje.

KEYWORDS

Belt grinder, machine tool, grinder stand, machine design.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLNICKÝ, J. *Návrh pásové brusky,* Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2022, 59 s., Vedoucí diplomové/bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi během uplynulých tří let na škole pomáhali a díky kterým jsem tam, kde jsem. Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D . za vedení a pomoc při tvorbě této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20.05.2022 ……

Polnický Jan

Obsah:

ABSTRAKT **5**
ABSTRACT **5**
KLÍČOVÁ SLOVA **5**
KEYWORDS **5**
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE **7**
PODĚKOVÁNÍ **9**
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ **11**
1 ÚVOD **15**
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ **16**
2.1 Broušení 16
2.1.1 Podstata 16
2.1.2 Nástroje 17
2.2 Pásové brusky 19
2.2.1 Typy pásových brusek 19
2.2.2 Pásy 23
2.2.3 Elektromotory 24
3 VARIANTY ŘEŠENÍ **25**
3.1 PÁSOVEC 75 25
3.2 BEMETAL BM 25 26
3.3 Výběr varianty 26
4 VLASTNÍ NÁVRH **27**
4.1 Pohon 27
4.2 Kladky 28
4.2.1 Hnací 28
4.2.2 Vodící 28
4.2.3 Napínací 29
4.3 Pás 29
4.4 Nosný prvek 30
4.5 Napínání 30
4.6 Obsluha 31
4.6.1 Práce 31
4.6.2 Výměna pásu 33
4.6.3 Pojistný mechanismus 34
4.7 Bezpečnost 35
4.7.1 Kryty, hrany a stabilita 35
4.7.2 Odsávání 36
4.8 Ergonomie 36
4.9 Výsledný návrh 37
37
5 VÝPOČTY **39**
5.1 Hnací kladka 39
5.2 Délka pásu 40
5.3 Síla přepětí pásu 41

5.4 Průběh sil na pásu 43
5.5 Napínací pružina 43
5.6 Ložiska na napínací kladce 46
5.7 Hřídel napínací kladky 49
6 ZÁVĚR 51
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 53
8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK 55
8.1 Seznam zkratek 55
8.2 Seznam tabulek 55
8.3 Seznam obrázků 55
8.4 Seznam symbolů 57
9 SEZNAM PŘÍLOH 59

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem stojanové pásové brusky. Tyto brusky se používají pro broušení „v ruce“, tj. bez použití upínacího přípravku, kdy jsou díky kontaktním plochám vhodnější než kotoučové brusky, na kterých je obtížné vyrobit rovné plochy. Mohou se použít pro broušení svarů, rovných zakulacených i tvarových ploch nebo na ostření nástrojů.

Při navrhování je nejdříve nutné nastudovat dostupnou literaturu, prozkoumat trh a seznámit se s dostupnými konstrukčním řešeními. Pomocí těchto poznatků se následně vybere nejvýhodnější varianta pro dané použití. Cílem je návrh univerzální brusky pro obrábění různých materiálů, s důrazem na bezpečnost, bezproblémový provoz, nízké výrobní náklady a snadnou obsluhu.

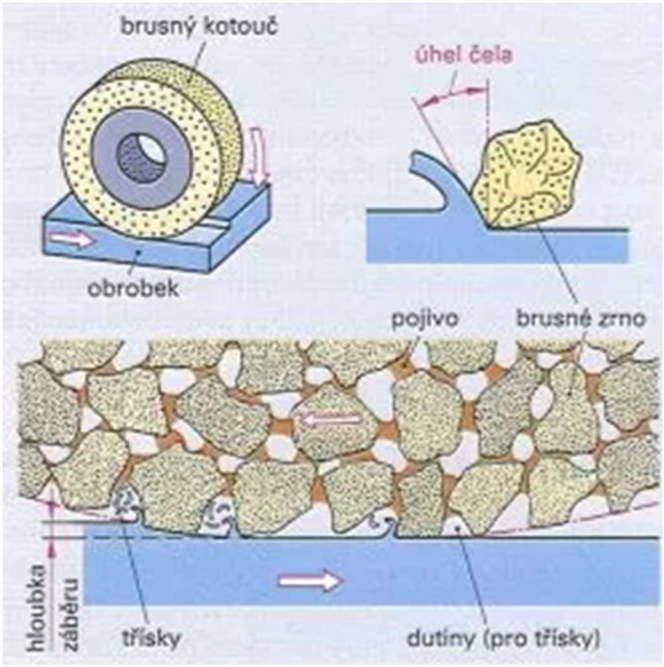
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Broušení

Broušení je v knize Strojírenská technologie 3 definováno jako: *„ Dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrny tvrdých materiálů spojených vhodným pojivem‘‘*[2], je možné brousit i volnými zrny, to je tzv. volné broušení.

2.1.1 Podstata

Současně je v záběru velké množství náhodně rozmístěných brusných zrn (břitů), které odebírají třísky malých průřezů. Zrna mají různou geometrii, ale zpravidla úhel čela γ_o je záporný (obr. 1) [2]. Základními parametry obrábění jsou řezná rychlost v_c, řezná síla F_C, posuv f, axiální posuv f_a, hloubka záběru a_e.



Obrázek 1 Geometrie nástroje [22]

2.1.2 Nástroje

Výhodou brusných nástrojů je,, samoostření‘‘, při otupení zrna vzroste řezná síla a zrno vypadne, tím se odkryjí nová ostrá zrna. Základními charakteristikami nástrojů je typ pojiva, druh brousícího materiálu, zrnitost, tvar, tvrdost, struktura, maximální obvodová rychlost.

Pojivo

Brusná zrna můžou být volně (brousící prášky, pasty), přichycené k pásům, nebo pomocí pojiva spojeny do tuhých těles (kotouče, kameny,…). Základní druhy pojiva jsou popsána i se značením v tab. 1. Vlastností pojiva je tvrdost, ta vyjadřuje odolnost proti vypadávání zrn. Měkká pojiva jsou vhodná pro obrábění tvrdých materiálů, tupá zrna snadno vypadnou a nahradí je nová. Tvrdá se používají na měkké materiály, výhodou je dlouhá životnost, dělení podle tvrdosti viz tab. 2.

B	Syntetické pryskyřice a další termosetová organická pojiva
BF	Zesílené pojivo ze syntetické pryskyřice
E	Šelakové pojivo
MG	Magnezitové pojivo
PL	Termoplastická pojiva
R	Pryžové pojivo
RF	Zesílené pryžové pojivo
V	Keramické pojivo

Tabulka 1 Typy pojiva [6]

A	B	C	D	Extrémně měkký
E	F	G	–	Velmi měkký
H	I	J	K	Měkký
L	M	N	O	Střední
P	Q	R	S	Tvrdý
T	U	V	W	Velmi tvrdý
X	Y	Z	–	Extrémně tvrdý

Tabulka 2 Stupně tvrdosti [6]

Brusivo

Základní materiály pro brusiva jsou Oxid hlinitý (značí se A), karbid křemíku (C) a směs oxidu zirkoničitého s oxidem hlinitým (Z). Dále se používá kubický nitrid boru, diamant,…Karbid křemíku (SiC), někdy označovaný jako karborundum, se používá k obrábění litiny, slitin mědi nebo slinutých karbidů, bývá označován černou nebo zelenou barvou. Oxid hlinitý (Al_2O_3), jinak umělý korund se používá k broušení ocelí, temperované litiny a tvrdých bronzů, nástroje mohou být bílé, růžové, hnědé nebo barevné (obr. 2).

Obrázek 2 Brusný kotouč z umělého korundu [12]

Zrnitost

Zrnitost je „ *dána číslem, které odpovídá počtu ok na délku anglického palce toho síta, jímž při třídění ještě zrno propadne.“* [2]. Dle normy ČSN ISO 525 je velikost zrna rozdělena do čtyř skupin (tab. 3)

Makrozrnitost F4 až F220 podle ISO 8486-1			Makrozrnitost F230 až F2000 podle ISO 8486-2
Hrubá	**Střední**	**Jemná**	**Velmi jemná**
4	30	70	230
5	36	80	240
6	40	90	280
7	46	100	320
8	54	120	360
10	60	150	400
12		180	500
14		220	600
16			800
20			1 000
22			1 200
24			1 500

Tabulka 3 Velikost zrna brusiva [6]

2.2 Pásové brusky

Metoda broušení brusným pásem umožňuje dosáhnout vysokou produktivitu páce a vysokou jakost povrchu [2]. Základem pásové brusky (dále jen PB) je pás, který se pohybuje po kladkách, kdy jedna z nich je hnací. Tyto brusky„ *umožňují broušení na kontaktním kotouči, kontaktní desce nebo na volném pásu"*[6].

2.2.1 Typy pásových brusek

1) Podle velikosti:

Ruční

Nejmenší a z pravidla nejlevnější jsou ruční pásové brusky. Mají nízké výkony a hmotnost.

Stolní, stojanové

Stacionární brusky, bez polohovatelného stolu vhodné pro menší obrobky, dělíme podle ukotvení na stolní a stojanové. Stolní jsou přes krátký podstavec přichyceny ke stolu, zatím co stojanové jsou vybaveny stojanem, který stojí na podlaze dílny (obr. 3). Konstrukčně se neliší, ale stolní bývají pro menší výkony. Nejvíce rozšířená konstrukce PB zahrnuje dvě kladky, hnací a kontaktní, napínání je realizováno pomocí změny osové vzdálenosti.

Obrázek 3 Stojanová bruska Bernardo [12]

Dílenské

Do kategorie dílenských pásových brusek patří rozměrnější stroje, jsou vybavené polohovatelným stolem (obr. 4), díky tomu, že obsluha nemusí obráběný díl držet v rukou, jsou vhodné k obrábění větších a těžších obrobků.

Obrázek 4 Dílenská bruska NS LHV200 [11]

2) Podle použití:

Klasické

Při klasickém uspořádání broušení probíhá na kontaktních deskách nebo kladkách (obr. 3a). Využívají se pro broušení rovinných ploch, zkosení, při přidání vhodného upínacího přípravku dovolují brousit i geometricky složitější tvary, například průniky trubek a profilů.

S volným pásem

Pás je volně natažen mezi dvě kladky na volných ramenech (obr. 5). Toto uspořádání umožňuje *„broušení rovných i tvarovaných obrobků, odjehlování, přebrušování svarů atd.“* [6]

Obrázek 5 Bruska s volným pásem NS LB50 [11]

Širokopásové

Velké stroje se širokými pásy, využívají se pro odjehlování, úpravu povrchu, jsou časté ve dřevozpracovatelském průmyslu, kde slouží k broušení desek na přesnou tloušťku, někdy bývají oboustranné, takže pás zároveň obrábí horní i spodní stranu obrobku (obr. 6).

Obrázek 6 Širokopásová bruska DUPLEX 1100 [13]

Bezhroté

Pro broušení trubek a tyčí jsou tu bezhroté pásové brusky, využívají dva různé principy NS CL a NS ML (obr. 7). Princip NS CL je na stránce výrobce brusek abrasiv popsán takto:„ *Rotující obrobek se pohybuje na podpoře mezi kontaktním kotoučem s brusným pásem a unášecím kotoučem, který zajišťuje jeho přítlak, posuv a otáčení. Tento způsob je vhodný pro broušení nebo leštění rovných trubek a tyčí s kruhovým průřezem“.*

Výrobce popisuje i metodu NS ML „ *Obrobek je (bez rotace) posouván skrz obráběcí jednotku, osazenou dvěma brusnými pásy, které se točí a zároveň obíhají kolem trubky (planetární pohyb). Tento způsob je vhodný pro finální broušení a leštění rovných trubek nebo u jednohlavých strojů i ohýbaných trubek s kruhovým nebo oválným průřezem‘‘*.[11]

Obrázek 7 Pásová bruska na trubky NS RC200 [11]

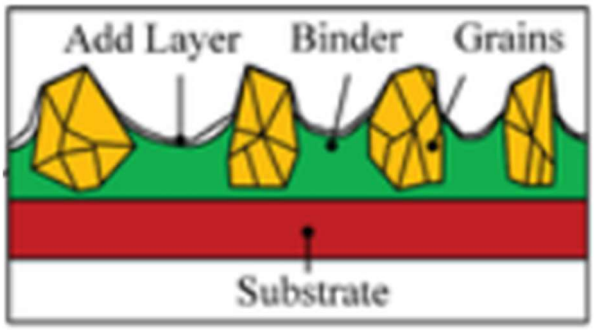
Kombinované

Z hlediska úspory nákladů a prostoru jsou výhodné kombinované brusky, které pásovou část doplňují nejčastěji brusným kotoučem (obr. 8). Pohon je společný pro obě části, většinou je kotouč a hnací kladka na jednom hřídeli.

