



**FAKULTA
ŠTOJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh variabilní pásové brusky

Design of a variable belt sander

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Kateřina CHLAPCOVÁ

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Štoček

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chlapcová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **477996**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh variabilní pásové brusky

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a variable belt sander

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši principů broušení a konstrukce brusných nástrojů. Dále navrhnete vlastní konstrukci polohovatelné pásové brusky. Vypracujte 3D model a výrobní dokumentaci vybraných dílů. Svůj návrh podpořte návrhovými a kontrolními výpočty.

Seznam doporučené literatury:

Dle vlastní rešerše.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Ondřej Štoček ústav konstruování a částí strojů FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **05.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **03.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Ondřej Štoček
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

28. 4. 2022
Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh variabilní pásové brusky** vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady, které uvádím v příloženém seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

Kateřina Chlapcová

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Štočkovi za jeho vedení, cenné rady a trpělivost během tvorby této práce. Veliké poděkování také patří mým konzultantům za jejich odborné připomínky, ochotu a trpělivost při získávání informací. V neposlední řadě bych si dovolila poděkovat mé rodině za jejich velikou podporu v životě a umožnění studovat.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Kateřina Chlapcová
Název BP:	Návrh variabilní pásové brusky
Anglický název:	Design of a variable belt sander
Rok:	2022
Studijní program:	B 2341 Strojírenství
Obor studia:	3901R051 Konstruování podporované počítačem
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Ondřej Štoček
Konzultant:	Tomáš Chlapec, Bc. Jan Kroupa
Bibliografické údaje:	počet stran 60 počet obrázků 56 počet tabulek 6 počet příloh 5
Klíčová slova:	broušení, pásová bruska, bruska, variabilní, brusné pásy, frekvenční měnič, druhy brusek, řezná síla, napínací síla, kontrola svaru, trvanlivost ložisek
Keywords:	grinding, belt grinder, grinder, variable, abrasive bands, frequency changer, types of grinders, cutting force, tension force, weld control, bearing durability
Anotace:	Obsahem bakalářské práce je návrh variabilní pásové brusky. Obsahuje rešerši o broušení a dělení brusek dle brusného nástroje. Jejich zhodnocení a ukázkou typů vyráběných rámců brusek. V praktické části je samotný návrh brusky dle zadaných požadavků. Jsou počítány návrhové a kontrolní výpočty pro návrh brusky. Bakalářská práce je obohacena o vizualizaci modelu a výkresovou dokumentaci.
Abstract:	The content of the Bachelor thesis is the design of a variable belt grinder. The thesis contains a reshuffle on grinding and cutting grinders according to abrasive tool. Their appreciation and demonstration of the types of grinder frames produced. The practical part is the design of the grinder itself according to the specified requirements. The design and control calculations for the grinder design are calculated. The Bachelor thesis is enriched with model visualization and drawing documentation.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Broušení.....	2
2.1. Princip broušení.....	2
3. Brusné nástroje.....	4
3.1. Dělení brusných nástrojů.....	4
4. Druhy používaných brusek.....	5
4.1. Pásové brusky.....	5
4.1.1. Ruční pásové brusky.....	5
4.1.2. Stolní pásové brusky.....	6
4.1.3. Stojanové pásové brusky.....	7
4.2. Kotoučové brusky.....	7
4.3. Čelní brusky.....	9
4.4. Kombinované.....	9
4.4.1. Stolní kombinované.....	10
4.4.2. Stojanové kombinované.....	10
4.5. Modelářské brusky.....	10
4.6. Porovnání brusek.....	11
5. Popis dílčích komponent.....	12
5.1. Pohon.....	12
5.2. Frekvenční měnič.....	13
5.3. Rám brusky.....	14
5.4. Kladky.....	15
5.5. Pásy.....	16
6. Vlastní návrh.....	19
6.1. Zadání vstupních parametrů.....	19
6.2. Návrhové výpočty.....	20
6.2.1. Volba pásu.....	20
6.2.2. Návrh velikosti hnací rolny.....	21
6.2.3. Výpočet sil v pásu.....	21
6.2.4. Výpočet rozměru obrobku při broušení.....	24
6.2.5. Návrh pružiny napínací kladky.....	25
6.3. Vlastní návrh brusky.....	26
6.3.1. Svařenec těla brusky.....	26
6.3.2. Sestava brusky.....	27
6.3.3. Mechanismus napínáku.....	28
6.3.4. Domeček.....	29
6.3.5. Sestava svislého stolku.....	29
6.3.6. Sestava brusky se sklápěcím mechanismem.....	30
6.3.7. Umístění v prostoru.....	32
6.4. Kontrolní výpočty.....	33
6.4.1. Kontrola ložisek.....	33
6.4.2. Kontrola svaru.....	35

6.4.3.	Kontrola šroubu pro pružinu	37
6.4.4.	Kontrola hřídele pro výměnné rolny	39
6.4.5.	Kontrola hřídele motoru	41
6.4.6.	Volba frekvenčního měniče	43
7.	Závěr.....	44
	Seznam použité literatury	45
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek	51
	Seznam příloh.....	51

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
D_r	[mm]	Průměr hnací rolny
v_r	[m/s]	Řezná rychlost hnací rolny
π	[rad]	Ludolfovo číslo π
n_m	[min ⁻¹]	Otáčky motoru
v_o	[m/s]	Skutečná řezná obvodová rychlost
η_{mot}	[%]	Účinnost motoru
P_{mot}	[W]	Výkon motoru
P_m	[W]	Reálný výkon motoru
F_x	[N]	Axiální složka síly
F_y	[N]	Radiální složka síly
F_z	[N]	Tangenciální složka síly
$\dot{V}_{I,II}$	[mm ³]	Úbytek materiálu
b	[mm]	Šířka
h	[mm]	Výška
s	[mm]	Hloubka
v_p	[m/s]	Rychlost přísuvu obrobku
p	[MPa]	Měrný řezný odpor
Rm	[MPa]	Mez kluzu v tahu
α	[°]	Úhel opásání
μ	[-]	Koeficient tření
e	[-]	Eulerovo číslo
z_{min}	[N]	Minimální napínací síla
$F_{př}$	[N]	Přítlačovací síla
T_1	[N]	Síla v zatížené části pásu
T_2	[N]	Síla v odlehčené části pásu
S_m	[mm ²]	Plocha úběru materiálu
S_{br}	[mm ²]	Maximální brusná plocha materiálu
S_{tr}	[mm ²]	Plocha trubek
x	[mm]	Prodloužení pružiny
$n_{lož}$	[min ⁻¹]	Otáčky ložiska
d_{r20}	[mm]	Průměr nejmenší kontaktní rolny
c	[kN]	Dynamická účinnost ložiska
$n_{přípust.}$	[min ⁻¹]	Přípustné otáčky ložiska
$F_{A,B}$	[N]	Zatěžující síla ložiska v podpěře A, B
L_{10}	[10 ⁶ ot]	Trvanlivost ložisek
L_{10h}	[hod]	Trvanlivost ložisek v provozních hodinách
p	[-]	Exponent rovnice trvanlivosti

τ	[MPa]	Celkové smykové napětí
τ_t	[MPa]	Smykové napětí od tahu
τ_o	[MPa]	Smykové napětí od ohybu
τ_s	[MPa]	Smykové napětí od stříhu
$\alpha_{\tau\perp}$	[-]	Součinitel anizotropie pro kolmý směr
$\alpha_{\tau\parallel}$	[-]	Součinitel anizotropie pro rovnoběžný směr
$m_{brus.}$	[kg]	Hmotnost brusky
$m_{obrob.}$	[kg]	Hmotnost přitlačovaného obrobku
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
a	[mm]	Výška svaru
l	[mm]	Vzdálenost síly od těžiště brusky
F_m	[N]	Síla od hmotnosti pro svar
M_o	[Nmm]	Ohybový moment
W_o	[mm ³]	Kvadratický moment průřezu v ohybu
h_s	[mm]	Délka svaru
σ_D	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
d_3	[mm]	Malý průměr závitu šroubu
F_p	[N]	Napínací síla pružiny
σ_{Ds}	[MPa]	Dovolené normálové napětí
σ	[MPa]	Normálové napětí
F_o	[N]	Osová síla šroubu
S_{\S}	[mm ²]	Plocha šroubu
k	[-]	Koeficient bezpečnosti
p_o	[MPa]	Tlak v závitech
$z_{\check{c}}$	[-]	Počet činných závitů
d_2	[mm]	Střední průměr závitu šroubu
H_1	[mm]	Nosná výška profilu závitu
p_D	[MPa]	Dovolený tlak v závitech
M_{KK}	[Nmm]	Utahovací moment
M_{TM}	[Nmm]	Třecí moment pod maticí
M_Z	[Nmm]	Moment závitu
ρ_M	[mm]	Otvor klíče
φ'	[°]	Třecí úhel
γ	[°]	Úhel stoupání závitu
β	[°]	Polovina vrcholového úhlu závitu
s	[mm]	Stoupání závitu
M_K	[Nmm]	Kroutící moment
r	[mm]	Poloměr skutečné hnací rolny
v_{30Hz}	[m/s]	Maximální rychlost pro 30 Hz
v_{70Hz}	[m/s]	Maximální rychlost pro 70 Hz

1. Úvod

Při výrobě jakýchkoliv součástí se do výrobního procesu stále častěji zařazuje broušení. To je způsobeno především zvyšujícími se nároky na přesnost rozměrů výrobku a jakost povrchu. Zde se jedná o broušení hřídelí, vaček, ozubených kol a dalších strojních součástí. Broušení se dále používá při přípravě svarových spojů, zejména u tupých svarů. Velkou úlohu zastupuje v zámečnické výrobě, kdy se broušením upravují ocelové profily, plechy a trubky pro dosažení požadovaného tvaru. Rozbrušování zajišťuje dělení materiálu například při výrobě metalografických vzorků, kdy se vzorky rozbrušují na speciální metalografické pile. V neposlední řadě slouží broušení pro odstraňování otrepů, ostrých hran a nežádoucích povrchových úprav.

V dnešní době existuje velké množství druhů brusek pro domácí i profesionální broušení. V zámečnických a domácích dílnách se používají pásové a kombinované brusky, které jsou upraveny podle potřeby firem nebo domácích kutilů na základě vyráběných součástí. Předmětem této bakalářské práce bude kompletní návrh variabilní pásové brusky podle konkrétního zadání, která bude umožňovat broušení rovinných i rotačních ploch a zejména čelních ploch trubek na výměnných kontaktních kolech.

V první části bakalářské práce je shrnutí samotného broušení. Řeč je i o brusných nástrojích, jejich složení a dělení. Hlavní částí první poloviny bakalářské práce je ukázka používaných brusek podle použitého brusného nástroje. Také jsou ukázány používané konstrukce brusek a jejich porovnání. V druhé polovině práce jsou návrhové a kontrolní výpočty. Popis samotné konstrukce brusky a ukázka 3D modelu. Součástí práce je výkresová dokumentace vybraných sestav a dílů.

2. Broušení

Jedná se o dokončovací proces obrábění, během kterého se odebírají drobné částičky třísky mnohobřitým nástrojem. Výsledkem tohoto procesu je dosažení přesných rozměrů výrobku, požadovaných tvarů, a především drsnosti povrchu, která může být v rozmezí Ra 1,6 až 0,2 μm .

Broušení se dá uplatnit na velmi širokou škálu materiálů. Od měkkých konstrukčních ocelí po vysoce legované oceli a jiné železné i neželezné slitiny. Dále také na slinuté karbidy, polymery, keramiku, dřevo, sklo.

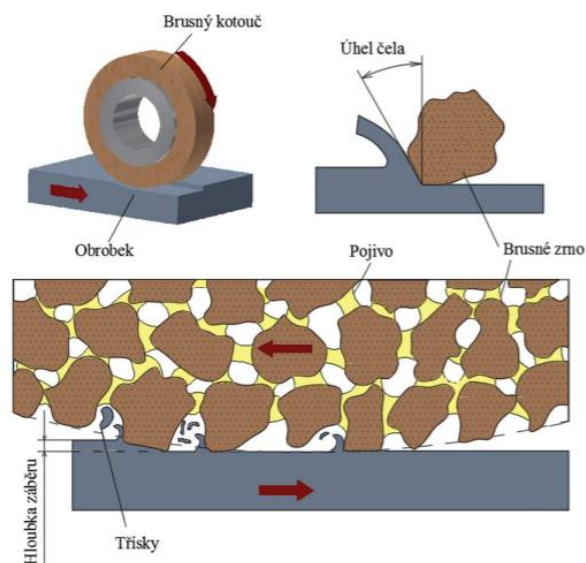
Dostí využívané je broušení při obnovování řezivosti nástrojů, což nazýváme ostření. Dalším využitím může být dělení materiálu, tzv. rozbrušování. [1], [2], [3], [4], [5]

2.1. Princip broušení

Broušení je třískové obrábění, během kterého je z obrobku odebírána tenká vrstva materiálu v podobě třísky. Zpravidla je broušení zajištěno nástrojem, který vykonává hlavní řezný pohyb. Při ručním broušení je brusný nástroj nebo stroj veden na obrobku ručně. Ručně je v tomto případě často vykonáván i přísuv a posuv. Při strojním broušení je většina potřebných pohybů řízena strojem.

U broušení se materiál odebírá pomocí drobných, tvrdých zrn brusiva s množstvím nepravidelných a nahodile orientovaných břitů po celém obvodu brusného pásu nebo kotouče, které jsou spojeny různými druhy pojiv, což lze vidět na Obr. 1.

Rozdíl broušení od frézování spočívá ve velikosti průřezu odebírané třísky, která bývá při broušení 0,0001 - 0,002 mm^2 . Podmínky a parametry broušení jsou různé podle typu broušení, broušeného materiálu a brusného nástroje. Ve většině případů proces probíhá při řezných rychlostech okolo 30 - 80 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, otáčky brousícího vřetene jsou 2 000 - 100 000 min^{-1} .



Obr. 1.: Princip broušení [7][8]



Důsledkem velké řezné rychlosti je vznik tepla a vysoké teploty třísek. To může mít při broušení ocelí za následek možné popouštění povrchové vrstvy, oduhličení nebo pnutí vyvolávající vznik trhlin. Proto je potřeba správného chlazení.

Velké řezné rychlosti jsou nutné především pro brousící zrna, která mají negativní úhel čela, aby byla schopna i přes to odebírat třísku. [1], [5], [6], [7], [9], [10], [11], [12], [13]

3. Brusné nástroje

Tyto řezné nástroje se skládají z několika částí, mezi které patří brusná zrna, pojivo a póry. Brusná zrna, která vytvářejí řezné klíny, jsou spojena pojivem, čímž tvoří jednotný celek. Mezi zrny jsou dutiny neboli póry, ve kterých se hromadí třísky při broušení. Kvantitativní poměr objemu pojiva, brusiva a pórů brusného nástroje se označuje jako jeho sloh. Čím je jeho číslo větší, tím je větší velikost pórů v nástroji. Pro obrábění houževnatých a měkkých materiálů se používají nástroje s větší pórovitostí. Naopak pro materiály křehké a tvrdé se volí nástroje s menší pórovitostí.

Základními parametry pro tyto nástroje jsou jednoznačně druh brusiva a pojiva, zrnitost brusiva, tvrdost nástroje, sloh nebo struktura nástroje a geometrický tvar a rozměry.

Ve většině případů se při broušení používají brusné kotouče. To především proto, že se často jedná o jediný nástroj, kterým lze hospodárně obrábět kalené, cementované součásti a mnoho dalších materiálů. [6], [9], [10], [14], [15]

3.1. Dělení brusných nástrojů

Brusné nástroje lze dělit podle několika kritérií, a to například podle formy a tvaru.

Podle formy můžeme brusné nástroje dělit následovně:

- s vázaným pevným brusivem (nástroje spojeny pojivem do tvaru kotouče, brousícího tělesa, segmentu, brousícího kamene, brousícího pásu a dalších);
- s volným brusivem (zrna jsou ve formě prášku při broušení kapalinou, ultrazvukem).

Podle tvaru dělíme pak na:

- brousící pilníky,
- řezací a leštící kotouče,
- brousící segmenty,
- obtahovací kameny,
- brousící kotouče,
- brusné pásy. [10], [14]

4. Druhy používaných brusek

Jelikož je technologie broušení využívána napříč mnoha obory a pro různé materiály, existuje v dnešní době široká škála typů brusek, různých variací a kombinací těchto strojů.

