



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

KONSTRUKCE STROJE PRO BEZHROTÉ BROUŠENÍ

DESIGN OF MACHINE TOOL FOR CENTRELESS GRINDING PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ MERENUS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Merenus

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Konstrukce stroje pro bezhroté broušení

v anglickém jazyce:

Design of machine tool for centreless grinding process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti strojů pro bezhroté broušení. Na základě rešerše zvolí technické parametry konstruovaného stroje. Provede základní konstrukční výpočty a vlastní konstrukci obráběcího stroje v 3D modelu.

Součástí bakalářské práce bude výkres sestavy obráběcího stroje a v elektronické příloze 3D model stroje.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti strojů pro bezhroté broušení.

Volba technických parametrů konstruovaného stroje.

Kontrolní konstrukční výpočty.

Zjednodušený konstrukční návrh zvoleného stroje.

Součástí bakalářské práce bude výkres sestavy obráběcího stroje a v elektronické příloze 3D model stroje.

Seznam odborné literatury:

Marek, J. a kol; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISBN 978-80-254-7980-3

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

www stránky výrobců obráběcích strojů

www.infozdroje.cz

www.mmspektrum.com

www.kovosvit.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

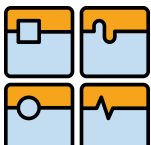
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 16.11.2011



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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem stroje pro bezhroté broušení válcového profilu. Výsledný navrhovaný stroj bude určen pro povrchové opracování trubek z kovových slitin. Práce má část teoretickou a praktickou. V teoretické části bude nastíněn problém bezhroté technologie, konstrukce různých strojů a jejich příklady. V praktické části práce budou provedeny základní výpočty pracovních částí a vymodelování navrhované konstrukce stroje v programu Autodesk Inventor 2011. Součástí práce je výkres celkové sestavy.

Klíčová slova: bezhroté broušení, zapichovací bezhroté broušení, konstrukce technických uzlů stroje, řezná rychlost broušení

Abstract


This bachelor thesis describes the design of centerless grinding machine for cylindrical profile. Designed machine will be used for surface treatment of metal or alloy tubes. The work consist of theoretical and practical part. Issues of centerless technology, construction of various machines and their examples are outlined in the theoretical part. The practical part of work consist of basic calculations of work components and the model of designed construcion in programme Autodesk Inventor 2011. Part of work is drawing of entire set.

Keywords: throughfeed centerless grinding, plunge centerless grinding, construction of engineering machinery nodes, cutting speed



Bibliografická citace

MERENUS, O. *Konstrukce stroje pro bezhroté broučení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 33 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, PhD.

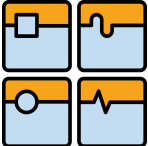
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci na téma: „*Konstrukce pro bezhroté broušení*“ vypracoval pod vedením doc. Ing. Petra Blechy, Ph.D. samostatně s použitím odborné literatury a zdrojů, které jsou uvedeny v příloze této práce.

V Brně dne 20, Května 2012

Ondřej Merenus

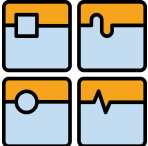
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat za odborné vedení při tvorbě bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Blechovi Ph.D. a za podporu při plnění školních povinností svým rodičům, díky kterým jsem mohl tuto práci vypracovat.

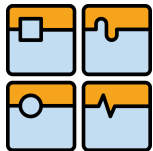
Obsah

Abstrakt.....	5
Čestné prohlášení	7
Poděkování.....	8
Obsah	9
Úvod 10	
1. Přehled současného stavu poznání	11
1.1. Broušení	11
1.2. Bezhruté broušení	11
1.3. Typy strojů.....	12
1.3.1. Bezhruté broušení průběžné	12
1.3.2. Bezhruté broušení zapichovací.....	12
1.3.3. Planetové broušení.....	13
1.3.4. Bezhruté broušení vnitřních válcových otvorů.....	13
1.4.1. Bhagwansons	14
1.4.2. Micron USA	16
1.4.3. Brocek - CGM 320	17
1.4.4. Garboli TRIS	18
2. Formulace problému a vymezení cílů práce.....	19
3. Výpočty	20
3.1. Výpočet brusného válce.....	20
3.2. Výpočet podavacího válce	21
3.3. Určení úhlů náklonu posuvů.....	22
3.4. Návrh kuličkového šroubu a pohonu	23
3.5. Tepelná roztažnost konstrukce stroje.....	24
4. Konstrukce stroje.....	24
4.1. Suporty, posuvy a stůl.....	25
4.2. Broušící konstrukce	26
4.3. Odvalovací konstrukce	27
5. Montáž stroje	28
6. Závěr.....	29
7. Výsledný navrhnutý stroj.....	30
8. Seznam použité literatury	31
9. Seznam obrázků.....	32
10. Seznam příloh	33

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Úvod

Od dob, kdy člověk pochopil účinky abrazivního styku dvou těles, patří broušení historicky mezi nejstarší metody obrábění materiálů, které člověk využíval již v prehistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek, především k ostření pracovních nástrojů a zbraní. V současné době je broušení využíváno jako hlavní metoda dokončovacího obrábění ve strojírenské výrobě. S vývojem výkonných broušicích nástrojů a brusek se význam broušení rozšiřuje z původní oblasti dokončování i na hrubovací operace a je zřejmé, že z hlediska produktivity i výrobních nákladů může konkurovat ostatním metodám obrábění. Toto téma bylo inspirováno snahou jedné firmy vymyslet jednoduchý a levný broušicí stroj na broušení dřevěné kulatiny např: dřevěných násad nástrojů.