Obrázek 8 Kombinovaná bruska PSBS 240 C2 [14]

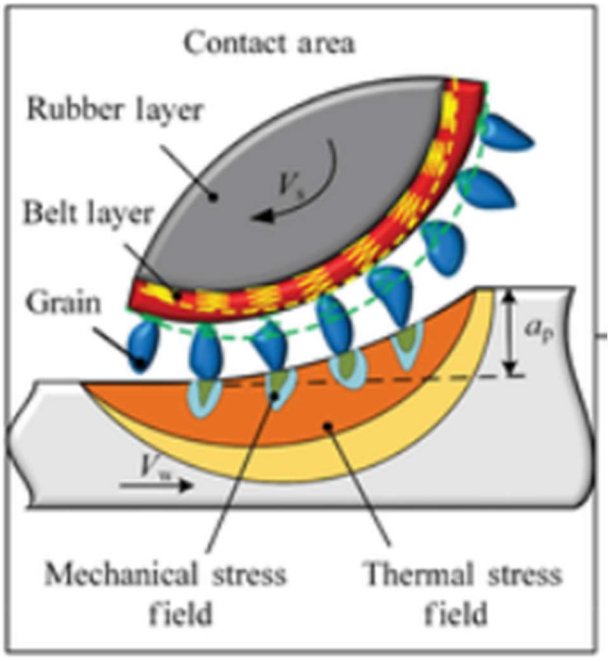
2.2.2 Pásy

Řezný nástroj pásové brusky je pás složen z několika vrstev (obr. 9), nosná vrstva (substrát) je tvořena bavlněnými, polyesterovými nebo nylonovými vlákny, popřípadě jejich kombinací [10]. Na podklad jsou pomocí pojiva (zelená) připevněna brusná zrna. Jako pojivo se používají syntetické pryskyřice. Na povrchu pásu může být tenká vrstva zvaná přetěr (bílá). Brusné pásy se prodávají nařezané, nebo ve formě svitků.



Obrázek 9 Vrstvy brusného pásu [5]

Při obrábění se pás opotřebovává, zrna se tupí a vypadávají, proto je nutné pás po určité době vyměnit. Podle obráběného materiálu a požadovaného povrchu se používají pásy různé zrnitosti a dalších vlastností. Obrázek 10 popisuje vzájemnou interakci mezi pásem a obráběnou plochou, v místě dotyku zrn (modrá) vzniká mechanické napětí a oblast tepelného ovlivnění, hlavním parametrem při obrábění je hloubka řezu a_p a řezná rychlost v_s. [5]



Obrázek 10 Interakce mezi pásem a obrobkem [5]

2.2.3 Elektromotory

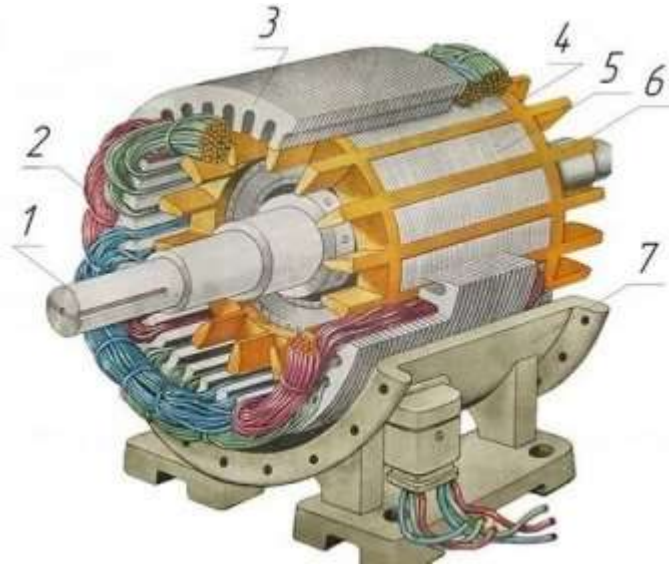
Nejčastěji třífázové asynchronní motory, u menších strojů univerzální elektromotory (na stejnosměrné nebo střídavé jednofázové napájení).

Třífázové elektromotory (obr. 11) můžeme dělit podle počtu pólu, na tom závisí otáčky. výstupní hřídele. Na obrázku 8 je asynchronní elektro motor v řezu.

K tělesu motoru (7) je pevně připojena nepohyblivá část – stator, ten se skládá s tenkých nalisovaných plechů (3), opatřených drážkami, mezi kterými je uloženo vinutí statoru (2). Pohyblivá část – rotor je pevně spojen s výstupní hřídelí (1) a otáčí se na ložiskách v tělese stroje. Podobně jako stator je tvořen lisovanými rotorovými plechy (5), do drážek v rotoru jsou vloženy měděné, mosazné nebo hliníkové tyče, které jsou na koncích spojeny zkratovacími kruhy. Tyče s kruhy tvoří rotorovou klec (4). [21]

Po přivedení proudu se *„uvnitř statoru se vytváří točivé magnetické pole. 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.“* [21]

Otáčky rotoru jsou o trochu nižší než otáčky magnetického pole a závisí na velikosti zátěže. S rostoucí zátěží otáčky rotoru mírně klesají, ale pro použití na pásových bruskách to nevadí. Motor může být doplněn o frekvenční měnič, který umožňuje plynulou změnu otáček motoru, a tím i rychlost brusného pásu.



Obrázek.11 Asynchronní elektromotor [15]

3 VARIANTY ŘEŠENÍ

Přestože bylo rozhodnuto navrhnout stojanovou pásovou brusku, stále zde zůstává mnoho variant řešení. V této kapitole jsou popsány jednotlivé konstrukční řešení na reálných strojích.

3.1 PÁSOVEC 75

Popis: Stroj je určen k broušení „ *obroubků z uhlíkových a nerezových ocelí, hliníku a dalších neželezných kovů, ale i jiných materiálů jako dřeva a plastů. Stroj disponuje celkem dvěma pracovišti pro kontaktní a rovinné broušení. Brusné rameno lze výškově přizpůsobit tělesným proporcím operátora.“* [24]

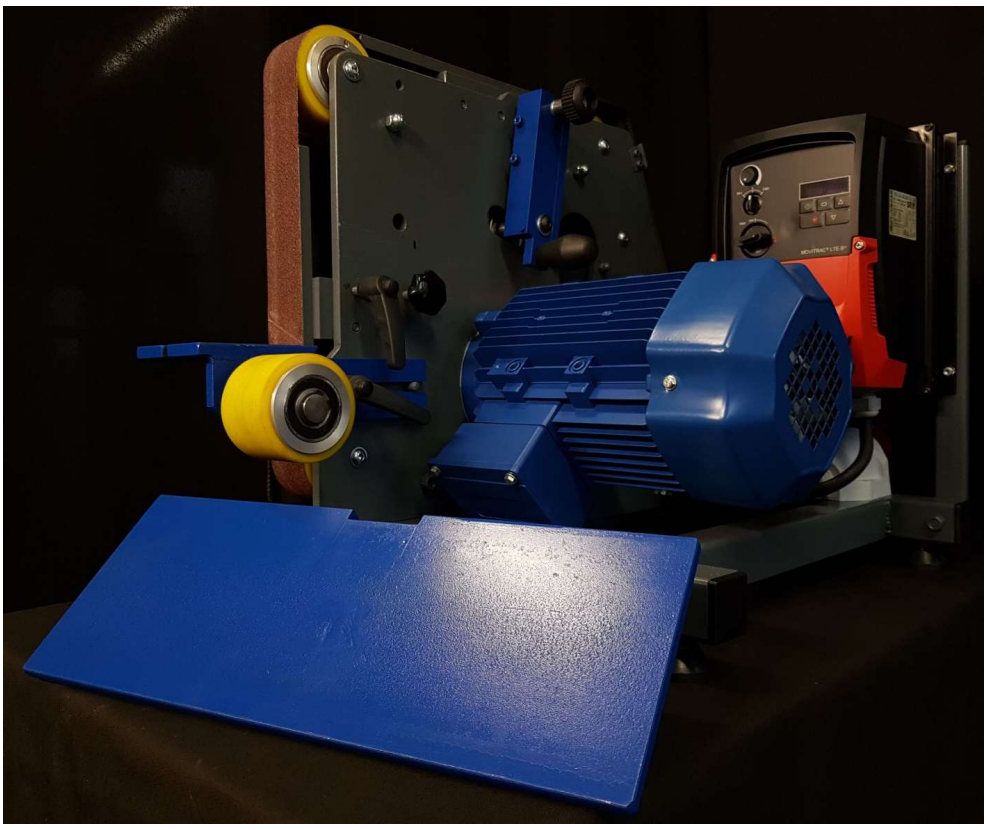
Parametry:

- 1-rychlostní nebo 2 rychlostní provedení
- Rozměr brusného pásu 75 x 2000 mm
- Pro kontaktní a rovinné broušení
- Motor: 3000 W
- Obvodová rychlost brusného pásu: 30 m/s a 15 m/s
- Rozměry (ŠxVxH): 533x967x1069 mm
- Hmotnost: 93 kg
- Cena: 18 990 Kč

Obrázek 12 Pásovec 75 [24]

3.2 BEMETAL BM 25

- Výkon motoru
- Frekvenční měnič
- Rychlost pásu 6 - 26 m/s
- Délka pásu 2500 mm
- Nastavitelná opěrka, možnost ji naklopit o 45°
- Přípravek na broušení nožů
- Cena: 59 000 Kč (bez frekvenčního měniče 45 000 Kč) [25]



Obrázek 13 Bemetal BM 25 [25]

3.3 Výběr varianty

Výsledný návrh je kombinací obou předchozích variant, jedná se v podstatě o koncepci pásovce 75 rozšířenou o prvky brusky BM 25, tím by došlo k rozšíření schopností, ale udržení ceny na rozumné hodnotě, ze stejného důvodu bylo upuštěno od použití frekvenčního měniče a je tedy jednorychlostní, s rychlostí pásu 19 m/s.

4 VLASTNÍ NÁVRH

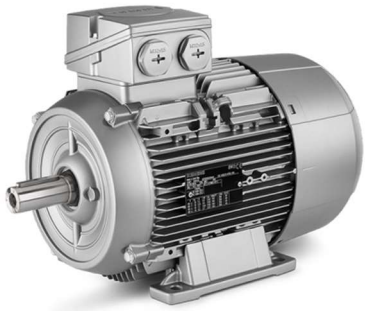
4.1 Pohon

Brusku pohání třífázový asynchronní elektromotor SIEMENS SIMOTICS GP, určený na napětí ze sítě 400 V s katalogovým číslem 1LE10030EA422AA4 (obr. 14).

Motor má dva póly a otáčky 2900/min. Parametry motoru jsou vypsány v tabulce 4. Výkon je inspirován komerčními stojanovými bruskami a má hodnotu 2,2 kW. Motor spadá do třídy účinnosti IE3 (velká účinnost) dle normy ČSN EN 60034-30 [7]. Motor je přírubového provedení a pomocí čtyř šroubů je uchycen k nosné desce.