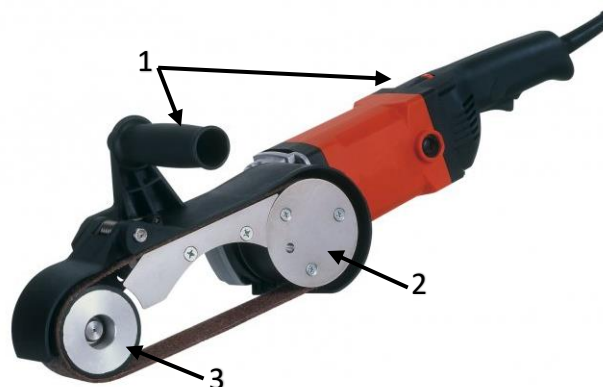
Brousící stroje neboli brusky, se využívají pro broušení strojních součástí, což jsou brusky výrobní, nebo k broušení nástrojů, poté mluvíme o bruskách nástrojových. Tyto konstrukčně složitější stroje jsou využívány především do dílen či nástrojáren. Avšak existují i brusky pro hobby a domácí využití. V první řadě je třeba si uvědomit, co bude na stroji broušeno. Dále jaké jsou požadavky výsledného povrchu, a od toho se odvíjí druh broušení, brusný nástroj, brusná rychlost a výkon pohonu. [6], [3], [9], [10]

4.1. Pásové brusky

Dnešní trh nabízí širokou škálu pásových brusek různých konstrukcí, velikostí a upořádání, a to od různých výrobců. Vzhledem k tomu je lze pro zjednodušení rozdělit do čtyř kategorií: ruční, stolní, stojanové a kombinované. [3]

4.1.1. Ruční pásové brusky

Ruční pásové brusky se nejvíce využívají pro broušení rovinných ploch a hlazení dřevěných, plastových nebo kovových ploch až k okraji obrobku. Jak je možno vidět na Obr. 2, konstrukčně se ruční brusky skládají z madel (1) pro snazší úchop a vedení pásu. Přenos krouticího momentu na pás je zajištěn hnací kladkou (2) a napnutí pásu je realizováno pomocí druhé kladky, tzv. vodící (3). Nezbytnými prvky jsou, jako u každé jiné brusky, pohon, elektrotechnické prvky, tělo brusky. Brusná plocha se nachází na pásu mezi kladkami. Výměna pásu je uskutečněna povolením upínací páky, která má za funkci kontrolu napnutí pásu. Na přední kladce je umístěn seřizovací šroub pro vycentrování chodu brusného pásu. Elektromotory brusek umožňují často regulovat jmenovitý výkon potenciometrem zhruba v rozmezí 500 – 1 000 W.



Obr. 2.: Ruční pásová bruska a leštička PASOVEC 40 [16]

Ze speciálních ručních brusek stojí za zmínku bruska se třemi kladkami (Obr. 3) – jedna hnací a zbylé dvě vodící. Jednu nalezneme na naklápěcím rameni, což umožňuje

přizpůsobení vedení pásu k broušení profilu trubek, pro které je tato bruska využívána. [3], [12], [17], [18]



Obr. 3.: Ruční pásová bruska na trubky PASOVEC 40V [19]

4.1.2. Stolní pásové brusky

Stolní pásové brusky mají své využití zejména v zámečnických dílnách a nástrojárnách. Svou koncepcí se řadí mezi stroje tzv. stacionární, jelikož jsou uloženy na jednom místě. Skládají se ze základních komponentů, kterými jsou přírubový nebo patkový motor, podle stavby konstrukce. Dále pak z hnacích a hnaných kladek a rámu, který má na spodní části otvory pro pevné uchycení celé brusky k pracovnímu stolu pomocí šroubů. Ukázkou může být bruska PASOVEC 100 od výrobce NKO MACHINES viz Obr. 4.



Obr. 4.: Stolní pásová bruska PASOVEC 100 [20]

Tento typ brusek se rozděluje na dvě skupiny, které se liší v nastavení pásu. Jsou to tedy brusky s horizontálním nebo vertikálním broušením. Výběr orientace pásu závisí především na typu broušené součásti. [3], [20]

4.1.3. Stojanové pásové brusky

Tento typ brusek se opět řadí mezi tzv. stacionární stroje, jako tomu je u stolních brusek s tím rozdílem, že konstrukce stojanových brusek je uzpůsobena pro připevnění přímo k podlaze. Funkčnost je obdobná jako u výše zmíněných brusek. Vzhledem k tomu, že stojanová bruska má větší konstrukci a delší pás, je zapotřebí pro vedení pásu použít více kladek.

Tento typ brusek je vhodný do průmyslových provozů s trvalým umístěním, kde je významná potřeba broušení obrobků, čímž může být například typ NS LV200 viz Obr. 5. V takovém prostředí musí být zajištěna bezpečnost dle příslušných norem. Proto jsou konstrukce těchto brusek řádně zakrytovány a mají zajištěné odpovídající odsávání. [3][21]

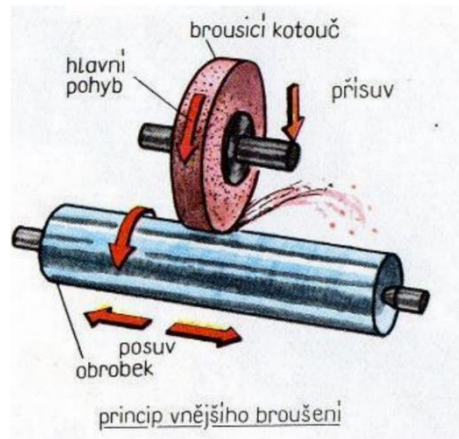


*Obr. 5.: Stojanová pásová bruska NS
LV200 [21]*

4.2. Kotoučové brusky

Ve strojírenství jsou nevíce využívané právě brusky kotoučové. Používají se hlavně při broušení hřídelí za pomoci technologie hrotového nebo bezhrotového broušení.

Hrotové brusky jsou stroje na broušení vnějších i vnitřních válcových a kuželových ploch. Brusný kotouč svým obvodem opracovává dané plochy, při čemž je potřeba zpravidla tří pohybů, jeden hlavní a dva vedlejší, které jsou vyobrazeny na Obr. 6.



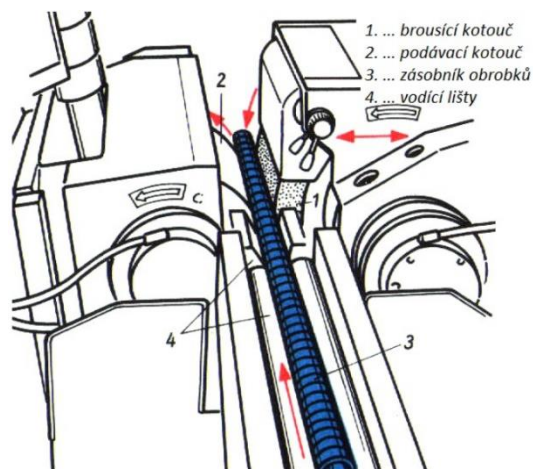
Obr. 6.: Princíp vnějšího broušení [22]

Ukázkou hrotových brusek může být bruska Bernardo URS 3000 N (Obr. 7) s digitálním odměřováním. Je vhodná pro vnitřní a vnější broušení, na výrobu forem a malosériovou výrobu. [1], [10], [15], [23], [24]



Obr. 7.: Hrotová bruska Bernardo URS 3000 N [23]

Jak hrotové, tak i bezhroté brusky jsou určeny pro rotační plochy válcové nebo kuželové. Rozdíl těchto dvou brusek je v konstrukci.



Obr. 8.: Princíp bezhroté brusky [25]

U bezhroté je místo upínání obrobku mezi hroty, obrobek držen pomocí podávacího kotouče, díky kterému dochází ke styku s brusným kotoučem a vodící lišty, viz Obr. 8.



Obr. 9.: Bezhrotá bruska KCG-18S [26]

Tyto brusky mají velikou přesnost broušení, proto se využívají například při broušení válečků valivých ložisek. Ukázkou takovéto brusky může být KCG - 18S (viz Obr. 9) od výrobce KENT USA. [1], [10], [15], [24], [26]

4.3. Čelní brusky

Čelní nebo též talířové broušení spadá pod rovinné broušení. Brouší se rovnou čelní plochou kotouče. Obrobek může vykonávat pohyb podélný nebo kruhový, například na otočném stole. Během této metody je ve stálém záběru velká plocha kotouče, což vede k častému zanesení třískami. Při pevně nastaveném přísuvu má kotouč veliký tlak na obrobek, velký brousící výkon a odběr třísky. Ovšem vysoký výkon je na úkor kvality povrchu obrobku, a bruska tedy není tak přesná. [27]



Obr. 10.: Čelní bruska JET JDS-12X [28]

Mezi zástupce čelních brusek patří bruska JET JDS - 12X na Obr. 10.

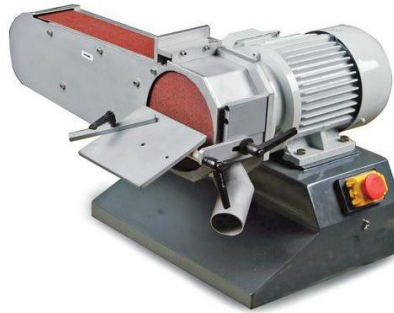
4.4. Kombinované

V následující kapitole budou vysvětleny a ukázány kombinované brusky.

4.4.1. Stolní kombinované

Kombinované brusky jsou v nejhojnějším zastoupení stolového typu. Význam názvu kombinovaná bruska spočívá v kombinaci brusného pásu s brusným kotoučem. Díky tomuto spojení má bruska výhodu mnohostranného využití pro různé obrobky, a úsporu místa sjednocením dvou strojů v jeden. Některé jsou vybaveny odsávacím vývodem, jako tomu je u brusky OPTIgrind DBS 75, viz Obr. 11.

Často používané jsou v nástrojárnách pro broušení nástrojů a nožových čepelí.



Obr. 11.: Kombinovaná bruska OPTIgrind DBS 75 [29]

4.4.2. Stojanové kombinované

Kombinované brusky mohou být i stojanové. Jsou stejné, jako výše zmíněné stolní brusky, až na ten rozdíl, že jsou umístěné na samostatném stojanu. Jak už víme, jedná se o konstrukce, které jsou navrženy pro upevnění k podlaze. I zde mohou být různé kombinace broušení.

4.5. Modelářské brusky

Do dělení lze zahrnout také modelářské brusky. Jedná se o brusky, které se používají pro jemné dokončovací práce. Využití mají především v podnicích, které se zabývají například jemnou mechanikou, tzn. ve zlatnictví, hodinářství, stomatologii, optice nebo také při opravách a kusových výrobách na zakázku.

Hlavní částí modelářské brusky je její tělo, které je uzpůsobené pro snadné držení v ruce. V častém provedení se zabudovaným regulátorem rychlosti. Vyměnitelná hlavice s vyměnitelnými nástroji umožňuje širokou škálu použití. Zástupce takovéto brusky můžeme vidět na Obr. 12 od firmy Proxxon.



Obr. 12.: Modelářská bruska Proxxon Micromot [30]

4.6. Porovnání brusek

Ruční pásová bruska je vhodná pro zaoblování hran, tvarování nebo také pro obroušení velkých a rovinných ploch. Její výhodou je přenositelnost a kompaktnost. Nevýhodou těchto brusek je, že její přesnost závisí na schopnostech obsluhujícího dělníka a není vhodná pro nepřetržitý provoz.

Stolní pásová bruska na rozdíl od ruční brusky vyniká větším výkonem a hmotností. Kromě hlavního rotačního pohybu nástroje, je zde oproti ručním bruskám třeba vykonávat vedlejší pohyb, který koná obrobek. Nevýhodou je samozřejmě vyšší pořizovací cena a potřebné umístění na stolku. Hlavní rozdíl je ve velikosti konstrukce.

Stojanové brusky jsou přesnější, výkonnější a kvalitnější. Přesnost závisí na seřízení a nastavení samotné brusky. Je vhodná tam, kde je broušení stěžejní náplní práce. Nevýhodou je též vyšší pořizovací cena, potřebný prostor pro umístění a vhodné podmínky pro uchycení do podlahy.

Bezhrté brusky vynikají především tím, že není třeba obrobek upínat, tudíž obrobku není třeba předvrtávat středící důlky. Obrobek se neprohýbá a brousící chod je nepřetržitý. Velikost brusky je určena maximálním průměrem obrobku. Konstrukce celé brusky je poměrně velká, proto je zapotřebí počítat s dostatečným prostorem pro umístění.

Hrotové brusky jsou určeny spíše pro krátké hřídele. Obrobek je v tomto případě, na rozdíl od bezhrté brusky, třeba upnout mezi hroty a u dlouhých hřídelí podepřít lunetami. Hrotové i bezhrté brusky se na rozdíl od těch pásových zaměřují na rotační, válcové nebo i kuželové plochy. Pásové brusky jsou vhodné pro rovinné plochy.

Čelní brusky mají podobnou strukturu jako pásové brusky, liší se druhem nástroje. Místo brusného pásu je použit brusný talíř. Čelní brusky se využívají pro broušení dřeva i kovu, a to především při odstraňování starého laku, odrezování, leštění, srážení hran a broušení starých povrchových úprav. Velká plocha kotouče umožňuje velký úběr. Nevýhodou je ovšem časté zanešení brusiva, a s tím spojená velká spotřeba brusných talířů. Jsou vhodné pro domácí použití ale i pro střední sériovou výrobu.

Výhoda kombinovaných brusek, jak název napovídá, je v samotné kombinaci více druhů brusek. Kombinace především šetří zastavěnou plochu strojem, kde by jinak muselo být více strojů. Šetření se projeví i v ceně, kdy se pořizuje pouze jeden stroj. Kombinace mohou být různé, záleží především na potřebném využití. Kombinace může být v rámci brusek (např. kotouč s- pásem, bruska s- leštičkou, bruska s- úkosovačkou, leštička s leštičkou nebo leštička s- úkosovačkou). Nevýhoda spočívá v přesnosti výroby a výkonu. Často může být i nevýhoda v omezeném pracovním prostoru mezi kombinovanými stroji.

Modelářské brusky jsou výhodné pro ruční a drobné práce, kam se klasické brusky nemají možnost dostat. Výhodou je možnost výměny hlavice s nespočtem různých nástrojů. Mezi nevýhody patří časté opotřebování nástrojů. Další nevýhodou můžeme označit následnou kvalitu výrobku, která závisí na zručnosti a šikovnosti pracovníka.

5. Popis dílčích komponent

V předchozí kapitole byly představeny a popsány typy brusek, které se používají a prodávají v České republice. Světový trh nabízí i specifické konstrukce brusek, zejména pásových, které u tuzemských dodavatelů koupit nelze. Jedná se o brusky stavebnicového typu nebo brusky, které jsou vyráběné podomácku. Těchto konstrukcí je nespočet různých provedení a typů.

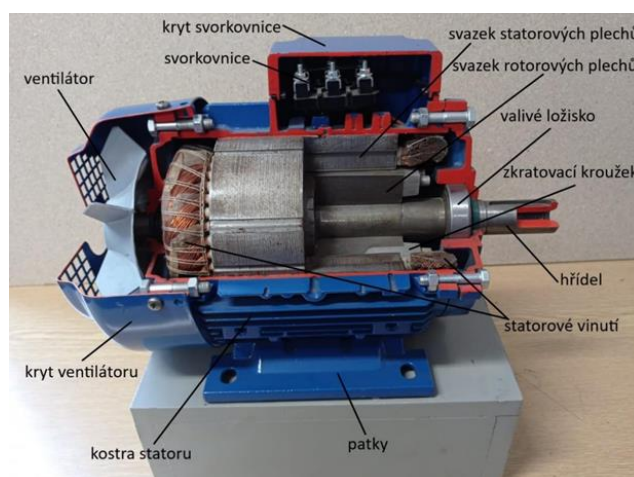
Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh specifické stolní pásové brusky, která vyniká možností naklápění brusného pásu a broušení trubek. Ačkoliv se jedná o ojedinělou koncepci brusky, všechny konstrukce se skládají ze stejných základních dílčích komponent, liší se pouze provedením a detaily. Jednotlivé dílčí komponenty takovéto stolní pásové brusky si ukážeme a popíšeme níže.