1. Přehled současného stavu poznání

1.1. Broušení

Broušení lze charakterizovat jako obrábění mnohobřítým nástrojem s nedefinovanou geometrií vytvořenou ze zrn brusiva, která jsou spojena pojivem. Jako brusiva se používají převážně materiály jako je umělý korund, karbid křemíku, diamant nebo například polykubický nitrid bóru. Broušením se při dokončovacích pracích na obrobku dosahuje vysoké geometrické přesnosti a drsnosti až IT3. Broušení se vyznačuje rozdílnými vlastnostmi oproti klasickému obrábění. [4]



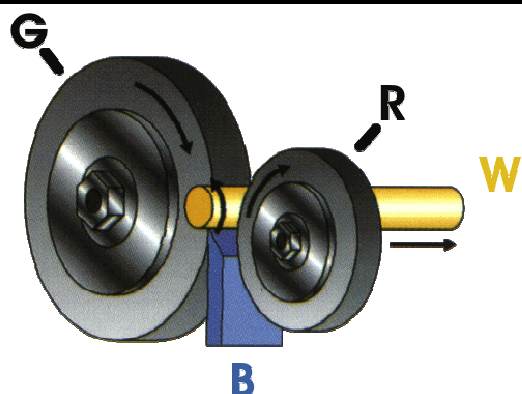
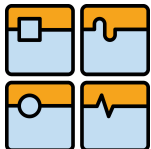
Obr.1 - Brusný kotouč [21]



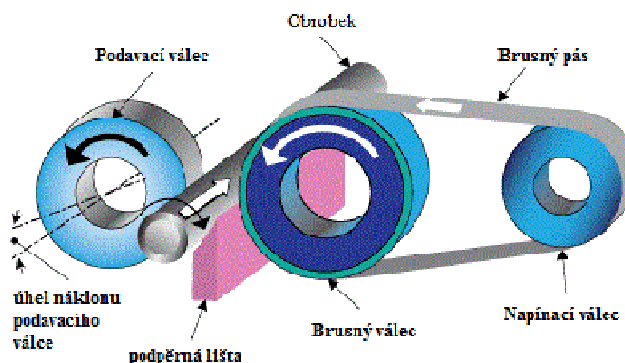
Obr.2 - Historický brusný stroj [22]

1.2. Bezhraté broušení

Cílem technologie bezhratého broušení je přesné povrchové opracování kulatého profilu průběžným nebo zapichovacím způsobem. Dnes se používá s vysokou produktivitou a přesností např. při broušení součástí ložisek nebo vstřikovacích trysek spalovacích motorů. Zapichovacím způsobem lze obrábět kratší součásti s osazením nebo členitou geometrií a při průběžném obrábění lze kontinuálně brousit kulatý profil libovolné délky. Konstrukce strojů je dělena podle způsobu obrábění. Brusky s brusnými válci, s brusným pásem nebo planetové brousící těleso a další možné způsoby. Základní technologie bezhratého broušení je založena na rotujícím obrobku(W) mezi brusným(G) a podávacím válcem(R), který se opírá o opěrnou lištu(B). Podávací válec se otáčí nízkými otáčkami a vyvolává pouze osový posuv součásti. Brusný válec rovnoměrně obrábí povrch obrobku a je až 2x větší než válec posuvu kvůli zvýšení brusné rychlosti.



Obr.3 - tech. bezhrotého broušení [5]



Obr.4 – tech. bezhrotého broušení pásem [20]

1.3. Typy strojů

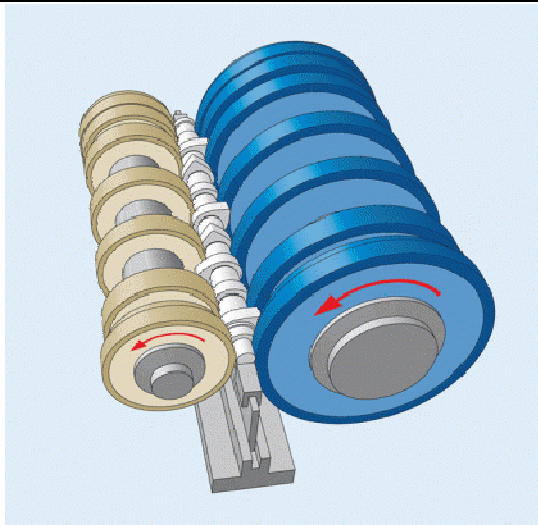
Stroje pro bezhroté broušení se rozdělují do několika základních skupin. Mezi hlavní skupinu patří bezhroté broušení průběžné a zapichovací, dále pak broušení planetové a broušení profilovým kotoučem.

1.3.1. Bezhroté broušení průběžné

Tyto stroje jsou určeny pro broušení přesných válcových geometrií určitého průměru. Na těchto strojích nelze měnit broušený průměr během obráběcího procesu. Brousit lze pevnými kotouči nebo brusným pásem. Broušení pásem se používá i k leštění a satinování povrchů trubek. Takto se brousí válcové čepy bez osazení, hydraulické písty, hřídele, válečkové elementy, trubky, atd.

1.3.2. Bezhroté broušení zapichovací

Bezhroté broušení zapichovací se používá k broušení geometricky složitých součástí, kde je vyžadován vysoký nárok na přesnost geometrie obrobku. Lze brousit několik průměrů dohromady. Obrobek se vkládá mezi brousící a podávací válec (viz obr.5). Takto se například brousí: čepy, osazené hřídele, valivé elementy soudečkových ložisek, ventily spalovacích motorů, vačkové hřídele, kuličkové šrouby nebo např. součásti převodovek [17].