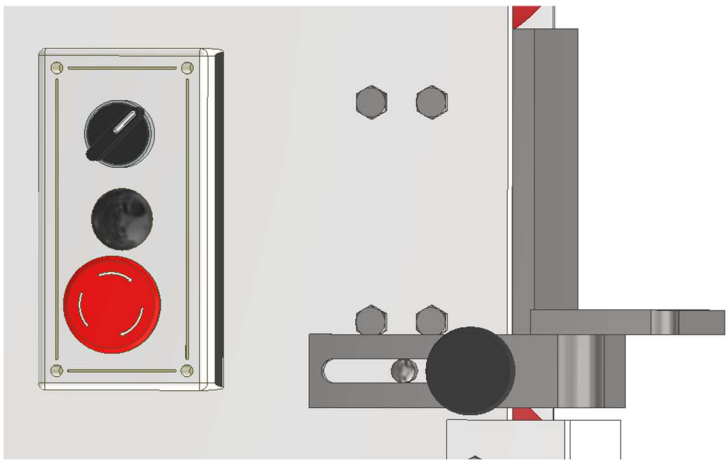
Power	2.2
Efficiency Class	**IE3**
Line	**Basic**
Size of motor	90 L
Torque	**7.2**
Efficiency	**85.9**
Ia/In	**8.3**

Tabulka 4 Parametry motoru [16]



Obrázek 14 Elektromotor SIEMENS SIMOTICS GP [16]

Ke spouštění a vypínání slouží přepínače na ovládacím panelu (obr. 15). Z bezpečnostních důvodů je stroj vybaven i nouzovým tlačítkem pro okamžité vypnutí. Vypínače umístěny tak, aby k nim byl snadný a rychlý přístup.

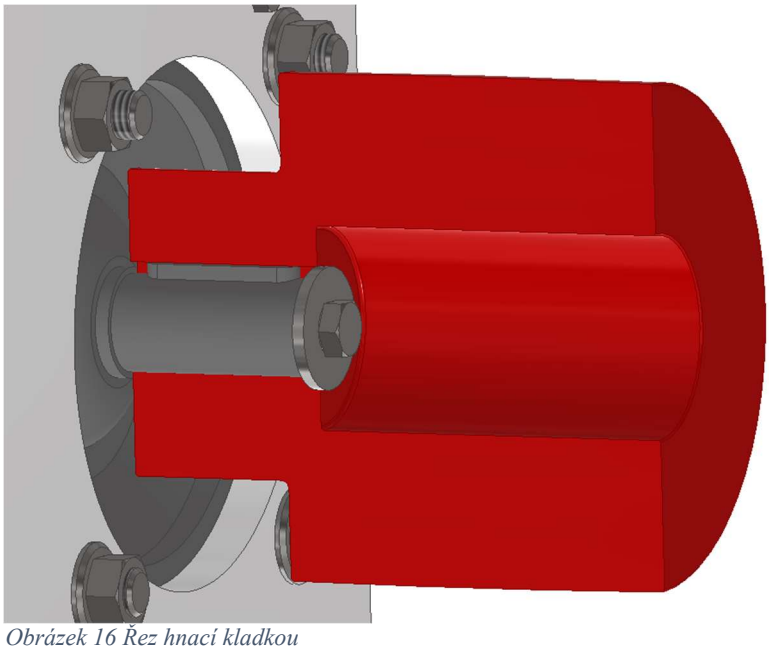


Obrázek 15 Ovládací panel motoru [17]

4.2 Kladky

4.2.1 Hnací

Přenáší výkon motoru na pás. K motoru je upevněna těsným perem a axiálně zajištěna šroubem s podložkou (obr.16). Plocha, kde se kladka dotýká pásu je bombírovaná, to znamená, že povrch je mírně zaoblen, aby se pás vystředil a nesjížděl do boku. Povrch této plochy je pogumován, to ještě více zabraňuje sjíždění pásu, ale především to zvyšuje součinitel tření mezi kladkou a pásem, a tím se snižují nároky na napínání.



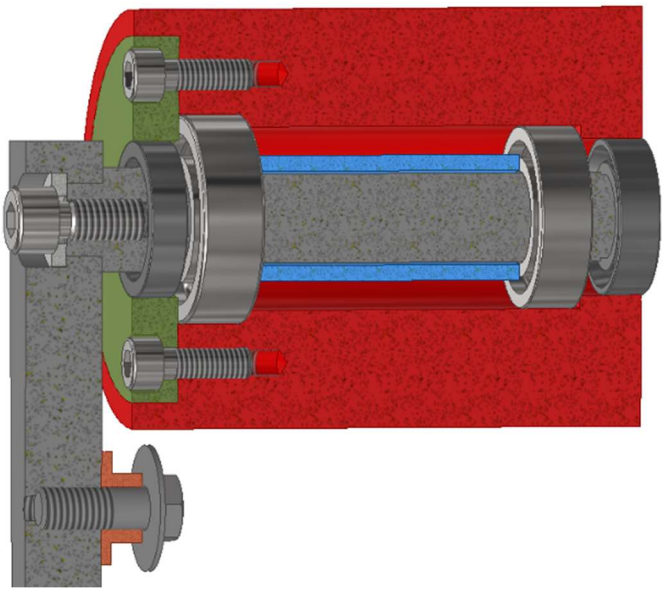
Obrázek 16 Řez hnací kladkou

4.2.2 Vodící

Jak název napovídá slouží k vedení pásu, tyto kladky jsou celoocelové s broušeným povrchem. Jedna z kladek slouží zároveň jako kontaktní, kdy na ní brousíme součásti s vnitřním zaoblením, složité tvary a všechny další součásti, kde je to výhodnější než broušení na kontaktních deskách. Hřídel těchto kladek je pevně přichycen k rámu, kladka se otáčí na kuličkových ložiskách.

4.2.3 Napínací

Slouží k napínání pásu, více v kapitole o napínání (obr. 17). Kladka musí být umístěna za motor, tak, aby napínala ochablou větev pásu.



Obrázek 17 Řez napínací kladkou

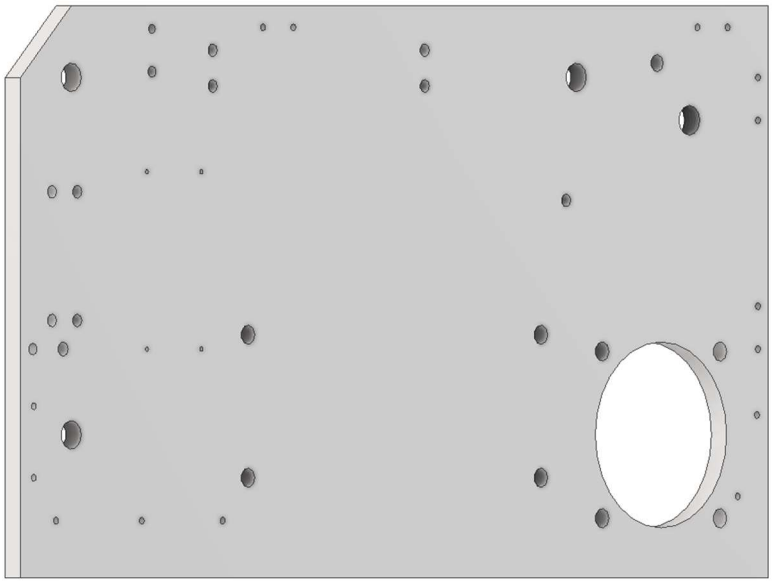
4.3 Pás

PB je určena pro brusný pás délky 2000 mm a šířky 100 mm. Pás můžeme měnit v závislosti na obráběném materiálu, požadované drsnosti povrchu a jeho opotřebení (obr. 18).

Obrázek 18 Brusný pás [11]

4.4 Nosný prvek

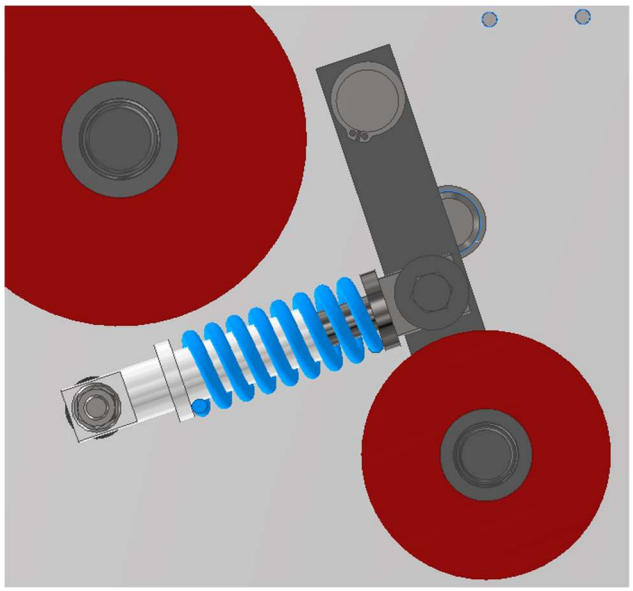
Při prvotním návrhu byl použit nosný rám svařovaný z uzavřených ocelových profilů. Tímto řešením bychom jen obtížně zaručili rovnoběžnost os hřídelů. Výsledný návrh obsahuje ocelovou desku, na kterou se upínají další komponenty (obr. 19). Deska je přišroubována ke svařovanému rámu, který je připevněn ke stojanu. Stojan je pomocí šroubů pevně uchycen k podlaze.



Obrázek 19 Nosná deska

4.5 Napínání

Napínání je realizováno napínací kladkou, která se otáčí na páce uložené na čepu v nosné desce. Páka koná kyvný pohyb a musí být dostatečně tuhá, aby nedocházelo k jejímu ohybu, čímž by mohlo dojít k vychýlení pásu. K páce je přes bronzový čep připojen kluzák, který se pohybuje ve vedení (obr. 20). Kluzák i vedení jsou opatřeny kroužky, mezi nimiž je šroubová tlačná pružina, ta je dimenzována na vypočítanou přítlačnou sílu.



Obrázek 20 Napínání

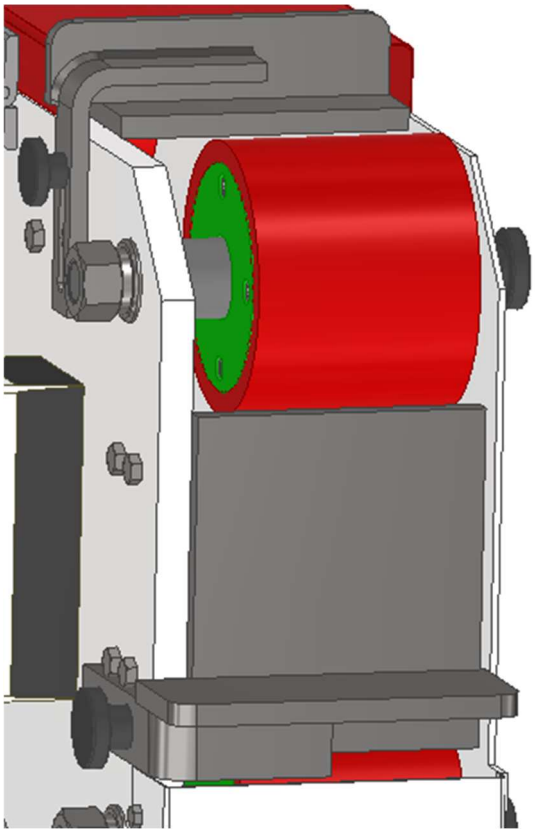
4.6 Obsluha

4.6.1 Práce

Broušení probíhá na třech místech:

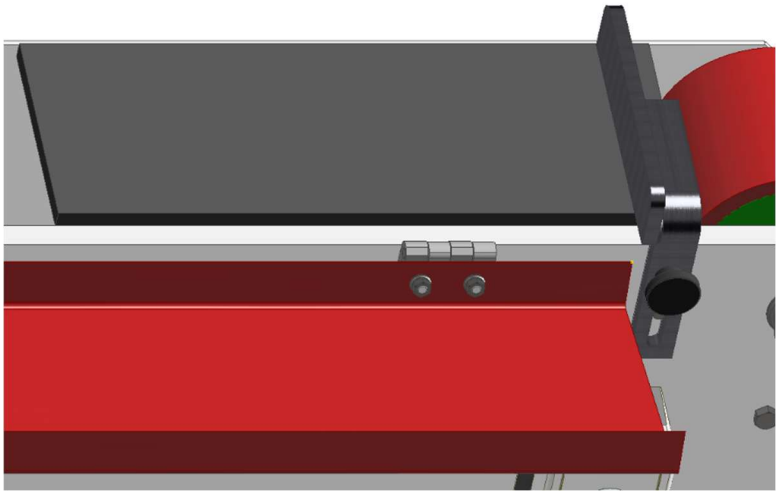
- **Přední kontaktní deska**
  Umožňuje broušení čelních ploch, a to i pod úhlem. Je vysunuta o 9 mm vzhledem k okolí, aby nic nepřekáželo při obrábění, pro opření dílu má nastavitelnou opěrku. Povrch desky musí být broušen, aby nedocházelo k opotřebení brusného pásu.