5.1. Pohon

Dříve se pro pohon brusek využívaly ruční pohony nebo energie vodních spádů. V současnosti díky elektronice můžeme využívat pohony elektrické. Mezi nejpoužívanější pohony pro pásové brusky patří dvoupólový třífázový asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko.

Tyto motory vynikají snadnou konstrukcí, bezúdržbovým chodem a napájením z klasické střídavé sítě. Jejich využití je nejčtenější u strojů (jeřábů, stavebních zařízení), v domácnostech a dílnách. Specificky jako pohon čerpadel, cirkulárek, kompresorů, ventilátorů nebo také výtahů.

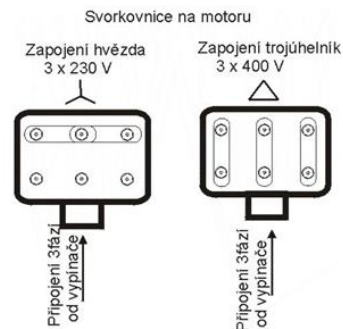
Hlavními částmi asynchronních motorů je statorová a rotorová část. Statorová část je nehybná a je tvořena z nosné konstrukce, patek a ložiskových štítů. Motor je ke zdroji napětí připojen pomocí svorkovnice, na kterou jsou vyvedeny vývody z cívek. Schéma motoru lze vidět na Obr. 13, kde jsou všechny jeho části popsány.



Obr. 13.: Řez třífázovým asynchronním motorem s kotvou nakrátko [31]

Při větších výkonech se používají motory s neizolovanými vodiči v rotoru, které jsou na obou koncích spojeny zkratovacími kroužky. Takovéto vinutí nazýváme klec (kotva) nakrátko.

Princip asynchronního motoru spočívá v interakci statorového a rotorového vinutí. Ve statorovém vinutí vzniká synchronní točivé magnetické pole. To vyvolává sílu otáčející rotorem. Magnetický tok proudí díky vzduchové mezeře mezi statorem a rotorem. Samotný název asynchronního motoru vychází z rozdílných otáček statoru a rotoru. Tento rozdíl otáček se nazývá skluz, kdy se tedy rotor otáčí pomaleji než stator.



Obr. 14.: Zapojení motoru do hvězdy a trojúhelníka [32]

Na Obr. 14 vidíme zapojení třífázového asynchronního motoru, které může být v konfiguraci hvězda nebo trojúhelník. Je důležité se vždy řídit podle daného motoru, a to datovým listem a typovým štítkem. [33], [34], [35]

5.2. Frekvenční měnič

Společně s třífázovým asynchronním motorem lze použít frekvenční měnič. Jeho funkce slouží k plynulé regulaci otáček třífázových elektromotorů. Změna otáček je docílena změnou frekvence současně s napětím. Po dosažení jmenovitého napětí se dále reguluje už jen změnou frekvence. Používá se především při potřebě měnit rychlosti otáček a též příznivě ovlivňuje snížení proudových a momentových rázů při rozběhu motoru. Využití frekvenčního měniče značně ušetří energii a zlepší kvalitu produkce, díky tomu se náklady na pořízení měniče velmi rychle navrátí.



Obr. 15.: Frekvenční měnič ABB [36]

Frekvenční měnič je velmi výhodný zejména pro pásovou brusku, kde lze regulovat otáčky, a tím použít širší škálu materiálu na opracování. Jedním zástupcem z mnoha typů je frekvenční měnič od firmy ABB, viz Obr. 15. [37]

5.3. Rám brusky

Rám je základním nosným komponentem celé pásové brusky. Zajišťuje propojení a uložení všech částí. Rám by měl být správně navržen tak, aby byl dostatečně tuhý, funkční a umožňoval snadné a bezpečné upevnění všech komponent. Při návrhu by měly být zohledněny i vibrace od pohonu, které je pro dosažení lepšího výkonu vhodné tlumit.

Častým provedením rámu bývá svařenec ze čtvercových ocelových profilů (Obr. 16). Tento svařenec je následně upevněn k nosné desce nebo noze, která se poté díky šroubům připevní k pracovnímu stolu. Během výroby se musí věnovat pozornost deformaci vyvolané teplem při svařování.



Obr. 16.: Rám ze čtvercových profilů [38]

Dalším typem rámu jsou konstrukce z plechových výpalků (Obr. 17), které jsou při velkosériové výrobě výhodnější než ty ze čtvercových profilů. Na rozdíl od konstrukce z profilů zde nedochází k takovému tepelnému ovlivnění při svařování, jelikož při správně navržené konstrukci není potřeba velkého množství svarů.



Obr. 17.: Rám z výpalků [39]

Můžeme se také setkat s rámem litým (Obr. 18), který je výhodný při velkosériové výrobě. Jeho výhodou je velké tlumení rázů od pohonu, než je tomu například u ocelových konstrukcí.



Obr. 18.: Litý rám [40]

5.4. Kladky

Pro chod brusného pásu se využívají kladky. Často jsou také nazývané jako rolny. Lze je rozdělit do několika skupin:

- kladky hnací
- kladky napínací
- kladky naklápěcí
- kladky vodící
- kladky kontaktní.

Kladky hnací přenáší výkon od motoru nejčastěji pomocí těsného pera, a zajišťují tím pohyb pásu. Ve většině případů se umísťují rovnou na hřídel od motoru. Průměr kladky ovlivňuje rychlost pohybu pásu. Rozměry kladky se tedy volí na základě brusné rychlosti, otáček motoru a šířky brusného pásu. Hnací kladky se vyrábějí převážně z oceli, slitin hliníku nebo litin. V případě odlehčení konstrukce se využívá plastů, zejména silonových (PA6). Materiál kladek obecně musí splňovat životnost, požadovanou hmotnost a cenovou dostupnost.

Napínací kladky mají za úkol dostatečně přetáhnout pás pro správný chod. Měly by být stavitelné vzhledem k tomu, že se pás postupně opotřebovává a prodlužuje.

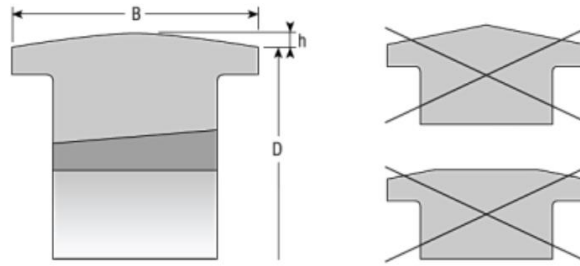
Pro zamezení sjízdnosti pásu ze své trajektorie jej lze regulovat pomocí naklápěcí kladky. Ta umožňuje naklápění své osy v rovině kolmé k vektoru pohybu pásu běžně v rozsahu pěti stupňů. Tato funkce se často slučuje s napínací kladkou.

Vodící kladky, jak už z názvu napovídají, definují dráhu pásu. Využívají se u příliš dlouhých brusných pásů, aby se zamezilo jejich prověšování.

Kladky kontaktní jsou speciálním druhem kladek, na které je možno působit přítlačnou silou od obrobku. Provedení těchto kladek často bývá z gumy nebo silonu s ocelovým jádrem.

Pro stálý kontakt pásu na kladkách bez sjíždění je zapotřebí, aby styčné plochy kladky byly zaoblené, tzv. bombírování. Je důležité, aby zaoblení bylo plynulé, bez hran a kuželovitosti, to je vyobrazeno na Obr. 19. Výška oblouku se odvíjí od průměru a šířky

kladky. Obvykle se tato technologie provádí na hnací kladce, je ovšem možno bombírování využít i na kladku napínací. [41], [42], [43]



Obr. 19.: Rozměry a tvar správného bombírování [43]

5.5. Pásy

Brusný pás je nástrojem brusky a je také jejím charakteristickým rysem. Jak již bylo zmíněno, brusný pás se skládá z brusných zrn a pojiva. Pojivo nesoucí brusná zrna je nanášeno na pás z papíru nebo textilie. Může se vyskytovat i kombinace obojího, kdy nanášení probíhá pomocí elektrostatického náboje.

Pro broušení je velmi důležitý správný výběr brusiva a pojiva. Existuje celá řada typů brusných pásů, proto zde budou zmíněny jen ty základní.

Pásy s umělým korundem - Al_2O_3 (smirk) jsou nejrozšířenějším brusivem. Jedná se o tvrdý materiál, ale jeho nevýhoda spočívá v rychlém otupení. Korund může být hnědý nebo bílý a je vhodný na všechny druhy materiálu (Obr. 20).



Obr. 20.: Umělý korund [44], [45]

Karbid křemíku - SiC (Obr. 21), také známý jako karborundum, vyniká svojí tvrdostí a ostrotí. Při broušení se dobře štěpí. Lze ho použít na broušení kovů a zejména na skla a zabrušování jejich hran.



Obr. 21.: Pás z karbidu křemíku [46]

Zirkonkorund - $ZrSiO_4$ (zirkon) má vysokou tepelnou odolnost a je výkonnější než brusiva s umělým korundem. Proto má velké uplatnění pro vysokotlaké broušení a obrábění. Zirkonkorund má menší tvrdost ale zato větší houževnatost než korund. Má velmi silný samoostřicí účinek, a je vhodný na nerezové oceli, ale i plasty, dřevo a další materiály (Obr. 22).



Obr. 22.: Pás ze zirkonkorundu [47]

Keramická zrna jsou stále nejnovější inovací v broušení. Mají nejdelší životnost a umožňují nejvyšší řeznou rychlost ze všech brusných materiálů. Poskytují maximální výkon, konzistentní řez pro střední až vysoký tlak broušení. Keramický pás se používá především na kovy, zušlechtěné oceli, slitiny hliníku a další kalené a zušlechtěné oceli (Obr. 23).



Obr. 23.: Pás s keramikou [48]

Dalšími typy brusných pásů mohou být pásy filcové (Obr. 24). Jedná se o plošnou textilii se vzájemně zaklesnutými vlákny. Jsou vhodné na suché i mokré broušení a broušení těžko přístupných ploch (profily, klouby). Využívá se na finální dolešťování povrchů.



Obr. 24.: Brusný pás z filcu [49]

Brusný pás z materiálu trizak je speciální pás s mikrostrukturním uspořádáním zrn do pyramid nebo obdélníků (Obr. 25). Díky plynulému odkrývání čerstvého brusiva při broušení je jeho životnost 5 - 6x delší než u klasických materiálů. Je vhodný na hrubé broušení, například titanu ale i plastů a dalších.



Obr. 25.: Brusný pás trizak s obdélníkovou a pyramidovou strukturou [50]

Brusné rouno (vlna), často také prodejně označované Scotch-Brite, je netkaná textilie s abrazivem (Obr. 26). Je velmi elastické a poddajné. Využívá se pro broušení a leštění všech druhů povrchů (ocel, neželezné kovy, dřeva, laky a plasty).



Obr. 26.: Brusné rouno [51]

Každý druh pásů má širokou škálu hrubostí (zrnitostí). Pásky se tedy označují písmenem a číslem, kdy čím menší číslo má, tím je hrubší a naopak. Číslo odpovídá měrné velikosti zrna podle jeho šířky v určitém rozsahu.

Hrubost a rozměry pásu se volí na základě obrobku a typu brusky. Užší pásy se používají pro opracovávání dřeva, kovových povrchů a slitin. Široké nekonečné brusné pásy se využívají v truhlařině při broušení podlah, trámů nebo nábytku. [9], [52], [53], [54], [55], [56], [57]

6. Vlastní návrh

V předchozích kapitolách byly shrnuty druhy brusek a jejich dělení. Byly prezentovány brusné nástroje a poukázáno se na používané konstrukce pásových brusek.

V nadcházejících kapitolách budou vybrány a popsány základní komponenty řešené variabilní pásové brusky, provedeny návrhové a kontrolní výpočty, na jejichž základě bude navržena konstrukce zadané brusky.

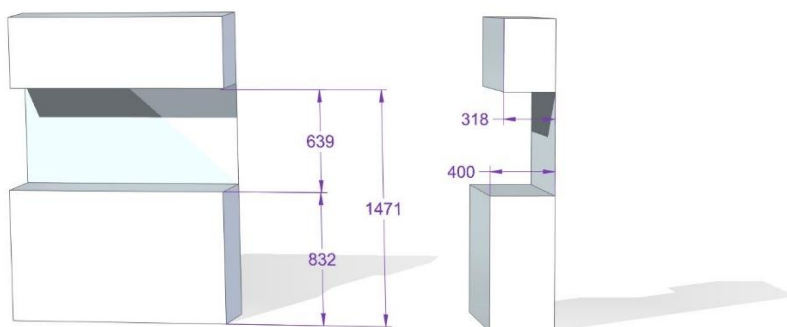
6.1. Zadání vstupních parametrů

Pro návrh variabilní pásové brusky byly dány určité vstupní parametry a požadavky, od kterých se návrh odvíjí.

Bruska je určena pro přerušovaný lehký provoz v podnicích a pro hobby použití.

Bruska má být uzpůsobena především pro broušení ocelí.

Konstrukce musí umožňovat přichycení na stůl. Samotné umístění brusky bylo omezeno danými rozměry pracovního prostoru. Bruska musí být umístěna na pracovní desku do prostoru od pracovního stolu po vestavěnou skříňku nad stolem. Pracovní deska je od země ve výšce 832 mm a vestavěná skříňka ve výšce 1 471 mm. Prostor pro umístění brusky činí tedy 639 mm a hloubka pracovní desky je 400 mm (viz Obr. 27). Pro variabilitu broušení je možno využít prostor před pracovním stolem.



Obr. 27.: Pracovní prostor

Variabilita brusky má spočívat v kombinaci podélného broušení ploch s čelním broušením na výměnných rolnách, především pro broušení čelních ploch ocelových trubek. Vyměnitelnost roln má být v rozmezí průměrů od 20 mm do 50 mm.

Pro broušení z čela musí být bruska polohovatelná a sklopná do vodorovné polohy. U podélného broušení musí mít možnost využití jak svislou, tak vodorovnou polohu.

Hlavní požadavek byl rozměr pásu. Šířka pásu má být zvolena v rozmezí od 50 - 80 mm a jeho délka se má řadit mezi středně dlouhé pásy, kdy nemá být delší jak 2 m. Zároveň aby pás byl snadno dostupný na trhu.

Jako pohonnou jednotkou byl dán třífázový, 2 - pólový elektromotor od firmy VYBO Elektrik a.s. typu 1AL80M - 2, 1,1 kW o výkonu 1,1 kW a otáčkách $2\,875\text{ min}^{-1}$ (Obr. 28). Motor je přírubový o rozteči přípojovacích šroubů 165 mm. V hřídeli o rozměru 19 x 40 mm je připravený otvor se závitem pro axiální zajištění. [58]



Obr. 28.: Elektromotor 1AL80M-2, 1,1 kW [58]

Hlavní parametry motoru		
Výkon	1,1	kW
Frekvence	50	Hz
Napětí	400	V
Počet pólů	2	-
Počet fází	3	-
Účinnost	79,6	%
Jmenovitý proud	2,61	A
Otáčky	2 875	ot/min
Konec hřídele	19 x 40	mm
Hmotnost	10	kg

Tabulka 1: Parametry motoru [58]

Motor bude zapojen do hvězdy při frekvenci 50 Hz, napětí 400 V a jmenovitém proudu 2,6 A. Dalším požadavkem bylo použití frekvenčního měniče pro zvolený motor.

Požadavkem pro rolny byl materiál. Rolny mají být vyrobené ze silonu, který je k dispozici. Vzhledem k tomuto požadavku se rolny budou vyrábět, a tím mohou být rolny navrhnuté podle potřeby.

6.2. Návrhové výpočty

Jako první si zvolím typ pásu. Vzhledem k tomu, že se na brusce budou brousit ocelové profily různých tvarů a rozměru, není vhodné kontrolovat výkon motoru na určitý rozměr obrobku. V tomto případě je výhodnější vypočítat, jak velkou plochu obrobku je možné brousit, aby nedošlo k zastavení nebo protržení pásu. Dále bude potřeba ověřit a vypočítat potřebné síly a navrhnout rozměr hnací kladky.