Obr.5 – zapichovací broušení vačkové hřídele [17]



Obr.6 – příklad zapichovacího broušení firmy Junker [17]

1.3.3. Planetové broušení

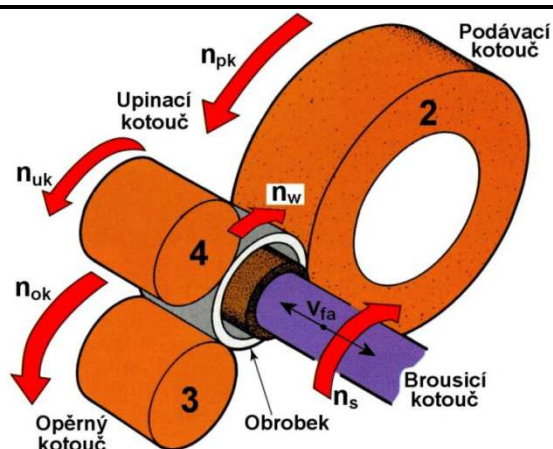
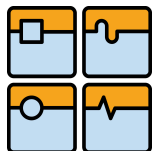
Stroje pro planetové broušení jsou velice speciální a používají se v podstatě pouze na povrchovou úpravu profilů různých geometrií. Technologie je postavena na rotujícím prstenci okolo obrobku a v něm rotující většinou 2 brusná vřetena s napínáky pásů (viz obr.7).



Obr.7 – planetový broušící stroj [20]

1.3.4. Bezhraté broušení vnitřních válcových otvorů

Stroje pro broušení vnitřních otvorů jsou speciální stroje. Obrobek válcového tvaru rotuje mezi 2 opěrnými válci a pohonným válcem. Nástroj koná hlavní pohyb.



Obr.8 – Technologie vnitřního bezhrotého broušení [4]

1.4. Současná výroba

Dnes jsou po světě desítky firem, které vyrábí brousicí stroje nebo jsou s jejich výrobou spojeny. Některé se úzce specializují na výrobu bezhrotých brusek a jejich výroba je zaměřena pouze na pár modelů, které jsou ale vysoce profesionální a lze s nimi brousit do přesnosti až 0,001mm. Tyto stroje se především využívají v automobilovém průmyslu, výrobě ložisek atd.

1.4.1. Bhagwansons

Indický výrobce precizních strojů pro bezhroté broušení, které jsou určeny pro výrobu součástí do automobilového, leteckého průmyslu a např. pro výrobu součástí ložisek. Firma byla založena roku 1964 a do současnosti vyrobila přes 4500 těchto strojů [13].

1.4.1.1. Centerless Grinder-CG 100

Základní manuální stroj pro zapichovací i průběžné broušení. U stroje je uváděna vysoká přesnost broušení. Rám stroje je vyroben jako svařenec z plechových ohýbaných dílců. Tato konstrukce zaručuje vysokou tuhost, pevnost a ekonomičnost výroby. Brousící válec o průměru 350 mm je poháněn motorem o výkonu 7,5 kW a posuv je zajištěn 1 kW motorem. Průměr posuvného válce je 225mm. Otáčky brusného válce se pohybují v rozmezí 1800 – 2000 ot.min⁻¹, otáčky podávacího válce jsou od 20 do 100 ot.min⁻¹. Úhel natočení posuvného válce je -2° až 5° od vertikální osy [13].



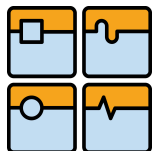
Obr.9 - CenterlessGrinder-CG 100 [13]

1.4.1.2. CNC Centerless Grinder

CNC CG je nejvyšší řada stroje vyráběna touto firmou. Je plně řízen pomocí CNC. Broušená součást musí mít průměr od 2 do 125 mm a při zapichování lze brousit součást dlouhou 250 mm. Brusný válec má průměr 500 mm a je poháněn 24 kW motorem. Posuv zajišťuje válec o průměru 305 mm a poháněn motorem o výkonu 1,5 kW. Přesnost stroje je 0,001 mm [13].



Obr.10 - CNC CenterlessGrinder [13]



1.4.2. Micron USA

Výrobce přesných bezhrotých a vnitřních brusek pro broušení součástí o průměru 0,3 až 200 mm. Všechny stroje jsou řízeny pomocí počítače a jsou určeny pro velkosériovou a velice přesnou výrobu např. v automobilovém průmyslu [15].

1.4.2.1. MPC-300

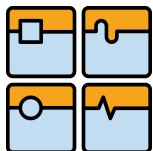
Jedná se o brusku pro nejmenší průměry v nabídce této firmy. Umožňuje brousit průměry od 0,3 mm. Zaručuje velmi vysokou přesnost broušení. Vřeteno s brusným válcem je uloženo na jedné straně v ložiskách a je poháněno motorem o výkonu 3,7 kW. Posuv je poháněn motorem o výkonu 0,4 kW. Rychlost otáčení podavacího válce lze regulovat od 10 do 180 ot.min⁻¹. Hmotnost stroje je 1500 kg [15].



Obr.11 - MPC-300 [15]

1.4.2.2. MPC-600V

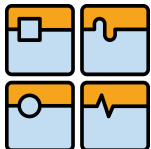
MPC-600V je v základní výrobní řadě největším strojem. Lze na něm brousit průměry do 200 mm. Brusný válec má rozměry 610 x 500 mm a je poháněn motorem o výkonu až 55kW. Rychlost otáčení posuvného válce je od 20 do 200 ot.min⁻¹. Hmotnost stroje je 8000 kg. Vřeteno tohoto stroje je uloženo na obou stranách v dvojitéch ložiskách kvůli velikosti a hmotnosti brusného válce a zároveň tuhosti celku [15].

*Obr.12 - MPC-600V [15]*

1.4.3. Brocek - CGM 320

Česká konstrukce stroje pro bezhroté broušení za pomoci pásu. Konstrukce je vyrobena převážně z profilů a plechových výpalků. Stroj obsahuje 2 broušící válce z důvodu zvýšení výkonu. Na tomto stroji lze kombinovat operace broušení a leštění. Lze obrábět kulaté profily průměru od 10 do 320 mm a délky 7500 mm. Brusné válce jsou poháněny motory o výkonu 4,4 kW [16].