- **Horní kladka**
  Určena pro broušení zaoblených ploch, vybrání, atd. Společně s boční kontaktní deskou je zobrazena na obr. 21.



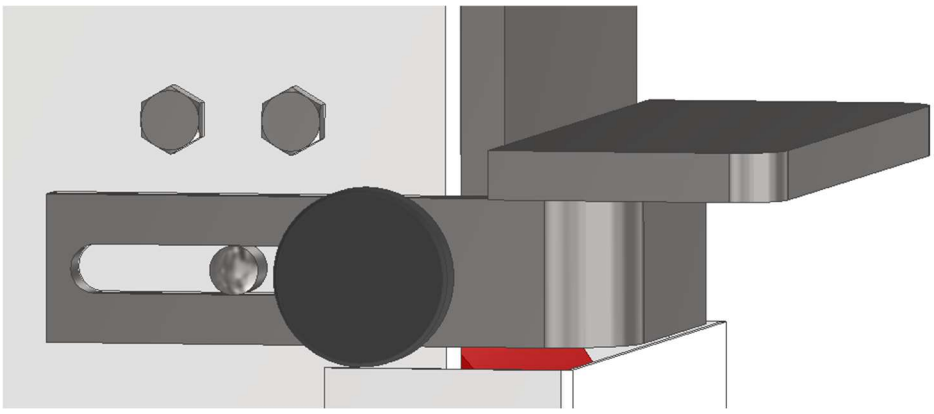
Obrázek 21 Přední kontaktní deska a horní kladka

- **Horní kontaktní deska**
  Vhodná k broušení rozměrnějších rovinných ploch. Je opatřena vysunovatelnou opěrkou. Když není využívaná zakrývá ji ochranný kryt, ten se otvírá jen při používání této desky, po práci jej opět zavřeme. Kryt a deska jsou spolu s opěrkou na obr. 22.



Obrázek 22 Horní kontaktní deska

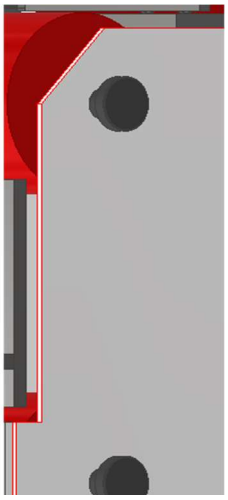
- **Opěrky**
  Při broušení na obrobek působí řezná síla, kterou je nutno zachytit, k tomuto účelu slouží opěrky (obr. 23). U opěrek je možné nastavovat světlou výšku, tak aby u malých součástí nemohl dojít k vtažení pásem pod opěrku, čímž by došlo k poškození součástí, stroje, nebo dokonce ke zranění obsluhy. Pro broušení velkých dílů se naopak světlá výška zvýší pro lepší opření. Aby se s opěrkou dalo snadno manipulovat je uchycena šroubem s rýhovanou hlavou a proti pootočení zajištěna kolíkem s rýhou do poloviny délky, který je nalisován do nosné desky. Funkce těchto kolíků spočívá v tom, že: „břity, které vzniknout po stranách při vytvoření rýh, se zalisováním kolíku do spoje částečně deformují a dojde k vytvoření radiálního tlaku“.[8]



Obrázek 23 Opěrka

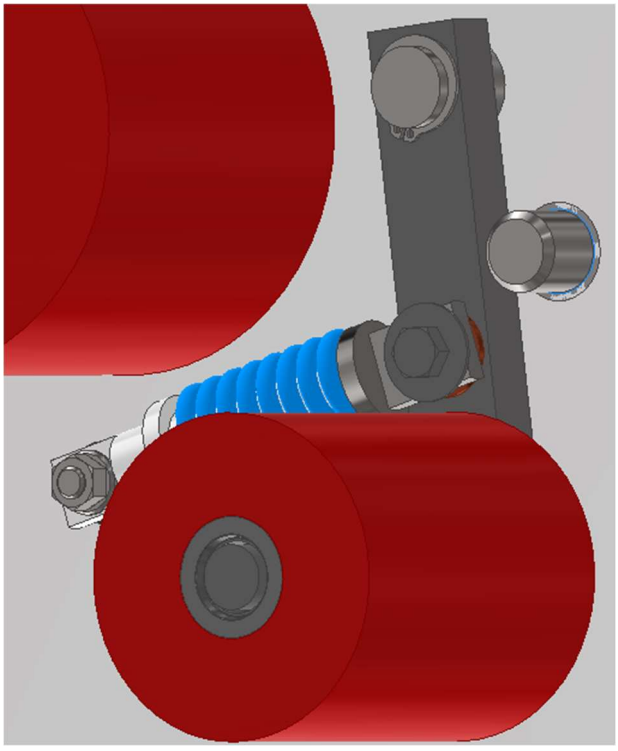
4.6.2 Výměna pásu

Pro snadnou výměnu pásu je hlavní kryt uložen na jedné straně v pantech (v modelu použity použity modely pantů firmy Wiberger [19]) a na druhé je přichycen dvěma šrouby do otvorů v hřídelích vodících kladek (obr. 24). Tyto šrouby mají speciální hlavu, pro rychlou montáž/ demontáž.



Obrázek 24 uchycení ochranného krytu

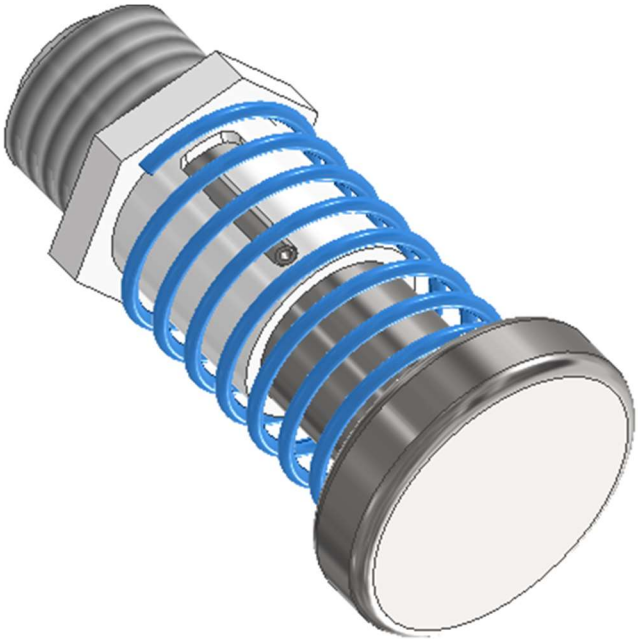
Pro uvolnění pásu se zatlačí na napínací kladku, ve stlačené poloze se zajistí pomocí výsuvného čepu (obr. 25). Nyní je možné uvolněný pás stáhnout a vyměnit za jiný. Aby nedošlo k prudkému vystřelení pružiny je nutné zatlačit na kladku, uvolnit pojistný čep, a pomalu uvolnit kladku, tím se pás opět napne. Po zavření ochranných krytů je stroj opět připraven k práci.



Obrázek 25 Zajištěná pozice páky

4.6.3 Pojistný mechanismus

Pro zajištění kladky ve stlačené poloze slouží pojistný mechanismus. Je realizován pomocí variace bajonetového spoje. Mechanismus má dvě pracovní polohy: „odjištěno“ (obr. 26) a „zajištěno“ (obr. 27). Skládá se z pružiny, čepu a trubky, pružina je na obr. 27 pro lepší názornost vynechána. V trubce je vyfrézovaná tvarová drážka, ve které se pohybují dva pružné kolíky nalisované v čepu. Zajištěné polohy dosáhneme zatlačením na rozšířenou část čepu, při úplném zatlačení čep pootočíme doprava, výstupky zapadnou do vybrání a vznikne bajonetový spoj. Pro odjištění stačí mírně zatlačit a pootočit doleva, síla pružiny pak vytlačí čep do správné polohy.



Obrázek 26 Pojistný mechanismus – odjištěno

Obrázek 27 Pojistný mechanismus – zajištěno

4.7 Bezpečnost

Aby se snížili rizika úrazu, je bruska vybavena ochranou proti dotyku pohybujících se částí (kryty), poletujícímu prachu (odsávání) a nouzovým vypínačem. Hlavní kryt je opatřen bezpečnostním spínačem v podobě rozepínacího kontaktu, tím se zabrání spuštění stroje když je kryt otevřen.

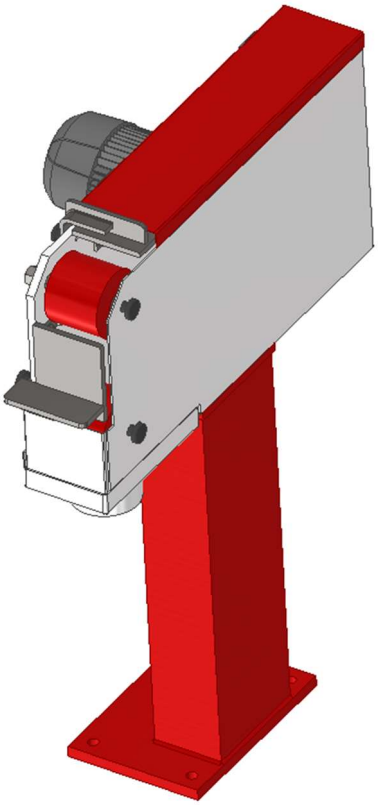
4.7.1 Kryty, hrany a stabilita

Norma ČSN EN ISO 12100 požaduje: „Odstranění ostrých hran a rohů, vyčnívajících částí, pokud to umožňuje jejich účel, nesmí mít přístupné části strojního zařízení ostré hrany, ostré úhly, drsné plochy, vyčnívající části, které můžou způsobit zranění.“

Z tohoto důvodu je pření strana PB zakryta již výše zmíněným hlavním krytem a horním krytem, který zakrývá vrchní část pásu a také ostré hrany nosné desky. Tento kryt se odklápí pouze při práci na horní kontaktní desce. Opěrky, které nebylo možné zakrýt mají zaoblené rohy (obr. 28).

V normě se dále píše: „Stroje musí být konstruovány tak, aby měli dostatečnou stabilitu, aby tak bylo umožněno používat je bezpečně v jejich stanovených podmínkách používání.“

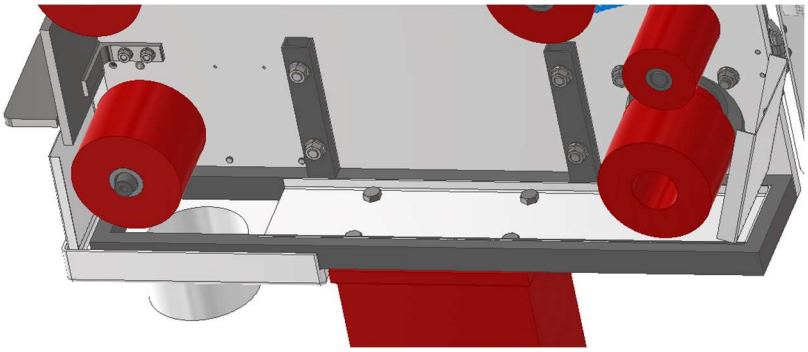
Stabilitu zajišťuje svařovaný stojan. Střed stojanu je umístěn co nejblíže těžišti brusky. Spodní deska stojanu, je výrazně posunuta směrem od obsluhy tak, aby se omezilo riziko zakopnutí, a zároveň se kompenzuje hmotnost motoru, tato deska má v rozích otvory pro šrouby, kterými se připevní k podlaze.