6.2.1. Volba pásu

Pro brusný pás byl dán rozsah rozměrů pro jeho volbu. Z nabízených pásů na trhu, které by splňovaly zadané požadavky, nejlépe vyhovoval rozměr pásu 50 x 1 500 mm, jak

rozměrově, tak i nejširší nabídkou dostupnosti ve všech řadách drsností. Tyto rozměry pásu například nabízí v široké nabídce prodejci PISKAČ a syn a.s. nebo Top abrasive.

6.2.2. Návrh velikosti hnací rolny

Umístění hnací rolny bude přímo na hřídeli elektromotoru, čímž její průměr bude ovlivňovat rychlost pásu. Jelikož se bude na brusce brousit především ocel, bude průměrná řezná rychlost přibližně 25 m/s. [59]

Z této rychlosti se vypočítá velikost hnací rolny.

$$D_r = \frac{60 \cdot v_r}{\pi \cdot n_m} = \frac{60 \cdot 25}{\pi \cdot 2\,875} = 0,166 \text{ m} \quad (1)$$

Z vypočteného rozměru jsem určila průměr hnací rolny 160 mm. Pro tento rozměr jsem určila skutečnou řeznou obvodovou rychlost.

$$v_o = \frac{\pi \cdot D_r \cdot n_m}{60} = \frac{\pi \cdot 0,16 \cdot 2\,875}{60} = 24,086 \text{ m/s} \quad (2)$$

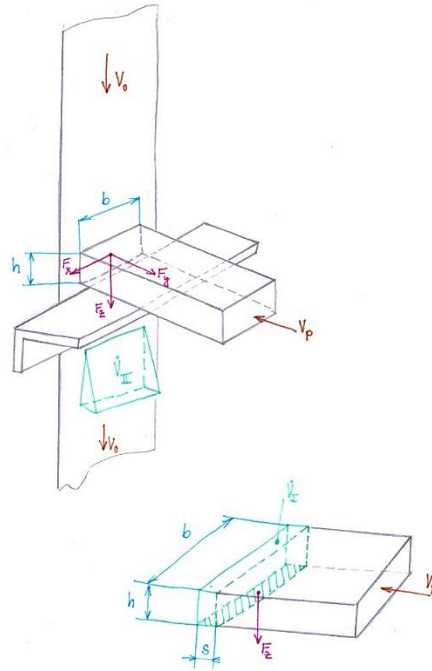
6.2.3. Výpočet sil v pásu

Pro zjištění obvodové a napínací síly pásu bude potřeba několik údajů.

Úhel opásání ¹ :	$\alpha = 160^\circ = 2,793 \text{ rad}$
Koeficient tření (PA6/tkaninou)[60]:	$\mu = 0,22$
Mez kluzu v tahu pro ocel [61]:	$R_m = 250 \text{ MPa}$
Skutečná obvodová rychlost:	$v_o = 24 \text{ m/s}$
Účinnost motoru při 50Hz:	$\eta_{mot} = 79,6 \%$
Výkon motoru:	$P_{mot} = 1\,100 \text{ W}$

Při zvoleném motoru a obvodové rychlosti je zapotřebí zjistit, jak velkou plochu obrobku je možné brousit, aby nedošlo k zastavení nebo protržení pásu. Proto bude zapotřebí vypočítat měrný řezný odpor, a síly působící v axiálním, radiálním a tangenciálním směru při broušení.

¹ Úhel opásání byl zjištěn ze skici soustavy kladek a brusného pásu.



Obr. 29.: Síly působící při broušení

F_x – axiální složka síly; F_y – radiální složka síly; F_z – tangenciální složka síly
 v_0 – skutečná obvodová rychlost; v_p – rychlost přísuvu obrobku
 V'_I, V'_{II} – úbytek materiálu při broušení
 b – šířka; h – výška; s – hloubka

Na obrázku Obr. 29 lze vidět rozložení sil při broušení a úbytek materiálu (V'_I, V'_{II}), z čehož se následně dopočítá plocha ubíraného materiálu. Obrázek je schématický a rozměrové části obrobku neodpovídají skutečnému návrhu.

Z obrázku lze odvodit, že tangenciální složka síly je řezná neboli obvodová síla. Ve výpočtech budu používat označení řezná síla. Pro výpočty byly použity vzorce ze skript Obrábění. [62]

Měrný řezný odpor

Koeficient pro výpočet měrného řezného odporu je v rozmezí $20 \div 35$. Volím hodnotu koeficientu $k = 30$.

Výpočet měrného řezného odporu:

$$p = k \cdot R_m = 30 \cdot 250 = 7\,500 \text{ MPa} \quad (3)$$

Řezná síla

Potřebnou řeznou sílu zjistím ze vzorce:

$$F_z = \frac{P_m}{v_0} \quad (4)$$

Kdy P_m je reálný výkon motoru:

$$P_m = P_{mot} \cdot \eta_{mot} = 1\,100 \cdot 0,796 = 876 \text{ W} \quad (5)$$

A potom řezná síla je:

$$F_z = \frac{876}{24\,086} = 36,35 \text{ N} \quad (6)$$

Radiální složka síly se dopočítá z vypočtené řezné síly, kdy při broušení platí, že:

$$F_y > F_z > F_x \quad (7)$$

Příčemž bývá:

$$F_y = (1,5 \div 3) \cdot F_z \quad (8)$$

Pro výpočet volím hodnotu koeficientu 3. Pak tedy:

$$F_y = 3 \cdot 36 = 109 \text{ N} \quad (9)$$

Pohyb broušení v axiálním směru, pokud vznikne, je velmi malý. Proto bude axiální složka síly zanedbána.

$$F_x = 0 \text{ N} \quad (10)$$

Z výsledků sil můžeme ověřit splnění podmínky z rovnice (7):

$$F_y > F_z \quad (11)$$

$$109 \text{ N} > 36 \text{ N}$$

Podmínka je splněna.

Přítlačovací síla

Tato síla je síla, kterou je potřeba vyvinout pro podávání obrobku do řezu. Ta se vyjádří vztahem:

$$F_{př} = \frac{F_z}{\mu} = \frac{36}{0,22} = 165 \text{ N} \quad (12)$$

Velikost této síly musí překonat odpor protichůdné radiální síly, aby bylo možné materiál ubírat a nedocházelo k odskakování obrobku od pásu. To se ověří:

$$F_{př} > F_y \quad (13)$$

$$165 \text{ N} > 109 \text{ N}$$

Kdy síly vyhovují podmínce.

Napínací síla

Minimální napínací síla se vypočítá:

$$z_{min} = \frac{F_z \cdot 2}{e^{\alpha\mu} - 1} = \frac{36 \cdot 2}{e^{2,793 \cdot 0,22} - 1} = 86 \text{ N} \quad (14)$$

Síla v odlehčené části pásu

Je síla v části pásu, kde není vyvíjena přítlačovací síla na pás. Tato část je od hnací rolny přes napínací až k výměnné rolně. Tečnou sílu v odlehčené části pásu tedy získáme z rovnice:

$$T_2 = \frac{F_z}{e^{\alpha\mu} - 1} = \frac{36}{e^{2,793 \cdot 0,22} - 1} = 43 \text{ N} \quad (15)$$

Síla v zatížené části pásu

Tato část pásu je od zatížené výměnné rolny přes podélnou plochu pro broušení až k hnací rolně. Tato síla se vypočítá ze vztahu:

$$T_1 = T_2 \cdot e^{\alpha\mu} = 43 \cdot e^{2,793 \cdot 0,22} = 79 \text{ N} \quad (16)$$

Pro ověření správného určení sil v pásu se musí řezná síla rovnat rozdílu sil v zatížené a odlehčené části.

$$F_z = T_1 - T_2$$

$$36 \text{ N} = 79 - 43 = 36 \text{ N} \quad (17)$$

Síly vyšli shodně, čímž byla provedena kontrola.

6.2.4. Výpočet rozměru obrobku při broušení

Je potřeba vypočítat plochu obrobku, která bude maximální, než nastane zastavování pásu nebo dokonce přetržení. Vztah pro výpočet se odvodí z rovnosti úběru materiálu, z které si vyjádřím hloubku (s), viz Obr. 29:

$$\dot{V}_I = \dot{V}_{II}$$

$$v_p \cdot b \cdot h = v_o \cdot s \cdot b \quad (18)$$

$$s = \frac{v_p \cdot h}{v_o}$$

Kterou dosadíme do rovnice pro výpočet řezné síly:

$$F_z = p \cdot S_m = p \cdot s \cdot b \quad (19)$$

Kde S_m je plocha úběru materiálu.

Po dosazení rovnice (18) do rovnice (19) získáme výpočet maximální výšky obrobku (h).

$$h = \frac{F_z \cdot v_o}{p \cdot b \cdot v_p} \quad (20)$$

Kde v_p je rychlost přísuvu obrobku k pásu. Vzhledem k ručnímu broušení není tato rychlost konstantní a záleží na pracovníkovi, jak rychle bude obrobek podávat. Pomocí odhadu jsem určila tuto rychlost na hodnotu $v_p = 0,1 \text{ mm/s}$ a uvažuji ji jako konstantní. Šířku obrobku (b) budu uvažovat maximální přípustnou šířku podle pásu, což je 50 mm.

Potom tedy bude výška obrobku:

$$h = \frac{36 \cdot 24086}{7500 \cdot 50 \cdot 0,1} \doteq 23 \text{ mm} \quad (21)$$

Maximální brusná plocha materiálu bude:

$$S_{br} = b \cdot h = 50 \cdot 23 = 1150 \text{ mm}^2 \quad (22)$$

Vzhledem k využití pásové brusky i při broušení trubek z čela, je potřeba uvažovat i nejvyšší možný rozměr trubky pro šířku pásu 50 mm. Tím jsou trubky tlustostěnné, které jsou dostupné například od firmy Ferona o rozměru 48,3 x 4 mm. Ty mají plochu v příčném průřezu:

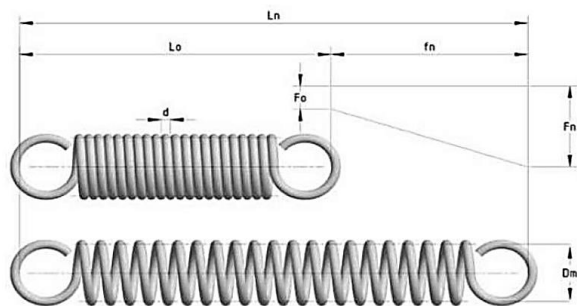
$$S_{tr} = 557 \text{ mm}^2 \quad (23)$$

Plocha trubky, jak je vidět, je menší než vypočtená maximální plocha ubíraného materiálu, tudíž je výkon brusky pro tento rozměr dostačující.

6.2.5. Návrh pružiny napínací kladky

Volba pružiny se odvíjí od napínací síly. Minimální napínací síla z rovnice (14) vyšla $z_{min} = 86 \text{ N}$. Z konstrukčních důvodů je potřeba, aby rozdíl mezi provozním prodloužením a maximálním prodloužením byl alespoň 5 mm pro možnost oddálení napínací rolny od pásu v případě výměny pásu. Při oddálení rolny nesmí pružina přesáhnout svoje povolené prodloužení, aby nedošlo k jejímu porušení.

Od firmy Mateza spol. s.r.o. jsem dle jejich katalogu zvolila pružinu s parametry [63]:



Vysvětlivky zkrátek

d = tloušťka drátu
Dm = průměr od středu k středu
Lo = délka pružiny ve volném stavu
Fn = síla vyvinutá v plně zatíženém stavu
v newtonech
c = tuhost pružiny v N/mm
Fo = předpětí
1 kg = 9,80665 N
1 N = 0,10197 kg
Tuhost nerezové oceli = 83,3 % tuhosti pružinové oceli

	Počet závitů u tažných pružin
Řádek 1	~10
Řádek 2	~16
Řádek 3	~25
Řádek 4	~40
Řádek 5	~60

Obr. 30.: Rozměry pružiny [63]

Hlavní parametry pružiny		
d	1,8	mm
Dm	10,2	mm
Lo	60,2	mm
fn	29,7	mm
Fn	141	N
c	4,02	N/mm

Tabulka 2: Parametry pružiny [63]

Z rovnice (24) pro výpočet pružiny si vyjádříme prodloužení (25) pro ověření, zda bude splněna podmínka.

$$F = z_{min} = k \cdot x \quad (24)$$

$$x = \frac{z_{min}}{k} = \frac{86}{4,02} = 21 \text{ mm} \quad (25)$$

Z porovnání výsledku z rovnice (25) s hodnotou maximálního prodloužení zvolené pružiny (f_n) vidíme, že rozdíl je větší než 5 mm. Podmínka je tedy splněna a pružina vyhovuje.

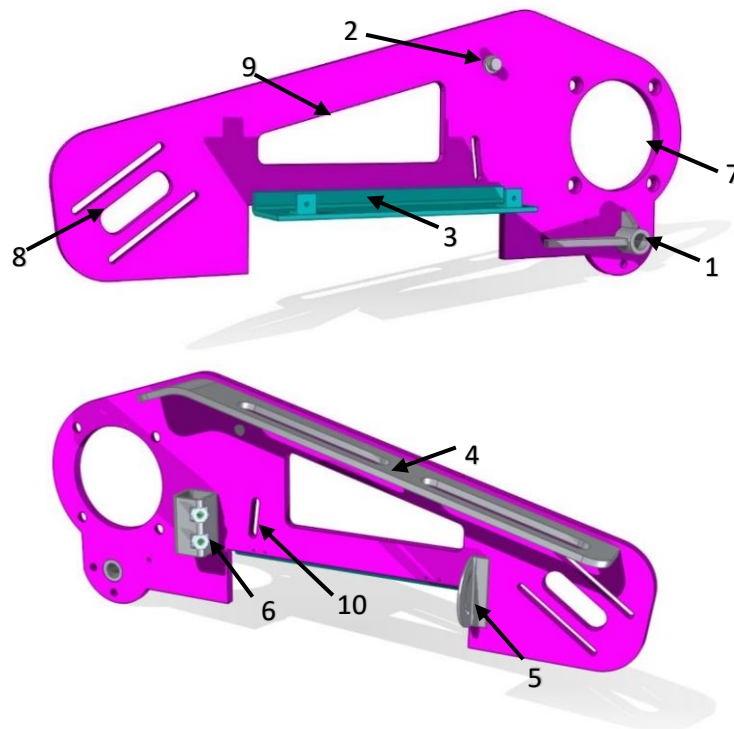
6.3. Vlastní návrh brusky

Dle návrhových výpočtů a zadání bude v následující kapitole popsán návrh variabilní pásové brusky. Výkresová dokumentace vybraných dílů je v příloze bakalářské práce.

6.3.1. Svařenec těla brusky

Hlavní nosnou konstrukcí brusky je svařenec z ocelových výpalků o tloušťkách plechu 5 - 10 mm, viz Obr. 31. Otvor pro uchycení těla brusky (1) je vyztužen nátrubkem a žebry pro lepší stabilitu a zamezení chvění při chodu. Pro napínací mechanismus je zavařen čep pro uchycení (2). Na podpěře pro pás (3) jsou navařené L profily pro uchycení krytů. Samotná podpěra také slouží jako vyztužení plechu v podélném směru. Vyztužovací žebro (4) má integrované madlo pro polohování. V zadní části je pro polohování vodorovného stolku přivařen plech s obloukovou drážkou (5). Pro upnutí svislého stolku je přivařen čtvercový profil s maticemi pro zajištění sestavy stolku (6).