*Obr.13 - Brocek - CGM 320 [16]*



1.4.4. Garboli TRIS

Italský výrobce broušicích strojů. Vyrábí pásové rovinné brusky, pásové a bezhroté brusky a planetové brusky. Základní stroj TRIS je určen pro bezhroté broušení a leštění rovných válcových součástí, které jsou vyrobeny z oceli, železa, hliníku, mosazi a dalších materiálů. Tuto brusku lze použít například také na srážení hran. Lze brousit součásti délky 20 mm a více. Stroj je osazen 3 kW motorem pro pohon brusného pásu a 0,09kW motorem pro posuv obrobku. Rychlost broušení lze nastavit v rozmezí 1 až 10 m.min⁻¹ podle natočení posuvného válce. Šířka brusného pásu je 140 mm, délka 2180 mm z důvodu chlazení. Rám stroje je vyroben jako svařenec z ohýbaných plechových dílců. Konstrukce stroje je velice jednoduchá [14].

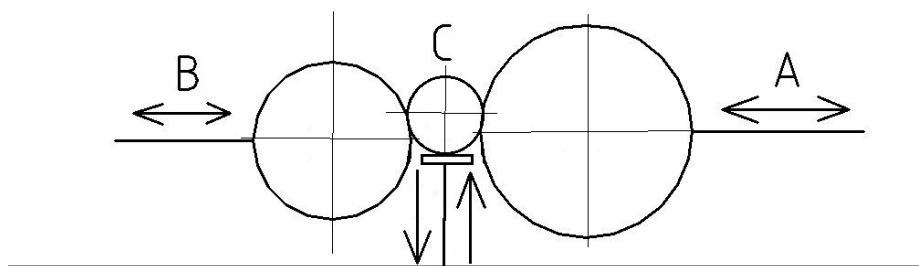


Obr.14 - Garboli TRIS [14]



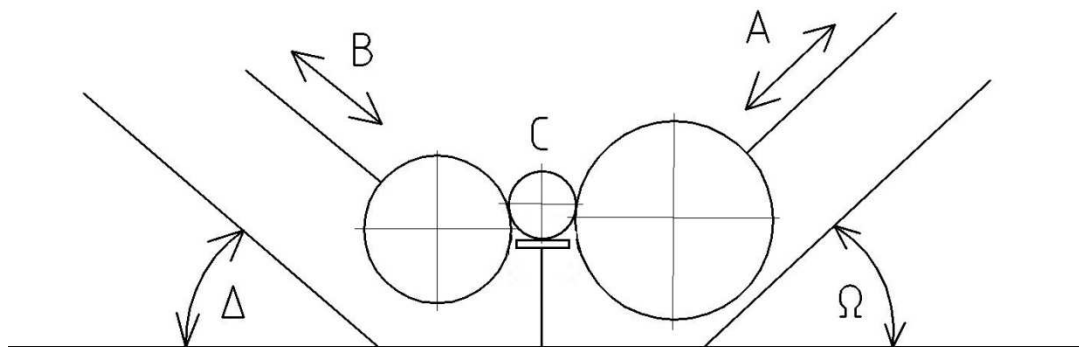
2. Formulace problému a vymezení cílů práce

Před začátkem návrhu konstrukce je nutné si nastavit přesné podmínky, podle kterých se bude stroj konstruovat. Hlavním cílem práce nejsou rozměry výsledného stroje ale návrh konstrukčních uzlů. Z několika možných variant konstrukce jsem po konzultaci vybral variantu s pevnou podpěrnou lištou a posuvy obou pracovních os (viz obr.12). K broušení bude použit brusný pás. Tato varianta konstrukce má pouze dvě pohyblivé soustavy. Mezi konstrukční uzly tohoto stroje budou patřit: stůl, posuvy, brusná a podavací osa. Při návrhu celého stroje budu vycházet z řezné rychlosti při broušení a otáček motorů, které se sériově vyrábí. Další parametry jsou například šířka brusného pásu nebo technologie posuvů. Vypočítány budou hlavní konstrukční uzly.



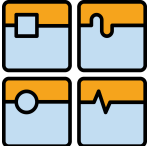
Obr.15 – Základní uspořádání bezhroté brusky

A-broušící osa, B-podávací osa, C-obrobek – 3 posuvové osy



Obr.16 – Navrhnuté uspořádání brusky

Ω-úhel broušící osy, Δ-úhel podavací osy – 2 posuvové osy

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3. Výpočty

Mezi hlavní výpočty v této práci jsou zahrnuty výpočty velikostí brusného a podavacího válce a výpočet pohybového šroubu. Výpočty jsou provedeny v programu MathCad.

3.1. Výpočet brusného válce

Při výpočtu se bude vycházet z doporučených brousicích hodnot, které byly vyhledány ve skriptech výrobních technologií [4]. Využito bylo základního vzorce pro výpočet řezné rychlosti v_c pro broušení.

Návrh průměrů brusného a odvalovacího válce

Vstupní parametry:

$$v_{c1} = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad d_{o1} = 10 \text{ mm}$$

$$v_{c2} = 35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad d_{o2} = 150 \text{ mm}$$

$$n_1 = 1440 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = 2890 \text{ min}^{-1}$$

Průměr brusného válce:

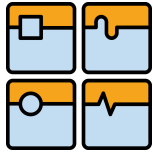
$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (1)$$

$$d_{11} = \frac{v_{c1}}{\pi \cdot n_1} = 397.887 \text{ mm}$$

$$d_{12} = \frac{v_{c1}}{\pi \cdot n_2} = 198.255 \text{ mm}$$

$$d_{21} = \frac{v_{c2}}{\pi \cdot n_1} = 464.202 \text{ mm}$$

$$d_{22} = \frac{v_{c2}}{\pi \cdot n_2} = 231.298 \text{ mm}$$



Z vypočtených hodnot jsou vybrány otáčky motoru $2890 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejmenší průměr motoru je 224 mm, a proto je zvolen průměr brusného válce 240 mm. Otáčky motoru budou řízeny frekvenčním měničem.