Obrázek 18 Ochranné kryty

4.7.2 Odsávání

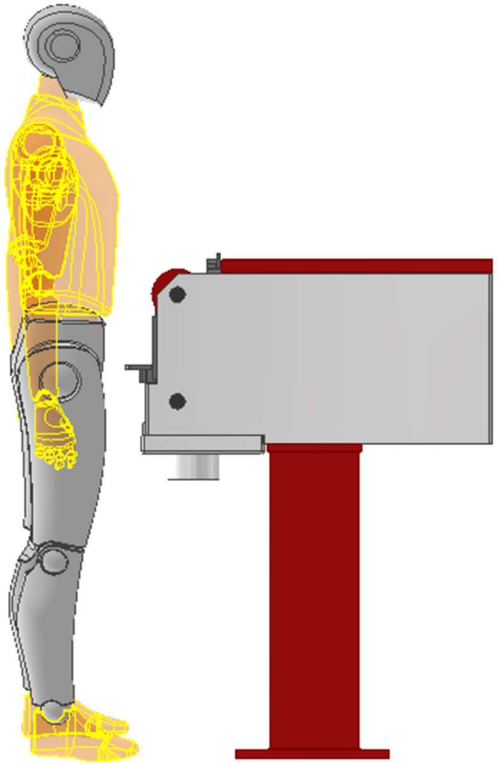
Poletující malé částice kovu mohou způsobit zdravotní potíže, proto je nutné je eliminovat. Spodní část PB je zakryta, aby prach nevypadával na podlahu. Vpředu je kryt, který svádí třísky z kontaktní desky do násypky, ke které je připojena odsávací hadice (obr. 29). Průměr hadice byl zvolen 120 mm podle katalogu firmy „Dobré stroje“ [18]. Žádný kryt samozřejmě nesmí bránit snadné výměně pásu.



Obrázek 29 Odsávání

4.8 Ergonomie

Velice důležité je stanovit správnou výšku stojanu tak, aby bylo dosaženo pohodlné pracovní pozice. V tomto případě, kdy obrábíme na více místech, je to komplikovanější, proto výsledkem je kompromis. Prioritou bylo umístit horní kontaktní desku co nejníž, protože právě zde se brousí nejtěžší obrobky, zároveň přední kontaktní deska není příliš nízko, aby se obsluha nemusela zbytečně naklánět. Pro lepší představu je na obr. 30 model člověka vysokého 170 cm [17].

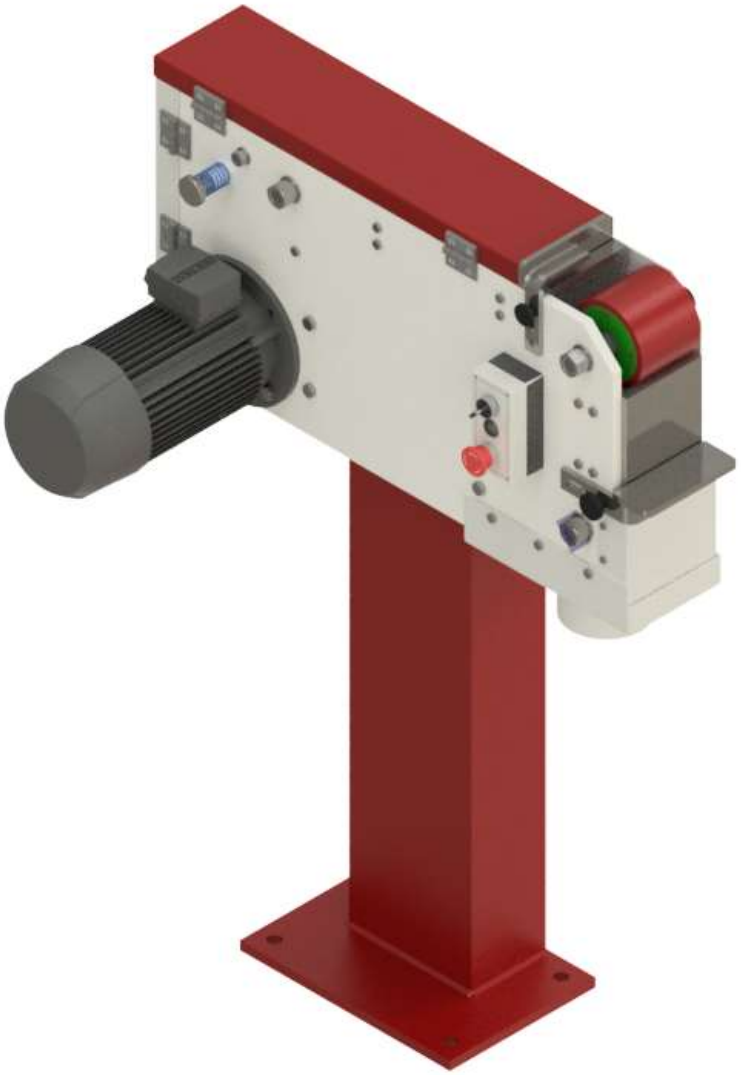


Obrázek 30 Ergonomie

4.9 Výsledný návrh

Na obrázcích 31 a 32 je zachycena výsledná podoba brusky.

Obrázek 31 Pohled zprava



Obrázek 32 Pohled zleva

5 VÝPOČTY

5.1 Hnací kladka

Průměr kladky

Po zvolení asynchronního motoru bez frekvenčního měniče, jako pohonu PB, je jedinou možností jak dosáhnou požadované rychlosti brusného pásu změna průměru hnací kladky.

Požadovaná rychlost pásu: $v = 19\ m/s$

Otáčky motoru: $n = 2900/min$

Průměr hnací kladky

$$d_1 = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot n} = \frac{19 \cdot 60}{\pi \cdot 2900} = 0{,}125\ m = 125\ mm \quad (1)$$

Výška klenutí bombírované kladky je určena podle tab. 5.

výpočtový průměr řemenice d_w (mm)	výška klenutí h (mm)	výpočtový průměr řemenice d_w (mm)	výška klenutí h (mm) šířka řemenice B (mm) ≤250	>250
40, 50, 63	0,3	315, 355	1,0	1,0
71, 80	0,3	400, 450	1,2	1,2
90, 100, 112	0,3	560, 630, 710	1,2	1,2
125, 140	0,4	800, 900	1,2	1,5
160, 180	0,5	1 000	1,25	1,5
200, 224	0,6	1 120, 1 250, 1 400	1,5	2,0
250, 280	0,8	1 600, 1 800, 2 000	1,78	2,5

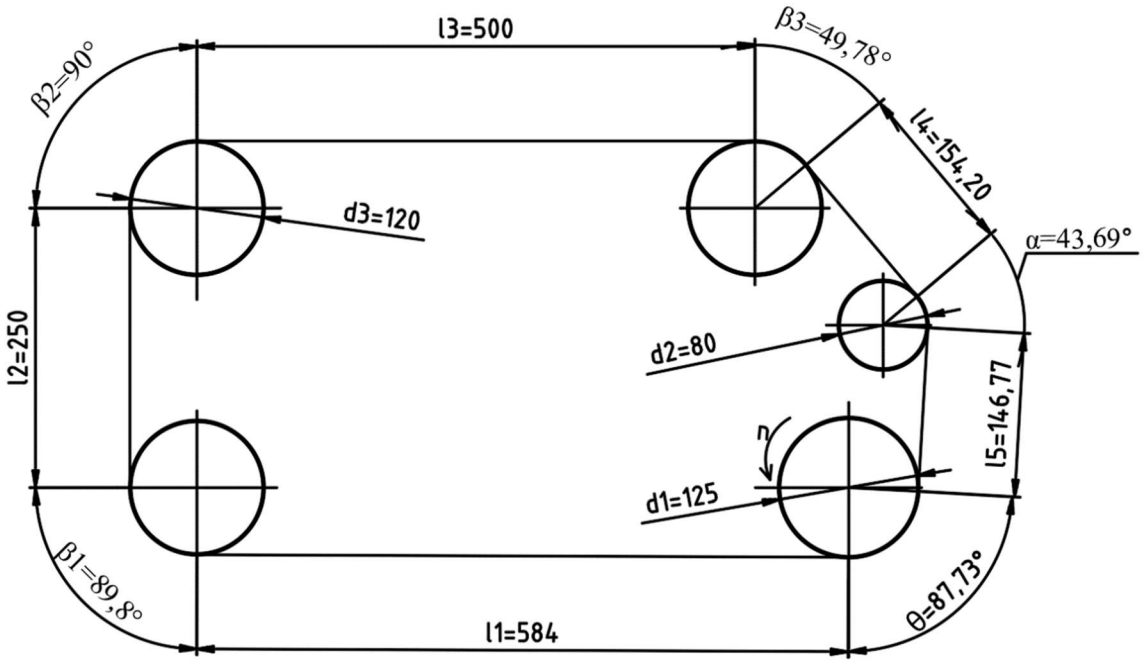
Maximální průměrná aritmetická úchylka funkční plochy věnce řemenice je $Ra = 1{,}6$ µm.

Tabulka 5 Výška klenutí kladky [1]

Pro výpočtový průměr 125 mm, je výška klenutí 0,4 mm.

5.2 Délka pásu

PB má pás o délce 2000 mm, pro další výpočet je důležité určit v jaké pozici napínací kladky dosáhneme právě této délky. Tato poloha je určena pomocí aplikace AutoCAD a postupným posouváním napínací kladky, výsledná pozice je na obr. 33, kdy vzdálenost mezi osazeními na kluzáku a vedením je 65 mm.



Obrázek 33 Délka pásu

Délky jednotlivých částí pásu a úhlů opásání viz obr. 33

Úhel opásání hnací kladky: $\theta = 87{,}73°$

Úhel opásání napínací kladky: $\alpha = 43{,}69°$

Průměry kladek:

Hnací	d_1= 125 mm
Napínací	d_2= 80 mm
Vodící	d_3= 120 mm

Kontrola správného nastavení pásu:

$$L = \frac{d_1}{2} \cdot \theta \cdot \frac{\pi}{180} + \frac{d_2}{2} \cdot \alpha \cdot \frac{\pi}{180} + \frac{d_3}{2} \cdot (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) \cdot \frac{\pi}{180} + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 =$$
$$\frac{125}{2} * 86{,}75 * \frac{\pi}{180} + \frac{80}{2} * 43{,}69 * \frac{\pi}{180} + \frac{120}{2} * (89{,}8 + 90 + 49{,}78) * \frac{\pi}{180} + 584 +$$
$$250 + 500 + 154{,}2 + 146{,}77 = 2000{,}5\ mm \approx 2000\ mm \quad (2)$$

Napínací kladka je ve správné poloze.

5.3 Síla přepětí pásu

Na síle předpětí závisí přenášený výkon, když ji zvolíme příliš velkou může dojít k přetržení pásu. Výpočet je stejný, jako pro ploché řemeny. Celková síla v pásu se skládá z tahové síly od předpětí, od odstředivé síly a síly dodávané na hnací kladce. Pro pásy s různou plošnou hustotou, se výpočet liší, největší nároky na napínání mají pásy s velkou hustotou, proto je zvolen výpočet pro pás s největší plošnou hustotou z katalogu firmy Piskač a syn a.s. [20].