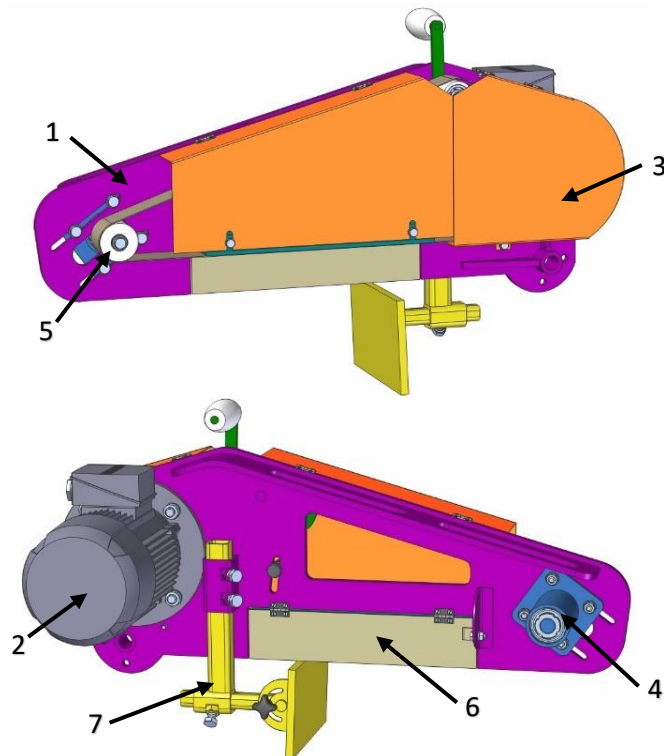
Otvor pro hřídel motoru a náboj hnací rolly (7) zároveň slouží jako odlehčení konstrukce. Po jeho obvodě jsou umístěny čtyři díry pro jeho uchycení. V přední části sestavy jsou vypáleny drážky pro uchycení domečku výměnných rolly (8). Délka a naklonění drážek je navrženo pro stálý úhel pásu při výměně velikostí rolly v rozmezí od $\varnothing 20 - 50$ mm. Vzhledem k velkému rozměru plechu je uprostřed odlehčovací otvor pro odlehčení konstrukce (9). Pro zachycení pružiny napínacího mechanismu je vytvořena drážka (10).



Obr. 31.: Svařenec těla brusky

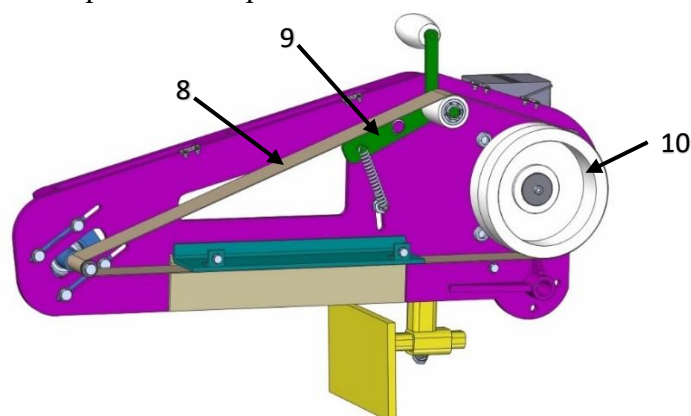
6.3.2. Sestava brusky

Sestava brusky obsahuje již zmíněný svařenec těla brusky, viz v Obr. 32 (1). V zadní části je přišroubován motor (2) šrouby 4 x M12. Pro zajištění bezpečnosti je většina brusky zakrytována kryty (3). Ty jsou otočné pomocí pantů a zajištěny šrouby proti samovolnému otevírání při manipulaci s bruskou.



Obr. 32.: Sestava brusky

V popředí je ke svařenci připevněn domeček pro výměnné rolny (4), který je zachycen pomocí šroubů 4 x M8. Z druhé strany jsou nasunuty již zmiňované výměnné rolny (5) zajištěné pojistnou deskou a šroubem M8 z čela. Ve výřezu nosného plechu je vložen a zarovnan zároveň s ním vodorovný stoleček (6). Ten je přichycen dvěma panty a lze úhlově nastavovat pomocí šroubu M6. Při broušení ve svislé poloze lze téměř vyklopit do strany pro uvolnění prostoru. Sestava svislého stolku (7) je zasunuta do čtvercového profilu a přidržena šrouby 2 x M10 v požadované poloze.

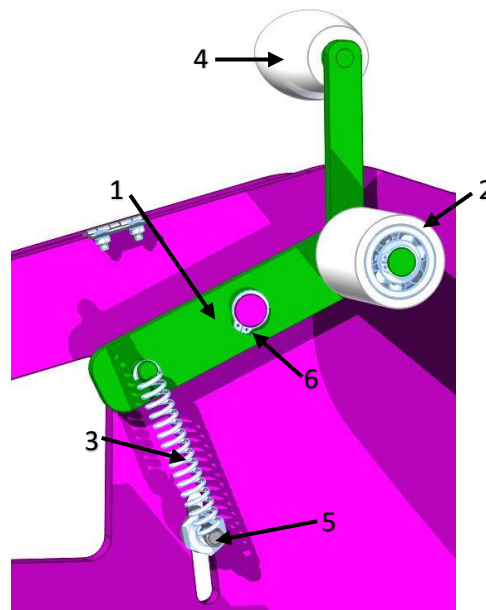


Obr. 33.: Sestava brusky bez krytů

Při odkrytování brusky lze vidět celý brusný pás (8) a napínací mechanismus (9), který je navlečen na přivařeném čepu a zajištěn pojistným kroužkem. Přenášený krouticí moment z motoru je pomocí pera na hnací rolnu (10). Hnací rolna je po obvodu bombírovaná a vzhledem k rozměru je odlehčena vybráním z čela. Připevněna je pojistnou deskou a šroubem M6.

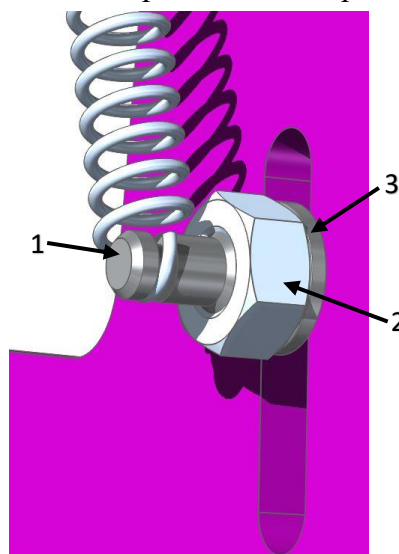
6.3.3. Mechanismus napínáku

Napínací mechanismus je zobrazen na Obr. 34. Skládá se z rámu (1), který je navlečen na čep nosného plechu a zajištěn pojistným kroužkem (6). Další součástí mechanismu je napínací rolna (2), pružina (3) a madlo (4) pro uvolňování napínáku. Pod číslem (5) je přichycení pružiny pomocí upraveného šroubu, viz Obr. 35.

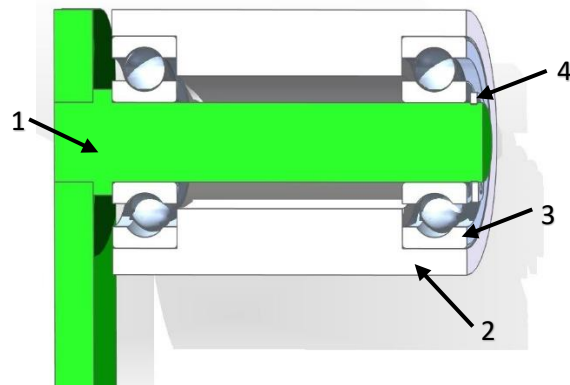


Obr. 34.: Napínací mechanismus

Upravený šroub M10 (1) je provlíknut skrz drážku a zajištěn podložkou (3) a maticí M10 (2). Konec šroubu je osoustružen a opatřen drážkou pro zaháknutí pružiny.



Obr. 35.: Přichycení pružiny

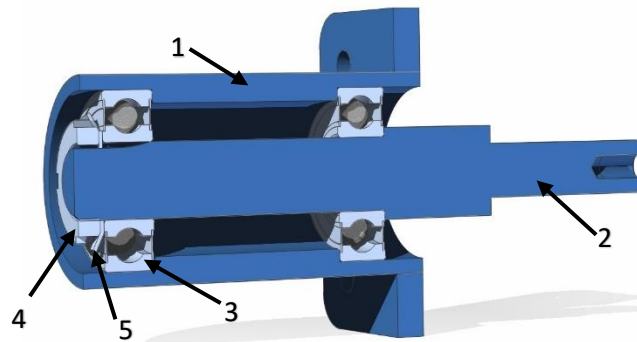


Obr. 36.: Řez napínací rolny

V řezu napínací rolny (viz Obr. 36) lze vidět nalisování dvou kuličkových ložisek (3). Rolna (2) je navlečena na rám napínáku (1) a proti vysunutí je zajištěna pojistným kroužkem (4).

6.3.4. Domeček

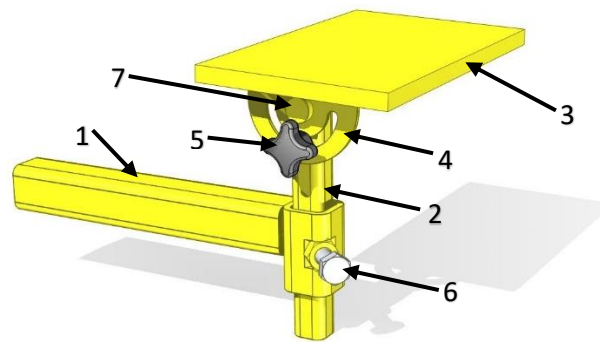
Pro výměnu vyměnitelných roln slouží domeček, který je složen z krytu (1), hřídele (2), ložisek (3), KM matice (4) a MB podložky (5). Kryt se pomocí šroubů 4 x M8 přichytí ke svařenci těla brusky do vytvořených drážek v popředí. Hřídel je prostrčena skrz výřez ve svařenci a následně nasazeny výměnné rolny. Uvnitř krytu domečku jsou uložena kuličková ložiska s těsněním a na konci hřídele jsou zajištěna KM4 maticí a MB4 podložkou.



Obr. 37.: Řez domečkem

6.3.5. Sestava svislého stolku

Při svislém broušení je zapotřebí obrobek o něco opřít. K tomu slouží sestava svislého stolku, Obr. 38. Pro nastavení polohy celé sestavy stolku napomáhá svařenec ramene (1). V té je zasunut čtvercový profil (2), zajišťovaný šroubem M10 (6) a na jehož konci je namontován samotný stoleček (3) tvořený plechem.

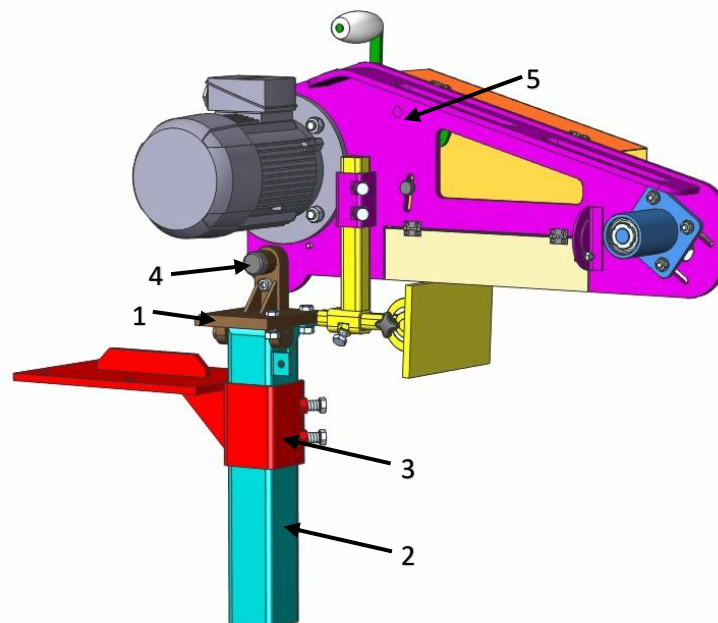


Obr. 38.: Sestava svislého stolku

Stoleček je zajištěn čepem (7) a pojistným kroužkem. Úhlové sklápění stolečku je za pomoci plechu s obloukovou drážkou (4). Zajištění v určité poloze je šroubem s plastovým držadlem (5) a maticí M10.

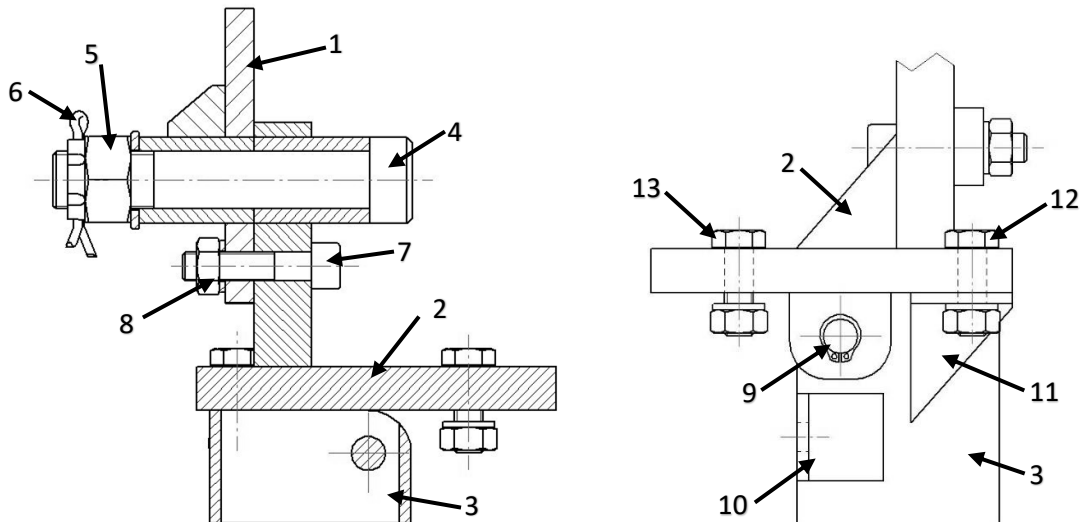
6.3.6. Sestava brusky se sklápěcím mechanismem

Pro polohování sestavy brusky (5) je bruska umístěna na polohovací člen (1) přichycena čepem (4) a pojistným kroužkem z druhé strany. Polohovací člen je taktéž přichycen čepem k čtvercovému profilu (2), který se posouvá v nosné konzoli (3). Ta je přišroubovaná k pracovnímu stolu.



Obr. 39.: Sestava brusky se sklápěcím mechanismem

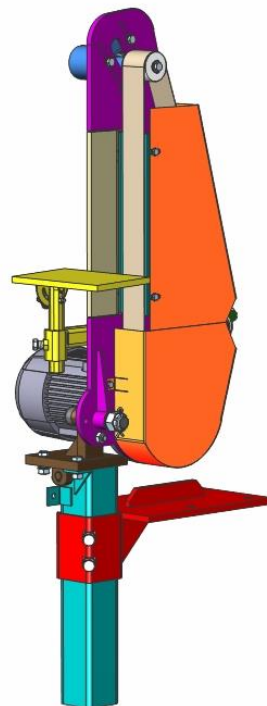
Samotný sklápěcí mechanismus je ukázán v řezu na Obr. 40 vlevo, kde je vidět přichycení sestavy brusky (1) k polohovacímu členu (2). To je provedeno pomocí hlavního čepu se závitem na konci (4), který je zajištěn pojistnou korunovou maticí M20 x 1,5 s podložkou a závlačkou (6). Pro zajištění čelní (Obr. 44) nebo svislé (Obr. 41) polohy brusky slouží šroub M10 (7) s podložkou a maticí M10 (8).



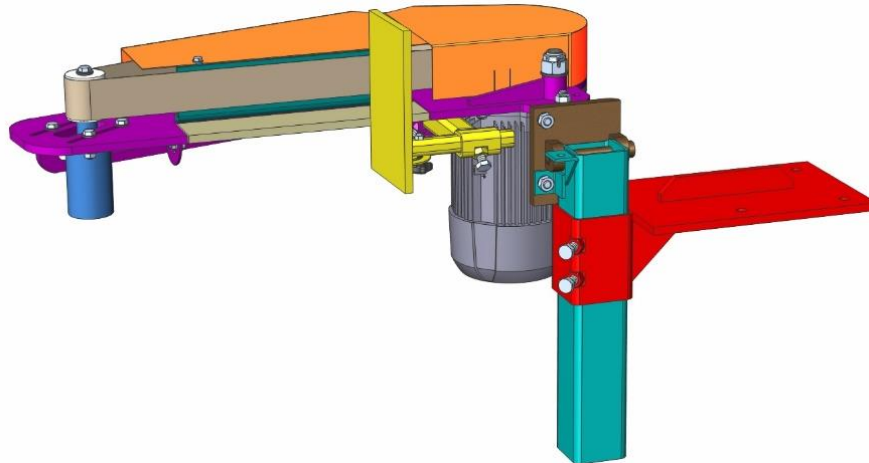
Obr. 40.: Řez hlavním čepem (vlevo) a pohled na druhou část sklápěcího mechanismu (vpravo)

Napravo lze vidět pohled na druhou část sklápěcího mechanismu, kdy se bruska i s celým polohovacím členem (2) sklápí do vodorovné polohy (viz Obr. 42). Polohovací člen je přichycen čepem (9) a zajištěn pojistným kroužkem. Pro zajištění brusky v daných polohách slouží přivařené L profily (10, 11) ke čtvercovému profilu (3), ke kterým se připevní polohovací člen (2) pomocí šroubů M10 (12, 13).