3.2. Výpočet podavacího válce

Rychlost posuvu obrobku je určena otáčkami a úhlem náklonu podavacího válce.

Doporučené otáčky podavacího válce se pohybují v rozmezí $18 \text{ až } 45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$$d_{o1} = 10 \text{ mm} \quad \text{minimální průměr obrobku}$$

$$d_{o2} = 150 \text{ mm} \quad \text{maximální průměr obrobku}$$

$$v_{r1} = 18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_o \cdot n_o}{1000} \quad (2)$$

Při výpočtu byl zvolen průměr podavacího válce a vypočítány byly otáčky válce, kvůli volbě šnekové převodovky a motoru. Průměr podavacího válce je menší než průměr brusného. Zvoleno 190 mm.

$$d_3 = 190 \text{ mm} \quad \text{navrhnutý průměr válce}$$

$$n_{31} = \frac{v_{r1}}{\pi \cdot d_3} = 30.156 \cdot \text{min}^{-1}$$

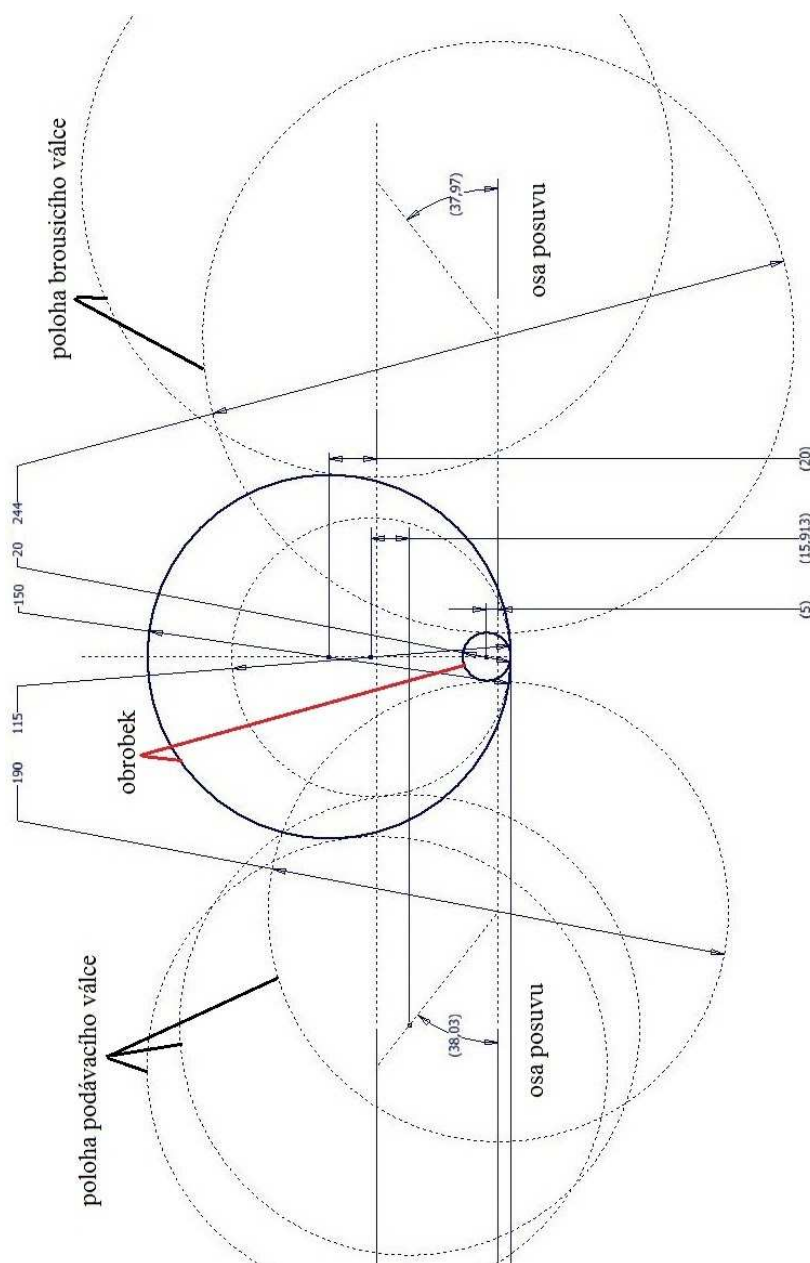
$$n_{32} = \frac{v_{r2}}{\pi \cdot d_3} = 75.389 \cdot \text{min}^{-1}$$

Jak je zřejmé z výpočtu, výstupní otáčky převodové skříně by měly být v rozmezí 30 až $75 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Toho lze docílit použitím frekvenčního měniče. Při volbě motoru s nominálními otáčkami 1440 min^{-1} to odpovídá převodovce s převodovým číslem 20,5. Otáčky motoru se musí pohybovat v rozmezí 600 - $1400 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.



3.3. Určení úhlů náklonu posuvů

Ze schématu na obrázku.č.16 [19] jsou zobrazeny 2 úhly Δ a Ω . Tyto úhly slouží k šikmému posuvu. Úhly byly určeny grafickou metodou v programu AutoCad. Obrobek při bezhrotém broušení musí být vždy nad osou obou válců, které jsou osově v jedné rovině. Doporučené hodnoty vyosení se pohybují v rozmezí 5 až 30 mm nad osou podle průměru obráběné součásti. Pro minimální broušený průměr na tomto stroji je dáno vyosení 5 mm a pro největší broušený průměr 20 mm. Hodnoty 190 a 244 mm odpovídají velikostem pracovních válců. 4 mm přírůstek u broušícího válce je z důvodu použití brusného pásu.