Plošná hustota:

Zvolený pás: 2000x75, hmotnost: 0,32 kg

$$\rho_S = \frac{m_1}{b_1 * l_1} = \frac{0{,}32}{2*0{,}075} = 2{,}13\ kgm^{-2} \tag{3}$$

Tahová síla od odstředivé síly:

Šířka použitého pásu: $b = 100\ mm$

$$F_C = \rho_S \cdot b \cdot v^2 = \rho_S \cdot b \cdot \left(\pi \cdot d_1 \cdot \frac{n}{60}\right)^2 = 2{,}13 \cdot 0{,}1 \cdot \left(\pi \cdot 0{,}124 \cdot \frac{2900}{60}\right)^2 = 75{,}51\ N \tag{4}$$

Kroutící moment na hnací kladce:

Výkon motoru:$P = 2200W$

$$M = \frac{P}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{2200}{2\pi \cdot \frac{2900}{60}} = 7{,}24\ Nm \tag{5}$$

Rozdíl sil mezi ochablou a napjatou větví:

$$\Delta F = \frac{2M}{d_1} = \frac{2 \cdot 7{,}244}{0{,}124} = 116{,}85\ N \tag{6}$$

Síly v jednotlivých větvích:

Součinitel tření mezi hnací kladkou a pásem je 0,56 pro pogumovaný povrch kladky a pás s nosnými vlákny z PE. [23]

Z Eulerova vztahu plyne:

$$\frac{F_1 - F_C}{F_2 - F_C} = e^{f \cdot \theta} \tag{7}$$

Zároveň víme:

$$\Delta F = F_1 - F_2 => F_1 = F_2 + \Delta F \tag{8}$$

Po dosazení (8) do rovnice (7) získáme vztah:

$$\frac{F_2 + \Delta F - F_C}{F_2 - F_C} = e^{f \cdot \theta} \tag{9}$$

$$F_2 + \Delta F - F_C = (F_2 - F_C) \cdot e^{f \cdot \theta} \tag{10}$$

$$F_2\left(1 - e^{f \cdot \theta}\right) = F_C\left(1 - e^{f \cdot \theta}\right) - \Delta F \tag{11}$$

Síla v ochablé větvi

$$F_2 = \frac{F_C\left(1 - e^{f \cdot \theta}\right) - \Delta F}{\left(1 - e^{f \cdot \theta}\right)} = \frac{75{,}512 \cdot \left(1 - e^{0{,}56 \cdot 86{,}73 \cdot \frac{\pi}{180}}\right) - 116{,}85}{1 - e^{0{,}56 \cdot 86{,}73 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 163{,}09\ N \tag{12}$$

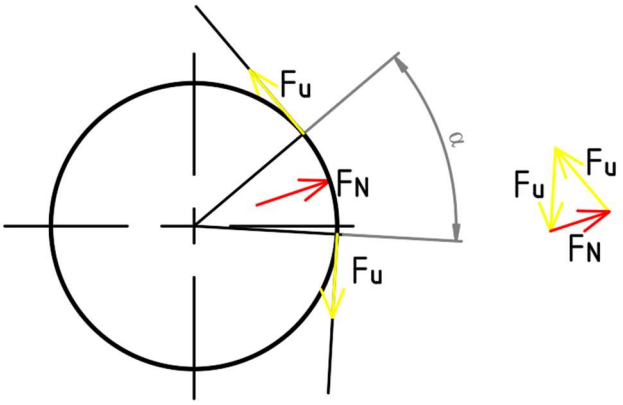
Dopočet síly v napnuté větvi:

$$F_1 = F_2 + \Delta F = 163{,}09 + 116{,}85 = 279{,}94\ N \quad (13)$$

Síla předpětí pásu

$$F_u = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_C = \frac{279{,}94 + 1\ \ ,09}{2} - 75{,}51 = 146\ N \quad (14)$$

Síla předpětí je vyvozena napínací silou, výpočet napínací síly vychází ze silového trojúhelníku na obr. 34.



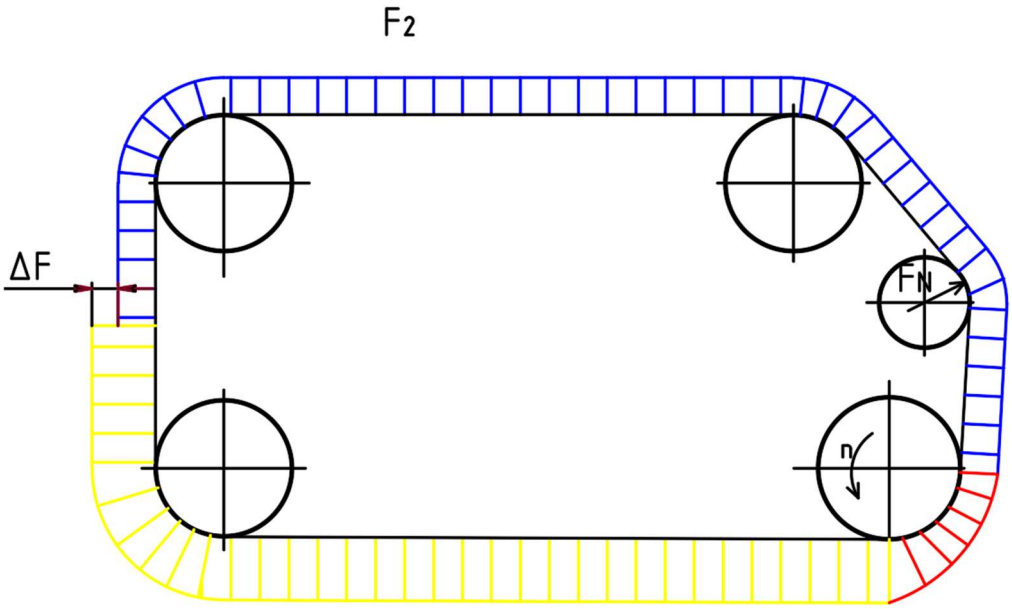
Obrázek 34 Napínací síla

Napínací síla

$$F_N = \sqrt{2 \cdot {F_u}^2 - 2 \cdot {F_u}^2 \cdot \cos(\alpha)} = \sqrt{2 \cdot 146^2 - 2 \cdot 146^2 \cdot \cos(43{,}69°)} = 108{,}65\ N \quad (15)$$

5.4 Průběh sil na pásu

Síly jsou různé po délce pásu (obr. 35). V napnuté části je síla F_1 (žlutá), v ochablé F_2 (modrá). Místo broušení se projevuje skokem mezi těmito silami (ΔF). Příbytek síly na hnací kladce (červená) je postupný po celém opásání kladky.



Obrázek 35 Průběh sil na pásu

5.5 Napínací pružina

Síla na pružinu se určí z momentové rovnováhy na napínací páce. Tuhost a výška pružiny je zvolena tak, aby při nezatíženém stavu nevyjel kluzák z vedení. Pružina je kontrolována na napětí při stlačeném stavu (výměna pásu).

Silová rovnováha na napínací páce:

Vzdálenost čepu kluzáku od čepu v rámu: $r = 65mm$

Vzdálenost osy napínací kladky od čepu v rámu: $s = 120\ mm$

$$\sum M_C = 0: F_P \cdot r - F_N \cdot s = 0 \tag{16}$$

Síla působící na pružinu při běžném provozu

$$F_P = \frac{F_N \cdot s}{r} = \frac{108{,}65 \cdot 120}{65} = 200{,}6\ N \tag{17}$$

Návrh rozměrů pružiny

Průměr pružiny: $D = 22\ mm$

Průměr drátu pružiny: $d = 4\ mm$

Počet činných závitů pružiny: $n_a = 9$

Modul pružnosti v krutu [1]: $G = 81\,500\ MPa$

Stlačení pružiny při zatěžování silou F_P

$$y_1 = \frac{8 \cdot F_P \cdot D^3 \cdot n_a}{d^4 \cdot G} = \frac{8 \cdot 200{,}6 \cdot 22^3 \cdot 9}{4^4 \cdot 81500} = 7{,}4\ mm \tag{18}$$

Délka pružiny v nezatíženém stavu

$$L_{p0} = L_{p1} + y_1 = 65 + 7{,}4 = 72{,}4\ mm \tag{19}$$

Síla na pružinu při stlačení do polohy zajištěné pojistným čepem (při výměně pásu)

$$y_2 = L_{p0} - L_{p2} = 72{,}4 - 60{,}1 = 12{,}3\ mm \tag{20}$$

$$y_2 = \frac{8 \cdot F_{Pmax} \cdot D^3 \cdot n_a}{d^4 \cdot G} \tag{21}$$

$$F_{pmax} = \frac{y_2 \cdot d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_a} = \frac{12{,}3 \cdot 4^4 \cdot 81500}{8 \cdot 22^3 \cdot 9} = 334{,}7\ N \tag{22}$$

Poměr vinutí

$$C = \frac{D}{d} = \frac{22}{4} = 5{,}5 \tag{23}$$

Přestože se jedná o tlačnou pružinu, je drát pružiny je namáhán převážně na krut. vliv zakřivení závitů pružiny na velikost smykového napětí a vliv posouvající síly reprezentuje Bergerstrasserův součinitel:

$$K_B = \frac{4C+2}{4C-3} = \frac{4 \cdot 5{,}5+2}{4 \cdot 5{,}5-3} = 1{,}26 \tag{24}$$

Smykové napětí v zajištěné poloze

$$\tau = K_B \cdot \frac{8 \cdot F_{pmax} \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1{,}26 \cdot \frac{8 \cdot 334{,}7 \cdot 22}{\pi \cdot 4^3} = 369{,}2\ MPa \tag{25}$$

Dovolené napětí v krutu:

Při výrobě pružinového drátu tažením dochází k deformačnímu zpevnění na povrchu, z toho vyplývá, že mez pevnosti závisí na průměru drátu. Pro pružiny bude použita uhlíková ocel třídy SM určenou pro „tlačné, tažné nebo zkrutné pružiny, které jsou vystaveny SM střednímu statickému nebo ojedinělému dynamickému zatížení“ [1]. Mez pevnosti se určí podle tab. 6.

průměr drátu	pevnost v tahu R_m pro třídy drátů[a]		
d	SL	SM, DM	SH, DH
(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
3,40	1 370–1 580	1 590–1 780	1 790–1 990
3,60	1 350–1 560	1 570–1 760	1 770–1 970
3,80	1 340–1 740	1 550–1 740	1 750–1 950
4,00	1 320–1 520	1 530–1 730	1 740–1 930
5,00	1 260–1 450	1 460–1 650	1 660–1 840

Tabulka 6 Mez pevnosti drátu pružiny [1]

Mez pevnosti pro patentovaný drát třídy SM a průměr 4 mm: *Rm = 1530 MPa*

Dovolené smykové napětí pro šroubové pružiny:

materiál	dovolené smykové napětí vyjádřené v procentech R_m	
	před předpnutím pružiny (zahrnuje K_W nebo K_B)	po předpnutí pružiny (zahrnuje K_s)
vysokouhlíková a za studena tažená uhlíková ocel	45	60–70
kalená a popuštěná uhlíková a nízkolegovaná ocel	50	65–75
austenitická korozivzdorná ocel	35	55–65
neželezné slitiny	35	55–65

Tabulka 7 Dovolené smykové napětí [1]

Za studena tažená uhlíková ocel:

$$\tau_D = 0{,}45 \cdot R_m = 0{,}45 \cdot 1530 = 688{,}5\ MPa \tag{26}$$

Bezpečnost:

$$k = \frac{\tau_D}{\tau} = \frac{688{,}5}{369{,}2} = 1{,}86 \tag{27}$$

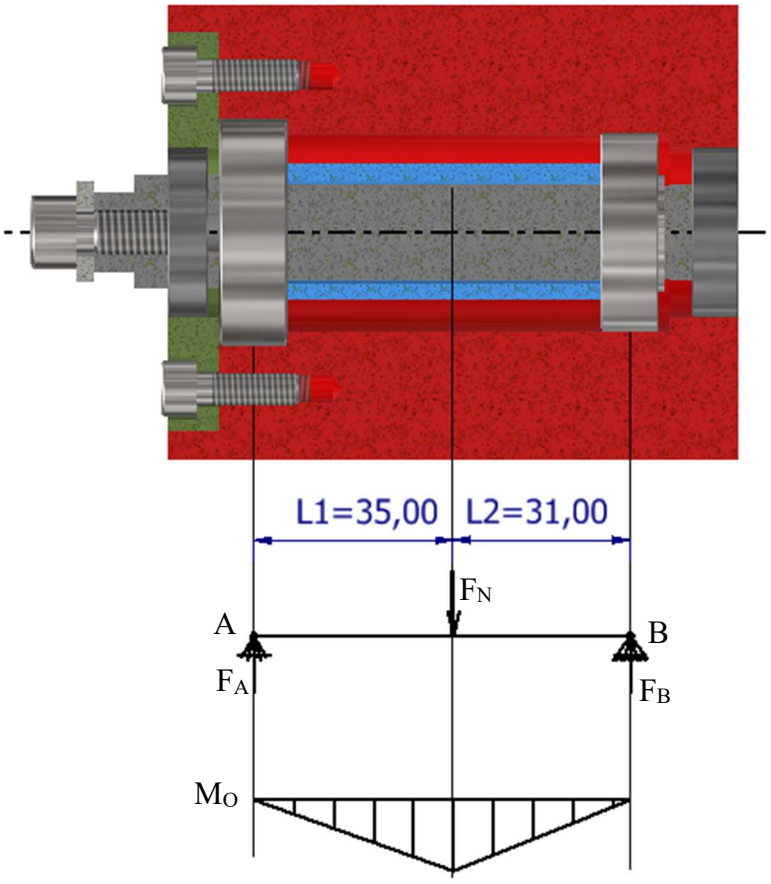
Tato bezpečnost je dostatečná, pružina vydrží i větší stlačení než v zajištěné pozici, k tomu může dojít při zajišťování a odjišťování.