Pomocí polohovacího členu je možno sklopit sestavu brusky do svislé polohy (Obr. 41).



Obr. 41.: Svislá poloha

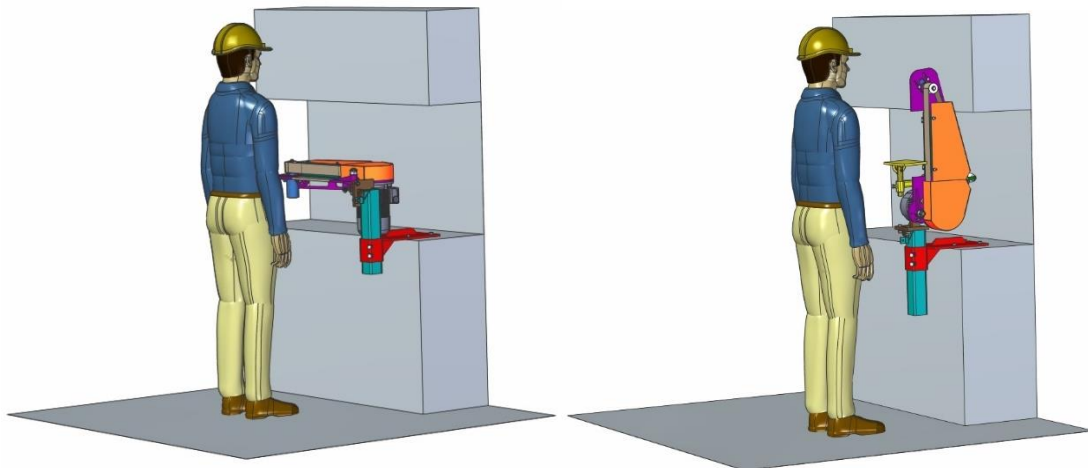


Obr. 42.: Vodorovná poloha

Při sklopení celého polohovacího členu (Obr. 42) se bruska nachází ve vodorovné poloze.

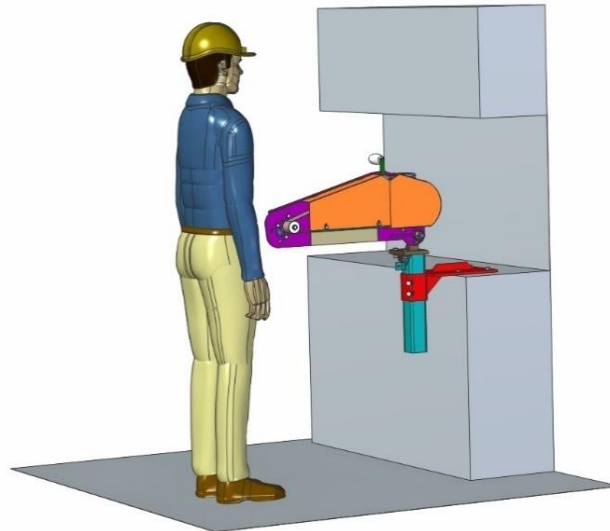
6.3.7. Umístění v prostoru

Mezi konkrétními požadavky na variabilní brusku bylo i umístění samotné brusky. Bruska je tedy umístěna mezi pracovní stůl a horní skříň. Ve všech polohách (Obr. 43, Obr. 44) se bruska vejde do prostoru a nevzniká žádná kolize.



Obr. 43.: Vodorovná a svislá poloha

Pracovní výška je v optimální poloze pro broušení při kterémkoli přestavení brusky. Pro názornost je na obrázcích vyobrazen pracovník s výškou 190 cm. Pracovní výška tedy sahá do pasu pracovníka.



Obr. 44.: Čelní poloha

6.4. Kontrolní výpočty

V následující kapitole budou uvedeny kontrolní výpočty ložisek, svarů, šroubů a hřídelů.

6.4.1. Kontrola ložisek

Ložiska pro uložení kontaktních roln, které jsou určeny pro čelní broušení trubek, budou vybrána na základě jejich trvanlivosti, maximálního zatížení a maximálních otáček.

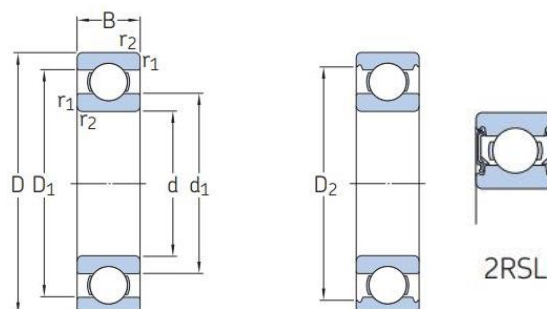
Nejprve je zapotřebí si vypočítat maximální otáčky na ložiscích, které nastanou při využití nejmenší kontaktní rolny ($d_{r20} = 20 \text{ mm}$).

$$n_{\text{lož}} = \frac{D_r}{d_{r20}} \cdot n_{\text{mot}} \quad (26)$$

Kde D je průměr hnací rolny, d je nejmenší kontaktní rolna a n_{mot} jsou otáčky motoru. Po dosazení:

$$n_{\text{lož}} = \frac{160}{20} \cdot 2875 = 23\,000 \text{ ot/min} \quad (27)$$

Na základě vypočtených provozních otáček a požadavku oboustranného bezkontaktního těsnění volím ložisko od firmy SKF 6204-2RSL s parametry [64]:



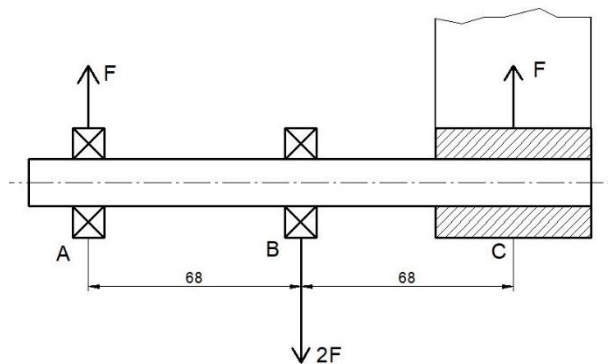
Obr. 45.: Rozměry ložiska [64]

Hlavní parametry ložiska		
d	20	mm
D	47	mm
B	14	mm
c	13,5	kN
n_{přípust.}	32 000	ot/min

Tabulka 3: Parametry ložiska [64]

U zvoleného ložiska bude ověřena trvanlivost, která dle provozu musí splňovat minimálně 8 000 hod. [64]

Pro výpočet trvanlivosti je potřeba znát zatěžující sílu ložiska. Na Obr. 46 je zatížení hřídele pro kontaktní rolny.



Obr. 46.: Zatížení ložisek

Z obrázku vyplývá, že zatěžující síla bude pro každé ložisko (označení ložisek A, B) jiná. Zatěžující síla ložiska se skládá ze síly v pásu při zatíženém stavu (rovnice (16)) a přitlačovací síly (rovnice (12)).

$$F_A = T_1 + F_{př} = 79 + 165 = 244 \text{ N} \quad (28)$$

Ložisko v místě B se nachází ve stejné vzdálenosti od ložiska A jako ke středu brusného pásu, kde leží působíště zatěžující síly F.

Pro výpočet síly v místě B z momentové rovnováhy (29) vyplývá, že síla F_B bude dvojnásobná.

$$F_B \cdot 68 - F \cdot 136 = 0 \quad (29)$$

Potom můžeme tedy napsat:

$$F_B = 2(T_1 + F_{př}) = 2(79 + 165) = 488 \text{ N} \quad (30)$$

Trvanlivost ložisek

Základní trvanlivost ložisek se vypočítá dle ISO 281:

$$L_{10} = \left(\frac{c}{F}\right)^p \quad (31)$$

Kde c je dynamická únosnost ložiska, F je zatěžující síla ložiska a p je exponent rovnice trvanlivosti. Pro ložiska s bodovým stykem je $p = 3$.

Pro ložisko A:

$$L_{10A} = \left(\frac{13,5}{244}\right)^3 = 168\,446\,10^6 \text{ ot} \quad (32)$$

Pro ložisko B:

$$L_{10B} = \left(\frac{13,5}{488}\right)^3 = 21\,055\,10^6 \text{ ot} \quad (33)$$

Pro převod na provozní hodiny se vypočítá vztahem:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_{lož}} \cdot L_{10} \quad (34)$$

Pro ložisko A:

$$L_{10hA} = \frac{10^6}{60 \cdot 23\,000} \cdot 168\,446 = 122\,062 \text{ hod} \quad (35)$$

Pro ložisko B:

$$L_{10hB} = \frac{10^6}{60 \cdot 23\,000} \cdot 21\,055 = 15\,257 \text{ hod} \quad (36)$$

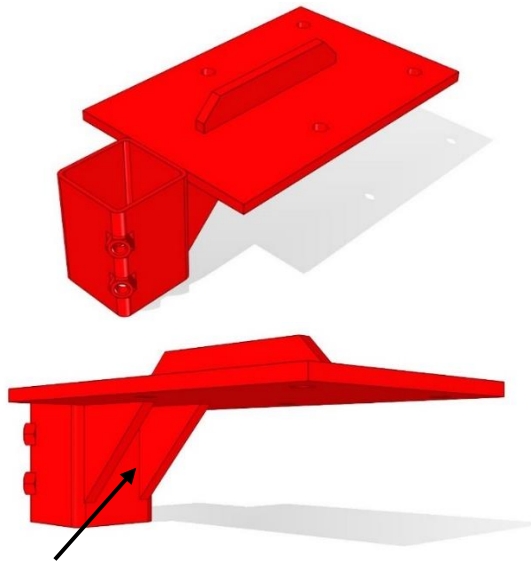
Zatíženější ložisko B svou trvanlivostí převyšuje minimální provoz téměř o dvojnásobek. Nejbližší menší ložisko s potřebným těsněním je výrazně nedostačující svou trvanlivostí.

6.4.2. Kontrola svaru

Díly jsou spojovány pomocí svaru a je zapotřebí tyto svary zkontrolovat. Budou zkontrolovány svary, které jsou nejvíce namáhané, a to na kombinované namáhání kolmé a rovnoběžné.

Na Obr. 47 je nosná konzole, která zajišťuje vertikální polohování celé brusky. Její plochou částí je šroubovými spoji přichycena k pracovnímu stolu. Pod plochou částí jsou dvě zpevňující žebra. Kontrolovanými svary jsou svislé koutové svary mezi žebrem a nosným profilem, viz označení v obrázku.

Návrh brusky obsahuje dvě žebra, přičemž obě budou přivařena oboustranně. Celkové zatížení od brusky budou přenášet tyto čtyři svary na žebra a nosný profil.



Obr. 47.: Nosná konzole

Pro smykové napětí platí vzorec:

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\tau_t + \tau_o}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\alpha_{\tau\parallel}}\right)^2} \quad (37)$$

Kde τ_t je smykové napětí od tahu, τ_o je smykové napětí od ohybu, τ_s je smykové napětí od stříhu. $\alpha_{\tau\perp}$ je součinitel anizotropie pro kolmý směr a $\alpha_{\tau\parallel}$ je součinitel anizotropie pro rovnoběžný směr.

Vzhledem k zatížení brusky je smykové napětí tahové $\tau_t = 0$.

Potřebné parametry pro kontrolu svaru:

m_{brus.}	46	kg
m_{obrob.}	14	kg
$\alpha_{\tau\perp}$	0,75	-
$\alpha_{\tau\parallel}$	0,65	-
a	3	mm
l²	153	mm
σ_D	200	MPa
g	9,81	m/s ²

Tabulka 4: Parametry pro svary

Uvažuji maximální zatížení brusky obrobkem 14 kg. Potom síla bude:

$$F_m = (m_{brus.} + m_{obrob.}) \cdot g = (46 + 14) \cdot 9,81 = 589 \text{ N} \quad (38)$$

Síla působí v místě těžiště brusky, které je vzdálené 153 mm od svaru. Potom bude ohybový moment:

$$M_o = F_m \cdot l = 589 \cdot 153 = 90\,056 \text{ Nmm} \quad (39)$$

² Vzdálenost síly od těžiště brusky. Zjištěno z modelu.

Vzorec pro určení délky svaru se použije podmínka napětí:

$$\tau_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{1}{6} \cdot a \cdot h_s^2} \leq \sigma_D \cdot \alpha_{\tau\parallel} \quad (40)$$

Kde W_o je kvadratický moment průřezu v ohybu.

A vyjádří se délka svaru:

$$h_s = \sqrt{\frac{M_o}{\frac{1}{6} \cdot a \cdot 4 \cdot \sigma_D \cdot \alpha_{\tau\parallel}}} = \sqrt{\frac{90\,056}{\frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 0,65}} = 18,61 \text{ mm} \quad (41)$$

Kde a je výška svaru a hodnota 4 ve vzorci vyjadřuje počet svarů.

Z důvodů reálného kombinovaného namáhání volím délku svaru 50 mm. Následně bude délka svaru ověřena.

Kontrola

Po navržené délce svaru se vypočítají jednotlivé složky ze vzorce smykového napětí:

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot a \cdot h_s^2 \cdot 4 = \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 50^2 \cdot 4 = 5\,000 \text{ mm}^3 \quad (42)$$

$$\tau_s = \frac{F}{a \cdot h_s \cdot 4} = \frac{589}{3 \cdot 50 \cdot 4} = 1 \text{ MPa} \quad (43)$$

$$\tau_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{90\,056}{5\,000} = 18,01 \text{ MPa} \quad (44)$$

A po dosazení do vzorce (37):

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{18,01}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{1}{0,65}\right)^2} = 24,06 \text{ MPa} \quad (45)$$

$$\tau \leq \sigma_D \quad (46)$$

$$24,06 \text{ MPa} \leq 200 \text{ MPa}$$

Z kontroly lze říci, že napětí ve svaru je přibližně 8x menší než dovolené napětí. Z této kontroly nejzatíženějších svarů uvažují, že ostatní svary v konstrukci nejsou zatěžované více, a tudíž svarová kontrola v celé konstrukci je dostačující.

6.4.3. Kontrola šroubu pro pružinu

Kontrola šroubu je provedena pro šroub M10 5.8, který drží pružinu v určité poloze. Pro kontrolu je potřeba znát několik údajů:

d_3	8,16	mm
F_p	86	N
μ (ocel-ocel)	0,15	-
σ_{Ds}	400	MPa

Tabulka 5: Parametry pro kontrolu šroubu

Síla od pružiny na nosný plech se přenáší pomocí tření. Je potřeba vypočítat osovou sílu šroubu F_o pro zajištění dostatečného tření.

$$F_o = \frac{F_p}{\mu} = \frac{86}{0,15} = 573 \text{ N} \quad (47)$$

Pro kontrolu napětí je třeba znát nejmenší plochu průřezu, což vychází z malého průměru závitu šroubu d_3 .

$$S_s = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8,16^2}{4} = 52,3 \text{ mm}^2 \quad (48)$$

Pak ze vzorce pro kontrolu napětí (49) se vyjádří koeficient bezpečnosti k (50).

$$\sigma = \frac{F_o}{S_s} \cdot k \leq \sigma_{Ds} \quad (49)$$

$$k = \frac{\sigma_{Ds} \cdot S_s}{F_o} = \frac{400 \cdot 52,3}{573} = 36,5 \quad (50)$$

Z výsledku vyplývá, že únosnost šroubu je 36x větší než požadované napětí pro vytvoření třecí síly.

Kontrola otláčení závitu

U šroubového spoje je vhodné provést kontrolu otláčení v závitu. Ta se provede pomocí vzorce:

$$p_o = \frac{F_o}{z_\zeta \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} \quad (51)$$

Kde z_ζ je počet činných závitů, d_2 střední průměr závitu a H_1 je nosná výška profilu závitu.

d_2	9,026	mm
F_o	573	N
z_ζ	5	-
H_1	0,812	mm

Tabulka 6: Parametry pro kontrolu otláčení šroubu

Potom po dosazení:

$$p_o = \frac{573}{5 \cdot \pi \cdot 9,026 \cdot 0,812} = 4,98 \text{ MPa} \quad (52)$$

Dovolený tlak pro ocel je $p_D = 10 \text{ MPa}$.

$$p \leq p_D$$

$$4,98 \text{ MPa} \leq 10 \text{ MPa} \quad (53)$$

Z hlediska kontroly na otláčení závit vyhovuje.