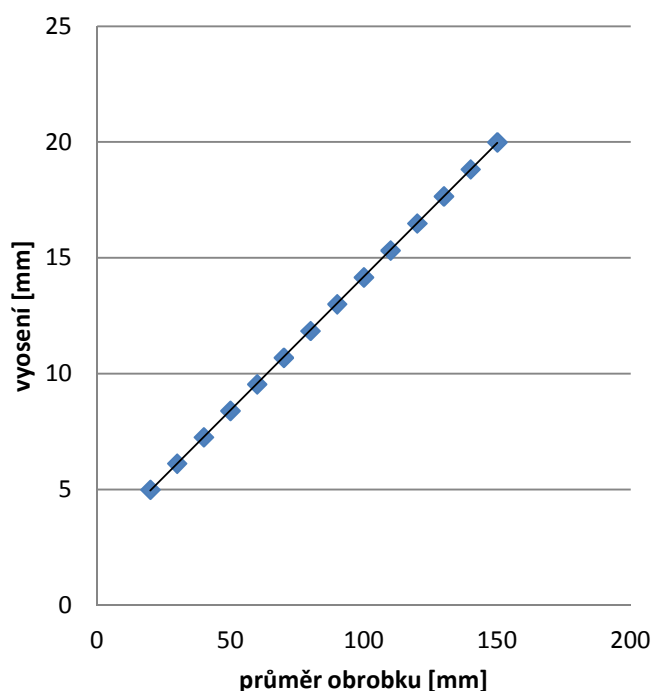


Obr. 17 – Řešení úhlů náklonů pomocí grafické metody



Vycházející úhly $37,97^\circ$ a $38,03^\circ$ byly zaokrouhleny na hodnotu 38° . V programu Excel byla vytvořena tabulka hodnot, hodnoty byly odečteny z nárýsu (obr.17 str.22) a byl vytvořen graf závislost průměru obrobku na vyosení. Toto řešení lze použít.

Průměr obrobku [mm]	Vyosení [mm]
20	5
30	6,131
40	7,267
50	8,407
60	9,553
70	10,702
80	11,855
90	13,011
100	14,17
110	15,331
120	16,495
130	17,661
140	18,83
150	20



Obr.18 – Závislost vyosení na průměru obrobku

3.4. Návrh kuličkového šroubu a pohonu

Kuličkový šroub byl vybrán z nabídky firmy KSK Kuřim. Zvolen byl průměr 20 mm s nejmenším možným stoupáním 20mm. Přesnost nastavení průměru byla stanovena na 0,01 mm. Při pootočení šroubu o 1° je posuv $x = 0,055$ mm tudíž potřebná přesnost natočení kuličkového šroubu je přibližně $0,2^\circ$. Pro tuto přesnost je zvolen servomotor s brzdou s přesností polohování přibližně $0,03^\circ$ od firmy RAVEO. Při potřebné přesnosti může být servomotor použit bez převodové části a přímo spojen přes spojku s kuličkovým šroubem. Přesné polohování bude zajištěno odměřovacím pravítkem a řídicím systémem. Výpočet potřebného krouticího momentu šroubu byl vypočítán pomocí vztahů použitých z příručky od firmy Hiwin s.r.o. [10]. Výsledný potřebný točivý moment je 1,8 Nm. Zvolený motor má nominální točivý moment 1,85 Nm a maximální otáčky 750 ot. min^{-1} . Z důvodu většího rozsahu výpočtové části je celý výpočet zahrnut v příloze č.1. Výpočet byl proveden v programu MathCAD.



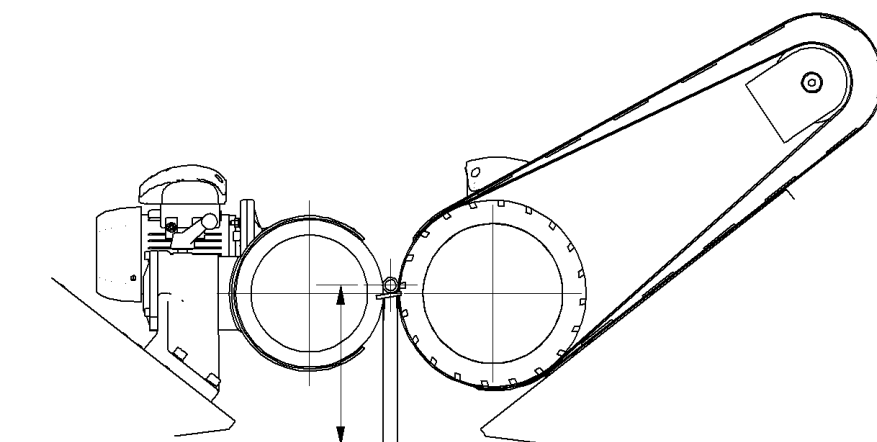
3.5. Tepelná roztažnost konstrukce stroje

Tepelná roztažnost materiálu zasahuje do všech průmyslových aplikací. Roztažnost oceli je přibližně 0,0015mm na metr délky a 1 °C. Tato nepřesnost u konstruovaného stroje je velice nízká ale nezanedbatelná. Maximální pracovní teploty motoru jsou přibližně o $\Delta T = 67$ °C vyšší [23]. Při uvažované délce stroje 0,5 m je dilatace 50,25 μ m. Tuto nepřesnost lze částečně eliminovat přidáním chlazením stroje nebo snížením teploty okolí. Podle této skutečnosti je nutné konstruovat dostatečné odvětrání motoru.