5.6 Ložiska na napínací kladce

Napínací kladka má nejmenší průměr, proto má i nejvyšší otáčky. Co se týče vnějšího zatížení působí zde napínací síla, ta je přenášena přes dvě radiální jednořadá kuličková ložiska na hřídel. Hřídel má menší průměr než u vodících kladek, a tedy i ložiska budou menší, spolu s výše zmíněnými důvody lze prohlásit, že tyto ložiska jsou nejvíce namáhané.

Určení VSM (vnitřních sil a momentů):

Hmotnost kladky a hřídele je v porovnání s ostatními sílami malá, proto se může zanedbat. Napínací síla působí v polovině délky kladky, reakční síly působí ve středu ložisek. Na obr. 36 je vyznačen schématický nákres pro výpočet a průběh ohybového momentu.



Obrázek 36 Síly na ložiska

Statická rovnováha a výpočet reakčních sil.

$$\sum M_A = 0: \; -F_N \cdot L_1 + F_B \cdot (L_1 + L_2) = 0 \tag{28}$$

$$F_B = \frac{F_N \cdot L_1}{(L_1 + L_2)} = \frac{108{,}65 \cdot 35}{35+31} = 57{,}62\ N \tag{29}$$

$$\sum F_Y = 0: F_A - F_N + F_B = 0 \tag{30}$$

$$F_A = F_N - F_B = 108{,}65 - 57{,}62 = 51{,}03\ N \tag{31}$$

Otáčky napínacího kola

$$n_n = \frac{d_1}{d_2} \cdot n = \frac{124}{80} \cdot 2900 = 4495\ min^{-1} \tag{32}$$

Požadovaná trvanlivost pro obráběcí stroje je 20 000 pracovních hodin (tab. 8), dále se požaduje spolehlivostí 99 % (tab. 8). Ložiska jsou namáhána pouze radiální silou, ekvivalentní zatížení je stejné jako tato síla.

druh stroje	trvanlivost L_D (h)
zařízení pro domácnost, zemědělské stroje, přístroje, technická zařízení pro lékařské účely	300–3 000
stroje pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz: elektrické ruční nářadí, dílenské kladkostroje, stavební stroje a zařízení	3 000–8 000
stroje s vysokou provozní spolehlivostí pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz: výtahy, jeřáby pro balené zboží nebo svázané sudy, atd.	8 000–12 000
stroje pro osmihodinový denní provoz, které však nejsou vždy plně využívány: ozubené převody pro všeobecné použití, elektromotory pro průmyslové použití, drtiče	10 000–25 000
stroje pro osmihodinový denní provoz, které jsou plně využívány: obráběcí stroje, dřevoobráběcí stroje, stroje pro všeobecné strojírenství, jeřáby pro sypké materiály, ventilátory, pásové dopravníky, polygrafická zařízení, separátory a odstředivky	20 000–30 000

Tabulka 8 Doporučené trvanlivosti ložisek [1]

Ložisko A:

Označení ložiska: 6203

Základní dynamická únosnost: C_A= 9550 N [9]

Bodový styk: a=3

Základní hodinová trvanlivost

$$L_{10A} = \left(\frac{C_A}{F_A}\right)^a \cdot \frac{10^6}{n_n \cdot 60} = \left(\frac{9550}{51{,}03}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{4495*60} = 24 \cdot 10^6\ hod \quad (33)$$

Modifikovaná trvanlivost pro spolehlivost 99%

Součinitel trvanlivosti (tab. 8): $a_1 = 0{,}25$

Součinitel modifikované trvanlivosti $a_{ISO} = 1$

$$L_{1A} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10} = 0{,}25 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 10^6 = 6 \cdot 10^6\ hod \quad (34)$$

Ložisko A vyhovuje.

Ložisko B

Označení ložiska: 6003

Základní dynamická únosnost: C_B= 6000 N [9]

Bodový styk: a=3

Základní hodinová trvanlivost

$$L_{10B} = \left(\frac{C_B}{F_B}\right)^a \cdot \frac{10^6}{n_n \cdot 60} = \left(\frac{6000}{57{,}62}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{4495*60} = 4 \cdot 10^6\ hod \quad (35)$$

Modifikovaná trvanlivost pro spolehlivost 99%

Součinitel trvanlivosti (tab. 8): $a_1 = 0{,}25$

Součinitel modifikované trvanlivosti $a_{ISO} = 1$

$$L_{1B} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot L_{10B} = 0{,}25 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10^6 = 1 \cdot 10^6\ hod \quad (36)$$

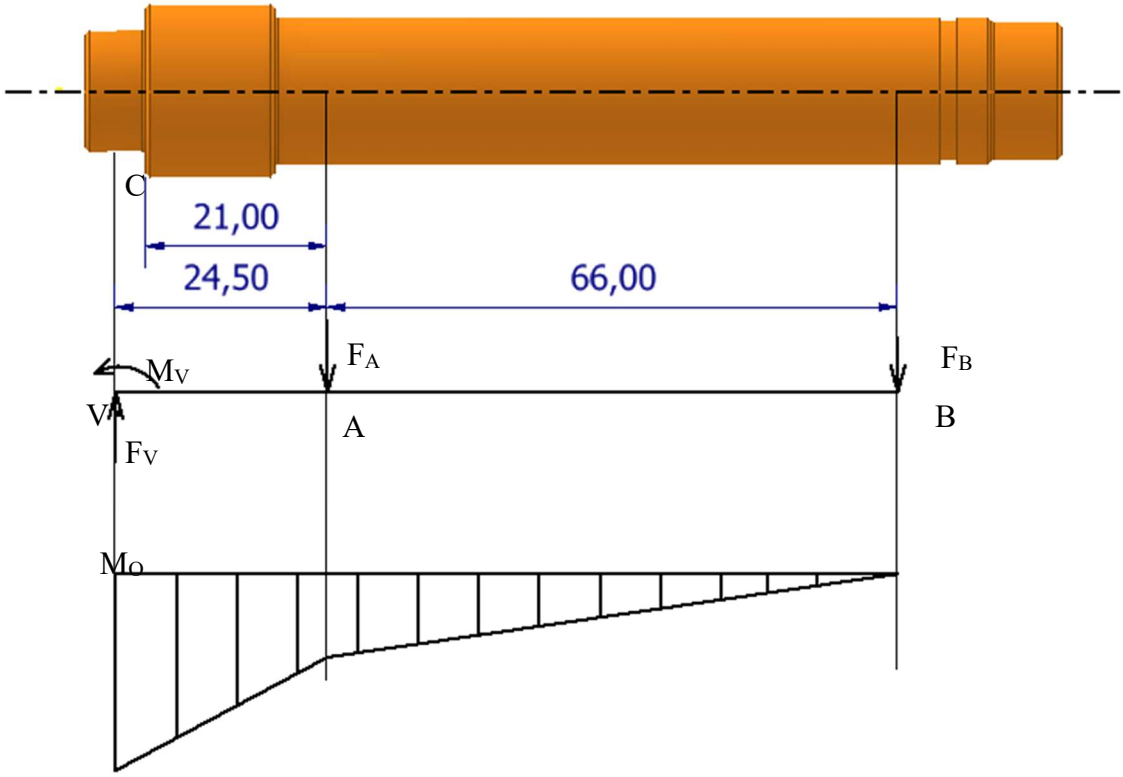
Ložisko B vyhovuje. Celková trvanlivost ložisek 10^6 hodin.

spolehlivost R_D (%)	označení výpočtové trvanlivost L_{nm}	součinitel spolehlivosti a_1 (1)
90	L_{10m}	1
95	L_{5m}	0,64
96	L_{4m}	0,55
97	L_{3m}	0,47
98	L_{2m}	0,37
99	L_{1m}	0,25

Tabulka 9 Součinitel spolehlivosti a_1 [1]

5.7 Hřídel napínací kladky

Hřídel přenáší sílu z ložisek na páku. Hřídel je pevně uložena a neotáčí se, nepřenáší tedy žádný kroutící moment a je namáhaná pouze na statický ohyb (obr. 37).



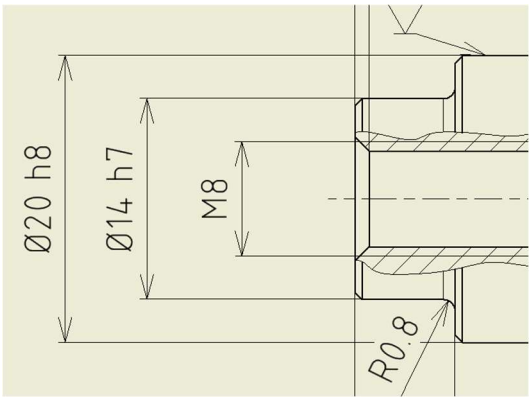
Obrázek 37 Průběh momentu

Nejnebezpečnější místo na hřídeli je v bodě C (viz obr.37 a 38), v tomto místě je vysoký ohybový moment, nejmenší průřez, koncentrátor napětí od změny průměru a díra se závitem.

Místo C:

Moment:

$$M_C = F_A \cdot 21 + F_B \cdot (21 + 66) = 51{,}03 \cdot 21 + 57{,}62 \cdot (21 + 66) = 6084{,}57\ Nmm \qquad (37)$$



Obrázek 38 Rozměry hřídele

Průřezový modul v ohybu (mezikruží):

$$W_O = \frac{\pi \cdot (d^3 - {d_M}^3)}{32} = \frac{\pi \cdot (14^3 - 8^3)}{32} = 219{,}1\ mm^3 \quad (38)$$

Součinitel tvaru v místě C (dle obr. 39):

$$\frac{r}{d} = \frac{0{,}8}{14} = 0{,}057 \quad (39)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{20}{14} = 1{,}43 \quad (40)$$

Po dosazení hodnot z rovnic 39 a 40 do obr. 39 je součinitel tvaru:

$$\alpha_C = 1{,}9$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_C}{W_o} \cdot \alpha_C = \frac{6084{,}57}{219{,}1} \cdot 1{,}9 = 52{,}76\ MPa \quad (41)$$

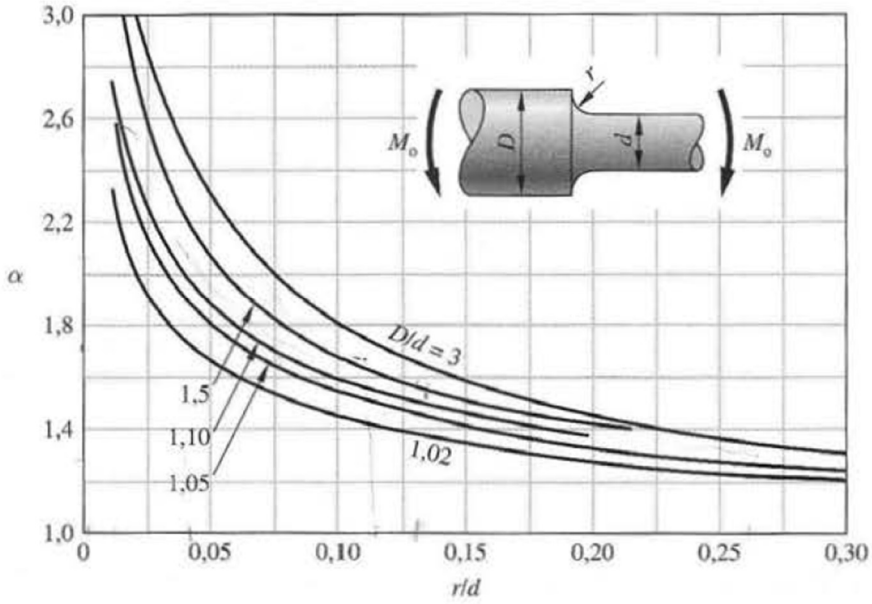
Mez kluzu pro ocel 11 500 [3]:

Re= 245 MPa

Bezpečnost na ohyb

$$k_k = \frac{Re}{\sigma_o} = \frac{245}{52{,}76} = 4{,}64 \quad (42)$$

Hřídel napínací kladky je navržen s bezpečností 4,64.