Utahovací moment

Aby šroub vyvodil dostatečnou osovou sílu, je potřeba ho utáhnout momentem dle vzorce:

$$M_{kk} = M_{TM} + M_Z \quad (54)$$

Kde M_{TM} je třecí moment pod maticí a M_Z je moment závitu.

Ve vzorci třecího momentu pod maticí se vyskytuje ρ_M , což je rozměr matice. Pro šroub M10 je $\rho_M = 17 \text{ mm}$.

$$M_{TM} = F_o \cdot \mu \cdot \rho_M$$

$$M_{TM} = 573 \cdot 0,15 \cdot 17 = 1\,462 \text{ Nmm} \quad (55)$$

Pro výpočet momentu závitu je nejdříve třeba zjistit třecí úhel φ' a stoupání závitu γ , kde β je polovina vrcholového úhlu závitu $\beta = 30^\circ$

$$\varphi' = \arctg \frac{\mu}{\cos \beta} = \arctg \frac{0,15}{\cos 30^\circ} = 0,771 \quad (56)$$

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{s}{\pi \cdot d_2} \right) = \arcsin \left(\frac{1,5}{\pi \cdot 9,026} \right) = 0,0529 \quad (57)$$

Kde s je stoupání závitu. Pak můžeme vypočítat moment závitu:

$$M_Z = F_o \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi')$$

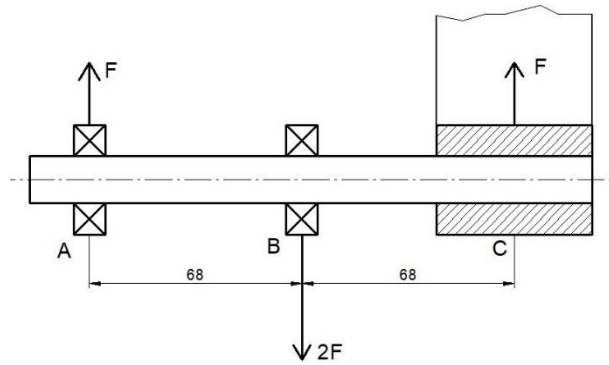
$$M_Z = 573 \cdot \frac{9,026}{2} \cdot \text{tg}(0,0529 + 0,771) = 2\,797 \text{ Nmm} \quad (58)$$

Šroub je potřeba utáhnout momentem o síle 2 797 Nmm.

6.4.4. Kontrola hřídele pro výměnné rolny

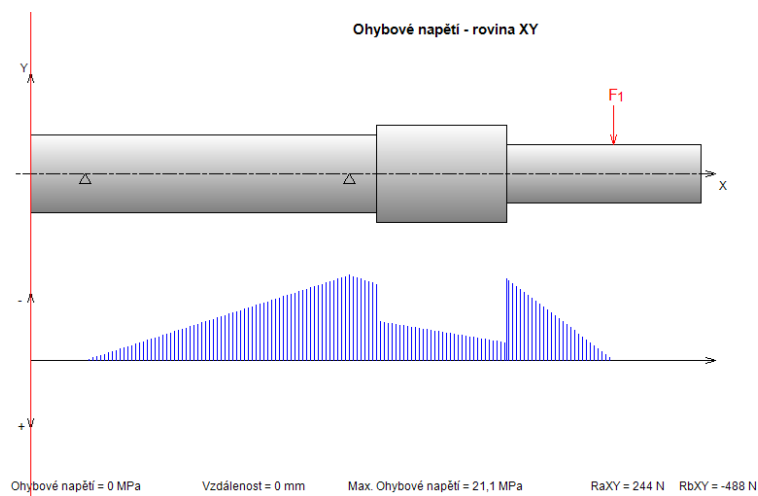
Z celé brusky je kritickou součástí hřídel pro kontaktní rolny uložená v domečku. Je tedy nutné tuto hřídel zkontrolovat na ohyb a ohybové napětí.

Hřídel je podepřena kuličkovými ložisky a zatížena hlavní silou F uprostřed brusného pásu, viz Obr. 48.



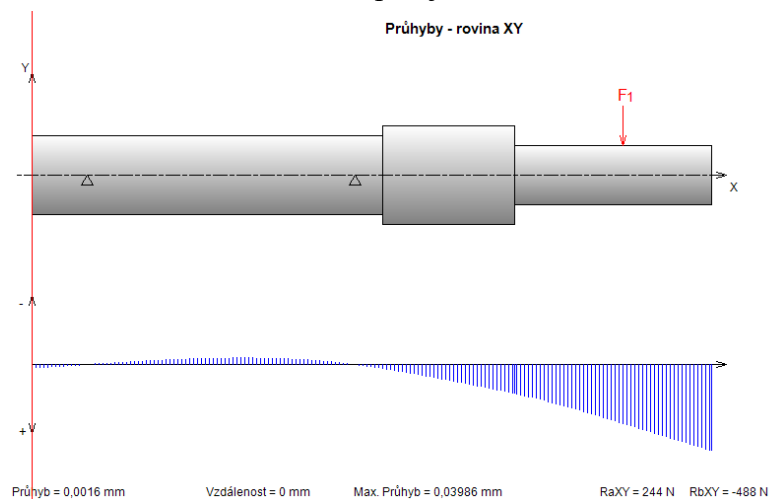
Obr. 48.: Zatížení hřídele (zjednodušené)

Pro kontrolu hřídele byl využit jednoduchý program pro výpočet zatížení a deformace hřídelí.



Obr. 49.: Výsledek ohybového napětí

Dle výsledného průběhu ohybového napětí vyšlo největší napětí v místě podepření druhým ložiskem. Hodnota maximálního napětí je 21,1 MPa.



Obr. 50.: Výsledek průhybu

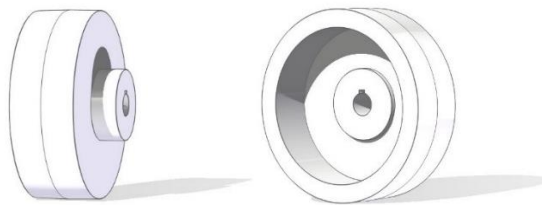
Průhyb hřídele je maximální na konci hřídele, kde činí 0,04 mm.

Na základě výsledků lze usoudit, že namáhání hřídele je v rámci používaných ocelí zanedbatelné a napětí (21,1 MPa) ani průhyb (0,04 mm) neohrožuje ani neomezuje chod brusky.

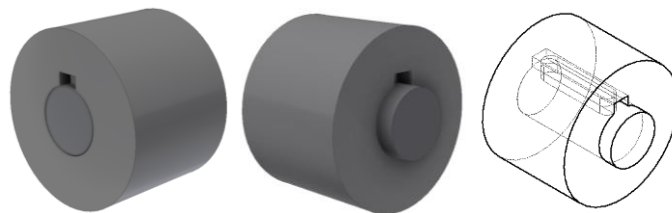
6.4.5. Kontrola hřídele motoru

Pro zjištění deformace a napětí ve spoji mezi těsným perem v hřídeli motoru a hnací rolně se použila metoda konečných prvků MKP. Zatížení je zde pomocí momentu, přenášeným přes těsné pero na hnací rolnu (Obr. 51).

Pro zjednodušení modelování byla hnací rolna zjednodušena pouze na náboj rolny a část hřídele motoru, viz Obr. 52.



Obr. 51.: Reálný model



Obr. 52.: Zjednodušený model

Také se zde neuvažuje vlastní tíha, která v daném případě je zanedbatelná.

Velikost kroutícího momentu se vyjádřila pomocí vzorce:

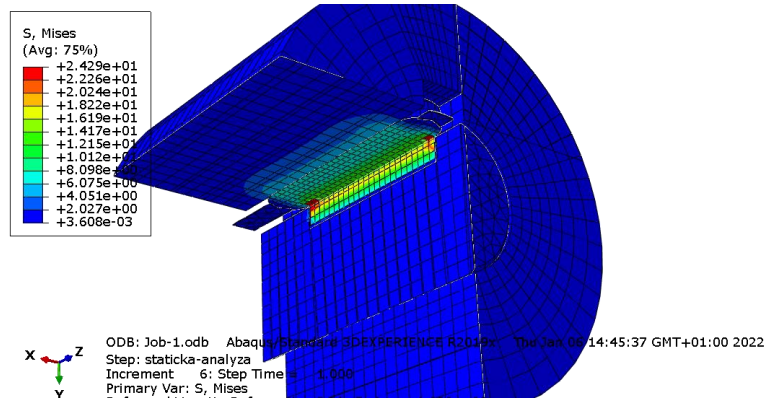
$$M_k = T_1 \cdot r \quad (59)$$

Kde:

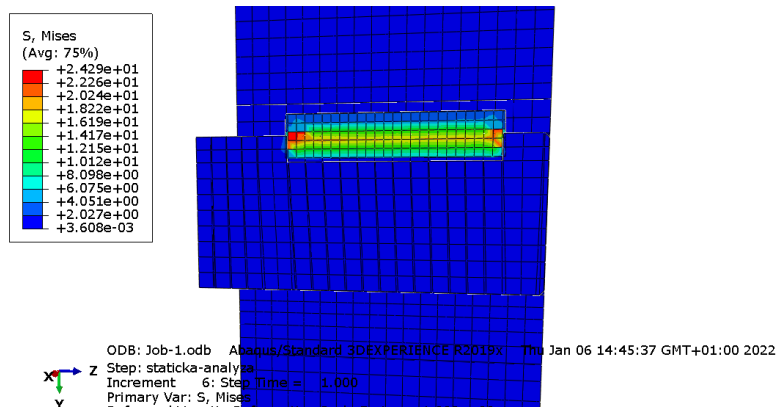
T_1 ...Síla v zatíženém stavu

r ...poloměr skutečné hnací rolny

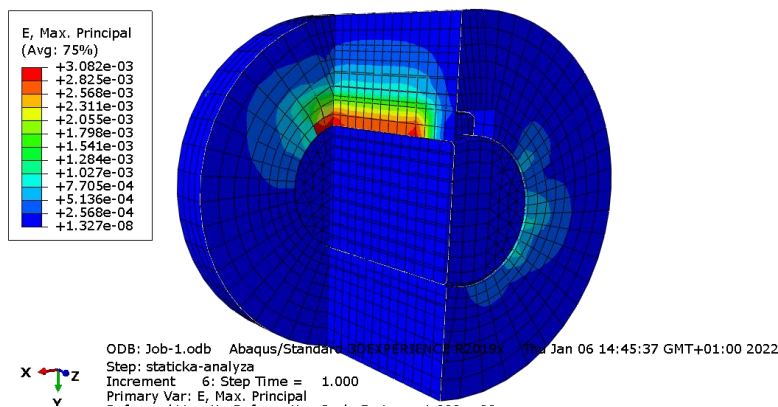
$$M = 79 \cdot 80 = 6\,320 \text{ Nmm} \quad (60)$$



Obr. 53.: Výsledné redukované napětí



Obr. 54.: Výsledné redukované napětí v rovině Y, Z



Obr. 55.: Výsledná deformace modelu

Pevnostní kontrola byla provedena v programu Abaqus. Z výsledků je patrné největší redukované napětí v těsném peru, v dotyku s plochou hnací rolny, viz Obr. 53 a Obr. 54. Nejvyšší hodnota napětí nepřesahuje 25 MPa a deformace hodnotu $3,1 \cdot 10^{-3}$ mm (viz Obr. 55). Vzhledem k pevnosti silonu 65 MPa a pevnosti ocele 640 MPa se dá říct, že zatížení je malé. Pro zjištění zatížení jsou tyto výsledky sestavy dostačující. Pokud by byla potřeba přesnějších výsledků, docílilo by se toho vymodelováním reálného modelu sestavy bez zjednodušení a zanedbání vlastní tíhy.

6.4.6. Volba frekvenčního měniče

K požadavku využívání frekvenčního měniče byla na základě konzultace s majitelem firmy Regtech s.r.o. Zdeňkem Chlapcem a jeho spoluprací s firmou ABB vybrán frekvenční měnič typu ACS355 - 03E - 03A3 – 4 + J400. [65]



Obr. 56.: Elektromotor 1AL80M-2, 1,1 kW
[65]

Jedná se o 3fázový frekvenční měnič s frekvencí 50 Hz a napětím v rozsahu 380 – 480 V. Což vyhovuje zvolenému elektromotoru při uvažovaném zapojení do Y při napětí 400 V.

Pro bezpečný a běžně používaný rozsah frekvence měniče se používá 30 - 70 Hz. Pomocí přepočtu se vyjádří jeho krajní hodnoty v rychlostech, kde:

30 Hz odpovídá 1 800 ot/min,

70 Hz odpovídá 4 200 ot/min.

Potom:

$$v_{30\text{Hz}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,16 \cdot 1\,800}{60} = 15,079 \text{ m/s} \quad (61)$$

a

$$v_{70\text{Hz}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,16 \cdot 4\,200}{60} = 35,185 \text{ m/s} \quad (62)$$

7. Závěr

V první, teoretické části bylo cílem popsat technologii broušení, sestavit rešerši druhů brusek a brusných nástrojů. Dále následoval popis dílčích komponent pásových brusek.

Cílem druhé, praktické části bakalářské práce, bylo navrhnout variabilní pásovou brusku dle zadaných, přesně definovaných požadavků. Nejkritičtějším požadavkem bylo broušení čelních ploch trubek. Dalším hlavním kritériem bylo rozměrové umístění a umístění na stůl – stolní bruska a také využití dostupného materiálu na výrobu napínací, hnací a kontaktních rolen, kterým byl silon PA6.

Součástí návrhu byl výběr brusného pásu a frekvenčního měniče. Dále výpočty pro určení rezné síly, sil v pásu, napínací síly, maximální broušené plochy obrobku a výpočet pružiny pro napínací mechanismus. Kontrolní výpočty jsou zaměřeny na výpočet ložisek, nosných svarů, šroubu a hřídelí. Veškeré kontrolní výpočty vyšly s dostatečnou bezpečností a nebyla tak potřeba navržené komponenty jakkoliv upravovat.

Výstupem návrhu je kompletní model brusky včetně výkresové dokumentace vybraných komponent a sestav. Konstrukce brusky byla navržena tak, aby byla vyrobitelná bez složitých výrobních operací a speciálního zařízení.

Cíle práce byly splněny v plném rozsahu. Pro sériovou výrobu by bylo vhodné zvážit optimalizaci všech dílů pro lepší úsporu nákladů. Nicméně tato konstrukce byla tvořena pro specifické účely a bylo potřeba zohlednit technologické možnosti dané zadavatelem.

Seznam použité literatury

- [1] Podstata broušení. *ELUC* [online]. Olomoucký kraj: Ministerstvo školství, 2015 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1241>
- [2] *Technologie broušení* [online]. 1. Kopřivnice: Ministerstvo školství, 2012 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf
- [3] *Návrh konstrukce dílenské pásové brusky*. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů. Vedoucí práce Ing. Marek Štádlér.
- [4] *Broušení* [online]. In: . [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.sousvodnany.cz/zet/File/drop/odv_s_2_a__1_03-1_brouseni__i._nastroje-1610093293.pdf
- [5] Broušení a jeho podstata. *STELTEC.cz* [online]. Třinec [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.steeltec.cz/brouseni-a-jeho-podstata/>
- [6] Charakteristika výrobní metody. *ELUC* [online]. Olomoucký kraj: Ministerstvo školství, 2015 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1242>
- [7] DOBROVOLNÝ, Bohumil. Broušení kovů: teoretické i praktické základy brusičské praxe a příklady nové techniky broušení. Praha: SNTL, 1959. Knižnice strojírenské výroby.
- [8] MARINESCU, Ioan D., H. K. TÖNSHOFF a Ichiro. INASAKI. Handbook of ceramics grinding and polishing: properties, processes, technology, tools and typology. Norwich, N.Y.: William Andrew Pub. ISBN 08-155-1424-7.
- [9] KOŠEK, Vlastimil, Karel ZAHŘÁDKA a Vladislav MALÝ, 1962. Broušení a leštění brusnými pásy. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Knižnice strojírenské výroby.
- [10] *VLIV NÁKUPU BRUSNÉHO CNC CENTRA NA PRODUKTIVITU VÝROBY*. Brno, 2018. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Chladil, CSc.
- [11] *TECHNOLOGIE HLOUBKOVÉHO BROUŠENÍ*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie. Vedoucí práce Ing. Vítězslav Rázek, CSc.
- [12] Ruční broušení. *Klingspor* [online]. Brno [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.klingspor.cz/znalosti-o-brouseni/rucni-brouseni>
- [13] *Podstata frézování* [online]. Opava, 2011 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-20.pdf. Projekt. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava, příspěvková organizace. Vedoucí práce Josef Švrčina.
- [14] *BROUSICÍ NÁSTOJE*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie. Vedoucí práce Ing. Vítězslav Rázek CSc.