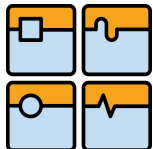
4. Konstrukce stroje

Ve výrobním procesu jsou tyto stroje spíše záležitostí kusové výroby. Proto se využívá především svařovaná konstrukce, která je po svaření žhána a obráběna. Plechové dílce jsou řezány pomocí laserového paprsku na automatizovaných strojích. Dále se plechové díly ohýbají na ohraňovacím lisu, který je řízen automatizovanou jednotkou, a ohyby jsou bez nutnosti měření velice přesné. Svařenec zaručuje vysokou variabilitu úprav při minimálních nákladech. Takto bude vyroben celý stůl stroje, osy i těla pracovních celků. Brusný buben i odvalovací buben budou vyrobeny jako odlitek hliníku. Povrch obou válců je pogumován tvrdou pryží. Toto provádí například firma Rubena a.s. Hradec Králové [18].

Stroj bude konstruován pro konstantní výšku opěrné lišty, tudíž i vstupní a výstupní dráha bude mít konstantní polohu. Viz obrázek č. 19



Obr.19–Nákres stroje (konstantní výška opěrné lišty)



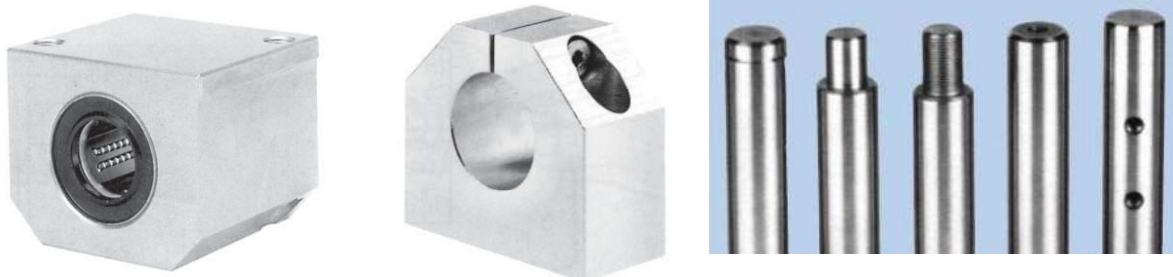
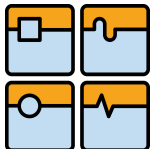
4.1. Suporty, posuvy a stůl

Konstrukce stolu je vytvořena ohýbanými plechy a je vyztužena dutými válcovanými profily čtvercového a obdélníkového profilu. Uvnitř stolu je vložena deska, pro možnou montáž příslušenství dovnitř stroje. Vrchní deska stolu bude vyrobena z 20mm plechu, na kterém se po svaření obrábí funkční místa. Deska bude příčně a podélně vyztužena žebry pro maximální tuhost stroje.

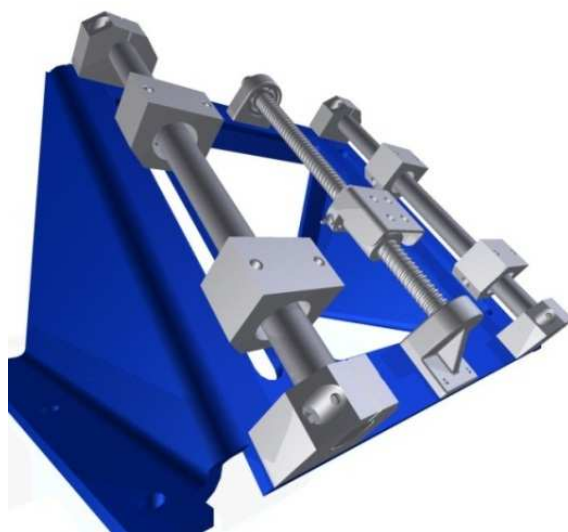


Obr.20 – Konstrukce rámu stolu

Základní konstrukce obou os budou jak, již bylo zmíněno svařeny, žíhány a obrobeny. Pro dodržení dráhy byla vybrána kuličková pouzdra od firmy Matis s.r.o. a od stejné firmy i vodící tyče, které se vyrábí z nerezové nebo chromové oceli. Povrch tyčí je přesně broušen a tvrzen. Pouzdra jsou na tyto tyče přesně pasována. Stírací kroužky v kuličkových pouzdrech slouží ke stírání nečistot při práci stroje. Pouzdra zaručují vysokou přesnost a tuhost (podobně jako ložiska). Podle hmotností broušícího agregátu je vybrán příslušný průměr tyče. Důležité je zamezení průhybu těchto vodících tyčí. Kuličkový šroub nesmí být namáhán radiální silou ale pouze axiální. Při přibližném výpočtu pro průměr tyče 20 mm vyšel průhyb 0,01 mm. Ke stolu budou pracovní osy přišroubovány šesti šrouby M12 a celá konstrukce bude utěsněna proti vniku nečistot.

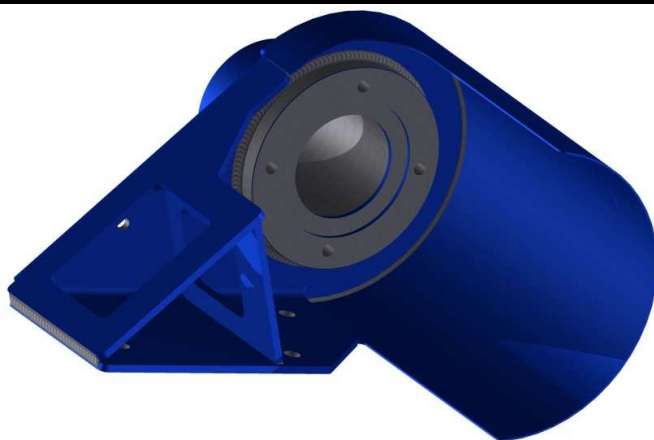
*Obr.21,22,23 – Lineární vedení firmy Matis [9]*

K polohování byl vybrán kuličkový šroub, který vyniká vysokou pevností, tuhostí a přesností vedení. Bude poháněn servomotorem. K určení přesné polohy bude sloužit odměřovací pravítko. Přesnější polohování a jeho vyřešení není součástí bakalářské práce. Bylo by řešeno pomocí řídicí jednotky a polohování pomocí přesné měřicí techniky.