Obrázek 39 Součinitel tvaru [1]

6 ZÁVĚR

Výsledkem této bakalářské práce je návrh univerzální stojanové pásové brusky s třemi brusnými plochami. Bruska je určena pro profesionální/ poloprofesionální použití, s dlouhou životností. Stroj je poháněn motorem o výkonu 2,2 kW s pásem o délce 2000 mm a hmotnosti 151,49 kg.

Výdrž kritických části stroje je ověřena výpočtem. O bezpečnost se starají ochranné prvky navržené podle normy ČSN EN ISO 12100. Dále práce zahrnuje 3D model, výkres sestavy a výrobní výkresy několika vybraných dílů, které byly zpracovány pomocí aplikace Autodesk Inventor. Bruska byla navrhnuta na základě poznatků získaných průzkumem nabídky různých výrobců a odborné literatury.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.

[2] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN isbn80-7183-337-1.

[3] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *STROJNICKÉ TABULKY 1*. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.

[4] WANG, Tingting, Lai ZOU, Heng LI a Yun HUANG. A prediction model of residual stress for belt-grinding blade based on geometrical characteristic and progressive wear of abrasive grains. *International journal for numerical methods in engineering* [online]. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2022, **123**(12), 2814-2836 [cit. 2022-05-13]. ISSN 0029-5981. Dostupné z: doi:10.1002/nme.6960

[5] ČSN EN ISO 12100: Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. 2011.

[6] ČSN ISO 525. *Pojené brousící nástroje: obecné požadavky*. 2015.

[7] ČSN EN 60034-30. *Točivé elektrické stroje*. 2014.

[8] Kolíky a čepy. *Strojařská Bible* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.strojarskabible.cz/spoje/koliky-a-cepy/

[9] Jednoradové guľkové ložiská. *ZVL SLOVAKIA a.s.* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.zvlbearing-catalog.sk/katalog/tab-1/

[10] 040 BRUSNÝ PÁS 75X2000MM, ZIRKONKORUND 341XP STARCKE, PLÁTNO. *E-brusivo* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.e-brusivo.cz/pasy-do-strojnich-brusek/1512-1241-Brusny-pas-75x2000mm-zirkonkorund-341XP-Starcke-platno.html#/36-zrnitost-100

[11] PÁSOVÉ BRUSKY A ZAŘÍZENÍ PRO ÚPRAVU POVRCHU. *Abrasiv* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://pasove-brusky-abrasiv.cz/

[12] *Boukal: Stroje s lidskou péčí* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.boukal.cz/

[13] Širokopásová bruska DUPLEX 1100. *HOUFEK* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.houfek.com/sirokopasova-bruska-duplex-1100

[14] PARKSIDE® Kombinovaná bruska PSBS 240 C2. *Lidl-shop* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.lidl.cz/p/parkside-kombinovana-bruska-psbs-240-c2/p100335598

[15] Jak připojit třífázový elektromotor na síť 220 V. *Versar* [online]. 18.4.2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: http://versar.ru/jak-pripojit-trifazovy-elektromotor-na-sit-220-v/

[16] SIMOTICS GP General Purpose motors. *SIEMENS* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/low-voltage-motors/general-purpose-motors.html

[17]Bot. *GrabCAD* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://grabcad.com/library/bot-36

[18] ODSÁVACÍ HADICE 60MM. *Dobré stroje* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/1-1-DREVOOBRABECI-STROJE/138-3-ODSAVACI-HADICE-KLASICKE/5/438-ODSAVACI-HADICE-60MM

[19] Gångjärn GN237.5 i rostfritt stål. *Wiberger* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.wiberger.se/templates/gn237-5.htm

[20] Brusné pásy. *Piskač a syn a.s.* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.eshop.piskacasyn.cz/brusne-pasy?gclid=CjwKCAjwj42UBhAAEiwACIhADu8yh-uiEMI6bCwL89zY9eBDTo-sfOiWE0q98YAYWpSg5TH5oVUsWBoC6M0QAvD_BwE

[21] Asynchronní stroje: konstrukce, princip, funkce a řízení. *OENERGETICE.cz* [online]. 2017 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/elektrina/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni

[22] Broušení. *ELUC* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1825

[23] Coefficient of friction equation and table chart. *ENGINEERS EDGE* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.engineersedge.com/coeffients_of_friction.htm

[24] PÁSOVÁ BRUSKA PÁSOVEC 75/2. *Forsteel.eu* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.forsteel.eu/pasova-bruska-pasovec-75mm--2-rychlostni--nova-generace/?gclid=Cj0KCQjw-JyUBhCuARIsANUqQ_IMN9942C-CbvKBZ3aJae1ZLaLIjOivesMxjxo2m0FXXZ99Ib38f-MaApFPEALw_wcB

[25] BRUSKA BM25. *Bemetal* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.bemetal.cz/bruska-bm25

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratek

PB – Pásová bruska

VSM – Vnitřní síly a momenty

8.2 Seznam tabulek

TAB 1) TYPY POJIVA [6] 17
TAB 2) STUPNĚ TVRDOSTI [6] 17
TAB 3) VELIKOST ZRNA BRUSIVA [6] 18
TAB 4) PARAMETRY MOTORU [16] 27
TAB 5) VÝŠKA KLENUTÍ KLADKY [1] 39
TAB 6) MEZ PEVNOSTI DRÁTU PRUŽINY [1] 44
TAB 7) DOVOLENÉ SMYKOVÉ NAPĚTÍ [1] 45
TAB 8) DOPORUČENÉ TRVANLIVOSTI LOŽISEK [1] 47
TAB 9) SOUČINITEL SPOLEHLIVOSTI A_1 [1] 48

8.3 Seznam obrázků

OBR. 1) GEOMETRIE NÁSTROJE [22] 16
OBR. 2) BRUSNÝ KOTOUČ Z UMĚLÉHO KORUNDU [12] 18
OBR. 3) STOJANOVÁ BRUSKA BERNARDO [12] 19
OBR. 4) DÍLENSKÁ BRUSKA NS LHV 200 [11] 20
OBR. 5) BRUSKA S VOLNÝM PÁSEM NS LB50 [11] 21
OBR. 6) ŠIROKOPÁSOVÁ BRUSKA DUPLEX 1100 [13] 21
OBR. 7) PÁSOVÁ BRUSKA NA TRUBKY NS RC 200 [11] 22
OBR. 8) KOMBINOVANÁ BRUSKA PSBS 240 C2 [14] 22
OBR. 9) VRSTVY BRUSNÉHO PÁSU [5] 23
OBR. 10) INTERAKCE MEZI PÁSEM A OBROBKEM [5] 23
OBR. 11) ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR [15] 24
OBR. 12) PÁSOVEC 75 [24] 25
OBR. 13) BEMETAL BM 25 [25] 26
OBR. 14) ELEKTROMOTOR SIEMENS SIMOTICS GP [16] 27

OBR. 15) OVLÁDACÍ PANEL MOTORU [17] 27
OBR. 16) ŘEZ HNACÍ KLADKOU 28
OBR. 17) ŘEZ NAPÍNACÍ KLADKOU 29
OBR. 18) BRUSNÝ PÁS [11] 29
OBR. 19) NOSNÁ DESKA 30
OBR. 20) NAPÍNÁNÍ 30
OBR. 21) PŘEDNÍ KONTAKTNÍ DESKA A HORNÍ KLADKA 31
OBR. 22) HORNÍ KONTAKTNÍ DESKA 32
OBR. 23) OPĚRKA 32
OBR. 24) UCHYCENÍ OCHRANNÉHO KRYTU 33
OBR. 25) ZAJIŠTĚNÁ POZICE PÁKY 33
OBR. 26) POJISTNÝ MECHANISMUS - ODJIŠTĚNO 34
OBR. 27) POJISTNÝ MECHANISMUS - ZAJIŠTĚNO 34
OBR. 28) OCHRANNÉ KRYTY 35
OBR. 29) ODSÁVÁNÍ 36
OBR. 30) ERGONOMIE 36
OBR. 31) POHLED ZPRAVA 37
OBR. 32) POHLED ZLEVA 38
OBR. 33) DÉLKA PÁSU 40
OBR. 34) NAPÍNACÍ SÍLA 42
OBR. 35) PRŮBĚH SIL NA PÁSU 43
OBR. 36) SÍLY NA LOŽISKA 46
OBR. 37) PRŮBĚH MOMENTU 49
OBR. 38) ROZMĚRY HŘÍDELE 49
OBR. 39) SOUČINITEL TVARU [1] 50

8.4 Seznam symbolů

n	Otáčky motoru	[/min]
P	Výkon motoru	[W]
M	Krotící moment motoru	[Nm]
d_1	Průměr hnací kladky	[mm]
d_2	Průměr napínací kladky	[mm]
d_3	Průměr vodící kladky	[mm]
θ	Úhel opásání hnací kladky	[°]
α	Úhel opásání napínací kladky	[°]
m_1	Hmotnost vzorového pásu	[kg]
b_1	Šířka vzorového pásu	[mm]
l_1	Délka vzorového pásu	[mm]
ρ_s	Plošná hustota pásu	[kg/m^2]
F_c	Tahová síla od odstředivé síly	[N]
b	Šířka pásu	[mm]
ΔF	Rozdíl sil mezi ochablou a napjatou větví pásu	[N]
F_1	Síla v napjaté větvi pásu	[N]
F_2	Síla v ochablé větvi pásu	[N]
f	Součinitel tření mezi pásem a kladkou	[-]
F_u	Síla předpětí	[N]
F_N	Napínací síla	[N]
r	Vzdálenost čepu kluzáku od čepu v rámu	[mm]
s	Vzdálenost osy napínací kladky od čepu v rámu	[mm]
F_P	Síla na pružinu při běžném provozu	[N]
D	Průměr pružiny	[mm]
d	Průměr drátu pružiny	[mm]
n_a	Počet činných závitů pružiny	[-]
G	Modul pružnosti v krutu	[MPa]
y_1	Stlačení pružiny silou F_p	[mm]
y_2	Stlačení pružiny silou F_{max}	[mm]
L_{p0}	Délka pružiny v nezatíženém stavu	[mm]
L_{p1}	Délka pružiny zatížené silou F_1	[mm]
F_{max}	Síla na pružinu při výměně pásu	[N]
C	Poměr vinutí	[-]

K_B	Bergerstrasserův součinitel	[-]
τ	Smykové napětí při výměně pásu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
τ_D	Dovolené smykové	[MPa]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
L_1	Vzdálenost ložiska A od působiště síly F_N	[N]
L_2	Vzdálenost ložiska B od působiště síly F_N	[N]
F_A	Síla na ložisko A	[N]
F_B	Síla na ložisko B	[N]
n_n	Otáčky napínací kladky	[/min]
C_A	Dynamická únosnost ložiska A	[N]
C_B	Dynamická únosnost ložiska B	[N]
L_{10A}	Základní hodinová trvanlivost ložiska A	[hod]
L_{1A}	Modifikovaná trvanlivost ložiska A	[hod]
L_{10B}	Základní hodinová trvanlivost ložiska B	[hod]
L_{1B}	Modifikovaná trvanlivost ložiska B	[hod]
M_C	Ohybový moment v místě C	[Nmm]
W_O	Modul průřezu v ohybu	[mm^3]
σ_O	Napětí v ohybu	[MPa]
α_C	Součinitel tvaru	[-]
Re	Mez kluzu	[MPa]
k_k	Bezpečnost v ohybu	[-]

9 SEZNAM PŘÍLOH

1. 3D model pásové brusky
2. Výkres sestavy
3. Kusovník sestavy
4. Výkres hnací kladky
5. Výkres svařence rámu
6. Výkres napínací páky
7. Výkres hřídele napínací kladky