- [15] *Návrh a výpočtové ověření stojanové brusky*. České Budějovice, 2017. Bakalářská práce. Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Martin Podařil, Ph.D.
- [16] RUČNÍ PÁSOVÁ BRUSKA A LEŠTIČKA NA KOV PÁSOVEC 40. In: *Forsteel.eu* [online]. 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.forsteel.eu/rucni-pasova-bruska-a-lesticka-pasovec-40/>
- [17] BOSCH GRB 14 CE Professional pásová bruska na trubky. In: *Rucni-naradi.cz* [online]. Brno: ONIO, 2003 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.rucni-naradi.cz/bosch-grb-14-ce-professional-pasova-bruska>
- [18] Elektrické pásové brusky. In: *Nako.cz* [online]. Pardubice, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.nako.cz/2312-elektricke-naradi/2335-elektricke-brusky/2340-pasove-brusky.html>
- [19] Ruční pásová bruska PÁSOVEC 40V. In: *Nko.cz* [online]. Mladá Boleslav, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.nko.cz/produkty/rucni-pasova-bruska-pasovec-40v-298>
- [20] Stolní pásová bruska PÁSOVEC 100. In: *Nko.cz* [online]. Mladá Boleslav: Pski, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.nko.cz/produkty/stolni-pasova-bruska-pasovec-100-4>
- [21] NS LV200 - VERTIKÁLNÍ PÁSOVÁ BRUSKA. In: *Abrasiv a.s.* [online]. Mladá Boleslav: eBRÁNA, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://pasove-brusky-abrasiv.cz/ns-lv200>
- [22] *Vývoj a implementace řídicího systému pro obráběcí stroj*. Brno, 2017. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Prof. Ing. Karel Šotek, CSc.
- [23] *Univerzální hrotová bruska Bernardo URS 3000 N s digit. odměřováním* [online]. In: . Appio, 1993, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/univerzalni-hrotova-bruska-bernardo-urs-3000-n-s-digit-odmerovanim/853/produkt>
- [24] Broušení rotačních ploch aneb jak a čím brousit do kulata. *Techcentrum* [online]. Česká Třebová: eBRÁNA, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.prodej Brusiva.cz/brouseni-rotacnich-ploch-aneb-jak-a-cim-brousit-do-kulata>
- [25] Bezhrtá bruska. *ELUC* [online]. Olomoucký kraj: Ministerstvo školství, 2015 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1247>
- [26] KCG-18S. In: *Kent Industrial USA* [online]. USA, 2021 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.kentusa.com/machines/grinders/centerless-grinders/kcg-18s/>
- [27] Způsoby a postupy rovinného broušení. *Techcentrum* [online]. Česká Třebová: eBRÁNA, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.prodej Brusiva.cz/zpusoby-a-postupy-rovinneho-brouseni>
- [28] *JET JDS-12X TALÍŘOVÁ BRUSKA* [online]. In: . Brno: WEBMIUM [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.nastrojebno.cz/detail/jet-jds-12x-talirova-bruska>
- [29] Kombinovaná bruska OPTIgrind DBS 75, 1100 W. In: *Manutan* [online]. Ostrava, 2021 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.manutan.cz/cs/mcz/kombinovana-bruska-optigrind-dbs-75-1100-w->

- 553240?gclid=Cj0KCQjwrJOMBhCZARIsAGEd4VEineKm3iwpG4q9pYWaAdom2umN00vxIKj_NXu6CjBLdYMPSqq6xKwaAh37EALw_wcB
- [30] Proxxon Micromot 60/E 28 515 multifunkční nářadí. In: *Conrad* [online]. 2021 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/p/proxxon-micromot-60e-28-515-multifunkcni-naradi-vc-prislusenstvi-kufrik-34dilna-40-w-809756?gclid=CjwKCAiAgbiQBhAHEiwAuQ6Bko-8_Swsyu-crE_dvFfQEQxYHV7MrydE8oAi7uSx778J2Uva2Oh0hxoCKqoQAvD_BwE
- [31] *Diagnostika asynchronních motorů*. Praha, 2021. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd. Vedoucí práce Ing. Jakub Svatoš, Ph.D.
- [32] Zapojení na motoru do trojúhelníku a hvězd. In: *Poradte* [online]. 2011 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.poradte.cz/elektronika/5111-zapojeni-na-motruru-do-trojuhelniku-a-hvezdy.html>
- [33] Přehled a zapojení motorů. *Mylms* [online]. 2006, 2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/prehled-a-zapojeni-motoru/#motorskotvounakratko>
- [34] Asynchronní stroje - konstrukce, princip funkce a řízení. *Oenergetice* [online]. Třebíč [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni>
- [35] Belt Grinder Motor Guide. *Dcknives.blogspot.com* [online]. Canada, 2017 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://dcknives.blogspot.com/p/grinder-motors.html>
- [36] ABB ACS 150-03E-03A3-4 frekvenční měnič 3x400V 1,1kW. In: *Emat.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.emat.cz/abb-ac-150-03e-03a3-4-frekvencni-menic-3x400v-1-1kw>
- [37] FREKVENČNÍ MĚNIČE A VŠE O NICH. *KDRIVES* [online]. virtuals, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/frekvencni-menice-proc-a-jak>
- [38] 10" KMG Grinder. *Beaumont Metal Works* [online]. Ohio [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://beaumontmetalworks.com/product/10-kmg-grinder/>
- [39] Belt Grinder - Sander 2x72." In: *Leadingcomposites.com* [online]. Greece [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://leadingcomposites.com/machinery/244-belt-grinder-sander.html>
- [40] Belt grinding machine RadiusMaster RM 48, 230V. In: *Angel shop* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.angele-shop.com/shop/en/belt-grinding-machine-radiusmaster-rm-48-230v>
- [41] BG-272 DIY 2 x 72" Belt Grinder. *Dcknives.blogspot.com* [online]. Canada, 2019 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://dcknives.blogspot.com/p/2-x-72-belt-grinder.html>
- [42] *Návrh pásové brusky*. Brno, 2020. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. JAN PAVLÍK, Ph.D.
- [43] Ploché řemenice. *PIKRON* [online]. Ústí nad Labem, 1992 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.pikron.cz/produkty/remenice/ploche>
- [44] UMĚLÝ HNĚDÝ KORUND A96. *Procarosa* [online]. Hradec Králové: Procarosa, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.procarosa.cz/umely-hnedy-korund-f12-f400/?variantId=3477&gclid=CjwKCAjwoduRBhA4EiwACL5RPxH72HQXfPEHfTvXFKa5wdGcIgeE81aL0cYt9sP3r1oddutIzB2_uxoC4BUQAvD_BwE

- [45] BRUSNÝ TKANINOVÝ PÁS KORUND VSM KK711X 40X815 MM - K150. In: *Enářadí nástroje* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Enaradinastroje, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.enaradinastroje.cz/brusny-tkaninovy-pas-korund-vsm-kk711x--40x815-mm-k150/?gclid=CjwKCAjwoDuRBhA4EiwACL5RP2UeI9_qbPJ1wgzuR-9iwRY2Cc6I8GtTTMQOZWaXLBdqUTaXXRvXCRoCTpoQAvD_BwE
- [46] Bona 8100 brusný pás, karbid křemíku. In: *Bona* [online]. Bona Orgnr. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.bona.com/cz/produkty/profesional/brusivo/8100-karbid-kremiku/roll-8100-203mm-x-25m-grit-100/>
- [47] Brusný pás Grit R. In: *Grandic* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.grandic.cz/brusne-pasy-papiry-platna-fein-69903020000-brusny-pas-grit-r-zrno-36-75x2250-mm-10-ks-fein>
- [48] BRUSNÝ TKANINOVÝ PÁS KERAMIKA VSM XK870X 6X610 MM - K60. In: *Enářadí nástroje* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Enaradinastroje, 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://www.enaradinastroje.cz/brusny-tkaninovy-pas-keramika-vsm-xk870x--6x610-mm-k60/?gclid=CjwKCAjwoDuRBhA4EiwACL5RPyO7SJDUF36KLM-ewadBRnvztok_w9o4NKtQD_HZsfAj51-qiSMKNxoCn4kQAvD_BwE
- [49] Brusný pás SC-BL T - leštící. In: Svoboda pro kováře [online]. Česká Skalice [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.svobodaprokovare.cz/cs/50x1500-mm/119-brusny-pas-sc-bl-t-lestici.html>
- [50] Brúsne pásy Trizact. In: *ROZMARING* [online]. Banská Bystrica: Allweb, 2018 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.brusivo-rozmaring.sk/brusivo/brusivo-3m/trizact/>
- [51] Rounový brusný pás. In: *BERNARDO* [online]. Linz: Copyright, 2018 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.bernardo.at/cz/schleifvlies-2000-x-100-mm-medium.html>
- [52] Druhy brusiv používaných na brusných pásech. *PISKAČ a syn* [online]. České Budějovice: FastCentrik [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.eshop.piskacasyn.cz/druhy-brusiv-pouzivanych-na-brusnych-pasech/t-24>
- [53] BRUSNÉ PÁSY. In: *Leštění* [online]. MicronPlus [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://www.lesteni.cz/brusne-pasy>
- [54] Co znamená 3M Trizact?. *PISKAČ a syn* [online]. České Budějovice: FastCentrik [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.eshop.piskacasyn.cz/co-znamená-3m-trizact/t-17>
- [55] Co znamená 3M Scotch-Brite?. *PISKAČ a syn* [online]. České Budějovice: FastCentrik [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.eshop.piskacasyn.cz/pro-co-pouzit-brusne-rouno-3m-scotchbrite/t-10>
- [56] Brusný filc. *OKENTĚS* [online]. OKENTĚS, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.okentes.cz/naradi-a-nastroje/rucni-naradi/brusny-material/brusny-filc-%5BR_83306089%5D
- [57] Jak vybrat správný brusný papír. *Hobby instory* [online]. Copyright, 2015 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://hobby.instory.cz/422-jak-vybrat-spravny-brusny-papir.html>



- [58] Elektromotor 1.1kW, 2875ot. 1AL80M-2. *VYBO electric* [online]. Spišská Nová Ves [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.elektromotor.cz/obchod/elektromotor-1-1kw-2875rpm-1-al-80-m-2/>
- [59] Doporučené řezné rychlosti pro brusné pásy. *PICKAČ a syn* [online]. České Budějovice: FastCentrik [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.eshop.piskacasyn.cz/doporucene-rezne-rychlosti-pro-brusne-pasy/t-19>
- [60] *Static and Dynamic Friction of Pure and Friction-Modified PA6 Polymers in Contact with Steel Surfaces: Influence of Surface Roughness and Environmental Conditions* [online]. 2018. 2019 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2075-4442/7/2/17/pdf>
- [61] Hodnoty mezí pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel. *E-konstrukter* [online]. 2013 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezi-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
- [62] MÁDL, CSC., doc. Ing. Jan. *Teorie obrábění: Broušení*. Dotisk. Praha: ČVUT, 1990. ISBN 7068.
- [63] Pružiny tažné: Katalogový list. In: *Meteza* [online]. Elasticr, 1991 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/ostatni-prislusenstvi/pruziny/pruziny-tazne>
- [64] Valivá ložiska: Katalogový list. In: *SKF* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub54/Images/0901d1968096351e-Rolling-bearings---17000_1-CS_tcm_54-121486.pdf#cid-121486
- [65] Měnič pro strojní zařízení ACS355. In: *ABB* [online]. Copyright, 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://new.abb.com/drives/cs/nizkonapetove-frekvencni-menice/strojni-zarizeni/acs355>

Seznam obrázků

Obr. 1.: Princip broušení [7][8]	2
Obr. 2.: Ruční pásová bruska a leštička PASOVEC 40 [16]	5
Obr. 3.: Ruční pásová bruska na trubky PASOVEC 40V [19]	6
Obr. 4.: Stolní pásová bruska PASOVEC 100 [20]	6
Obr. 5.: Stojanová pásová bruska NS LV200 [21]	7
Obr. 6.: Princip vnějšího broušení [22]	8
Obr. 7.: Hrotová bruska Bernardo URS 3000 N [23]	8
Obr. 8.: Princip bezhroté brusky [25]	8
Obr. 9.: Bezhrotá bruska KCG-18S [26]	9
Obr. 10.: Čelní bruska JET JDS-12X [28]	9
Obr. 11.: Kombinovaná bruska OPTIgrind DBS 75 [29]	10
Obr. 12.: Modelářská bruska Proxxon Micromot [30]	10
Obr. 13.: Řez třífázovým asynchronním motorem s kotvou nakrátko [31]	12
Obr. 14.: Zapojení motoru do hvězdy a trojúhelníka [32]	13
Obr. 15.: Frekvenční měnič ABB [36]	13
Obr. 16.: Rám ze čtvercových profilů [38]	14
Obr. 17.: Rám z výpalků [39]	14
Obr. 18.: Lítý rám [40]	15
Obr. 19.: Rozměry a tvar správného bombírování [43]	16
Obr. 20.: Umělý korund [44], [45]	16
Obr. 21.: Pás z karbidu křemíku [46]	16
Obr. 22.: Pás ze zirkonkorundu [47]	17
Obr. 23.: Pás s keramikou [48]	17
Obr. 24.: Brusný pás z filcu [49]	17
Obr. 25.: Brusný pás trizak s obdélníkovou a pyramidovou strukturou [50]	18
Obr. 26.: Brusné rouno [51]	18
Obr. 27.: Pracovní prostor	19
Obr. 28.: Elektromotor 1AL80M-2, 1,1 kW [58]	20
Obr. 29.: Síly působící při broušení	22
Obr. 30.: Rozměry pružiny [63]	25
Obr. 31.: Svařenec těla brusky	26
Obr. 32.: Sestava brusky	27
Obr. 33.: Sestava brusky bez krytů	27
Obr. 34.: Napínací mechanismus	28
Obr. 35.: Přichycení pružiny	28
Obr. 36.: Řez napínací rolny	29
Obr. 37.: Řez domečkem	29
Obr. 38.: Sestava svislého stolku	30
Obr. 39.: Sestava brusky se sklápěcím mechanismem	30
Obr. 40.: Řez hlavním čepem (vlevo) a pohled na druhou část sklápěcího mechanismus (vpravo)	31
Obr. 41.: Svislá poloha	31
Obr. 42.: Vodorovná poloha	32
Obr. 43.: Vodorovná a svislá poloha	32
Obr. 44.: Čelní poloha	33
Obr. 45.: Rozměry ložiska [64]	33
Obr. 46.: Zatížení ložisek	34
Obr. 47.: Nosná konzole	36
Obr. 48.: Zatížení hřídele (zjednodušené)	40
Obr. 49.: Výsledek ohybového napětí	40
Obr. 50.: Výsledek průhybu	40
Obr. 51.: Reálný model	41



Obr. 52.: Zjednodušený model	41
Obr. 53.: Výsledné redukované napětí	42
Obr. 54.: Výsledné redukované napětí v rovině Y, Z.....	42
Obr. 55.: Výsledná deformace modelu.....	42
Obr. 56.: Elektromotor 1AL80M-2, 1,1 kW [65]	43

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry motoru [58]	20
Tabulka 2: Parametry pružiny [63]	25
Tabulka 3: Parametry ložiska [64].....	34
Tabulka 4: Parametry pro svary.....	36
Tabulka 5: Parametry pro kontrolu šroubu	38
Tabulka 6: Parametry pro kontrolu otláčení šroubu	38

Seznam příloh

1. Výkres brusky
2. Výkres nosné konzole
3. Výkres hřídele pro výměnné rolny
4. Výkres hnací rolny
5. Kusovník