*Obr.24 – Návrh uspořádání vedení*

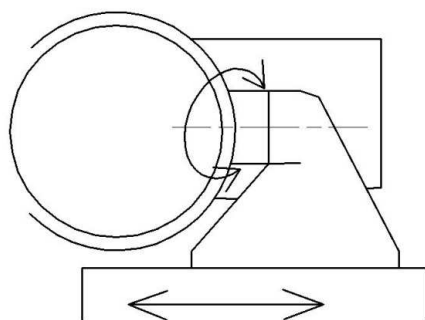
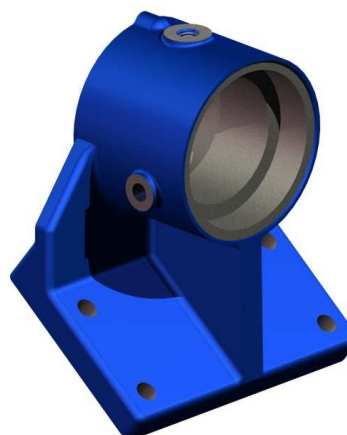
4.2. Broušící konstrukce

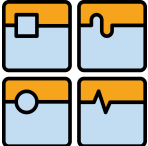
Broušící konstrukce je složena ze základní desky, konzoly s uložením a krytu s napínacím mechanismem. Základní deska je pouze obrobena, zbylé části jsou svařeny, žíhány a obrobena. V pouzdře jsou uložena ložiska, která slouží ke zvýšení tuhosti vřetene. Motor je uchycen pomocí šroubů do pouzdra spojky. Výkon motoru byl zvolen 4 kW. Tomuto výkonu odpovídá motor s označením: Delphi - 112M-B14 v 2-pólovém provedení [23].

*Obr.25 – Svařenec konzoly pro broušící válec**Obr.26 – Motor stroje [9]*

4.3. Odvalovací konstrukce

Odvalovací konstrukce slouží k posuvu obrobku po spirálovité dráze, to umožňuje rovnoměrně obroušení celého povrchu obráběného válce. Obvodová rychlost obrobku se pohybuje od 18 do 45 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$, z toho vycházíme při volbě pohonu. Odvalovací válec se bude otáčet maximálně 20 $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$, proto je pro pohon použita šneková převodovka. Výhoda tohoto pohonu je ta, že lze přesně nastavit otáčky a není potřeba vysokého výkonu motoru. Převodovka se vyrábí jako celek s motorem nebo jako samostatné díly. Použita byla převodovka jako celek. Posuv musí být sklopitelný v rozsahu $+6^\circ$ až -6° . To je vyřešeno naklápěcím uložením v konzole posuvu. Konzola na naklápění je řešena jako odlitek viz. Obr.28. V ní jsou uloženy ložiska pro nízký odpor při přesném nastavení náklonu. Celek je spojen s deskou stolu posuvem s kuličkovými pouzdry a kuličkovým šroubem. Svařenec by byl příliš složitý na výrobu (složitá konstrukce). Na obrázku č.28 jsou vidět obráběná místa konzoly (šedá barva).

*Obr.27 -Schéma podavací jednotky**Obr.28 - Konzola*

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

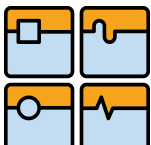
5. Montáž stroje

Montáž celého stroje se skládá z několika samostatných částí. Samostatně se montují obě pracovní osy a rám stroje. U tohoto stroje musí být v závěrečné fázi montáže dbáno na vysokou přesnost a rovnoběžnost pracovních válců.

Brousicí sestava bude skládána v následujícím pořadí. Nejprve musí dojít ke zkompletování spojky mezi motorem a brusným válcem. V této části se lisují ložiska a spojka do příruby konzoly, vše se zajistí vložením distančního kroužku pod víčko příruby. Takto připravená sestava se přišroubuje na základní desku pomocí 4 šroubů M12. Dále musí být přimontován kryt brusného pásu a motor. Do krytu stroje se montuje vzduchový válec s napínákem a hadice pro vedení tlakového vzduchu. Podobný postup je i pro odvalovací sestavu stroje.

Posuv os zaručují kuličkové pouzdra a vodící tyče. Jejich montáž je spojena s montáží kuličkového šroubu na rám posuvu. Při této montáži musí být dodržena vysoká rovnoběžnost těchto prvků, aby byl zaručen ladný chod stroje. Po přišroubování pracovních sestav na konstrukce posuvů budou oba komplety utěsněny pomocí těsnících prvků. Na závěr je montován servomotor. K rámu jsou tyto dvě sestavy přišroubovány pomocí 12 šroubů M12.

Sestavení stolu stroje se skládá pouze z montáže desky stolu. Ta musí být ustavena rovnoběžně oproti patkám stroje. Do vnitřních prostor stroje se montuje odlučovač třísek z brusné kapaliny, nádoba na kapalinu, čerpadlo, izolované rozvody elektrické energie a případně další jiné příslušenství stroje. Na závěr je nutné přesné ustavení polohy brusného a odvalovacího válce. Válce musí mít přesnou rovnoběžnost a musí být v jedné rovině.


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnutí a následné zkonstruování návrhu bezhroté brusky. Podle výpočtů byly navrženy konstrukční uzly.

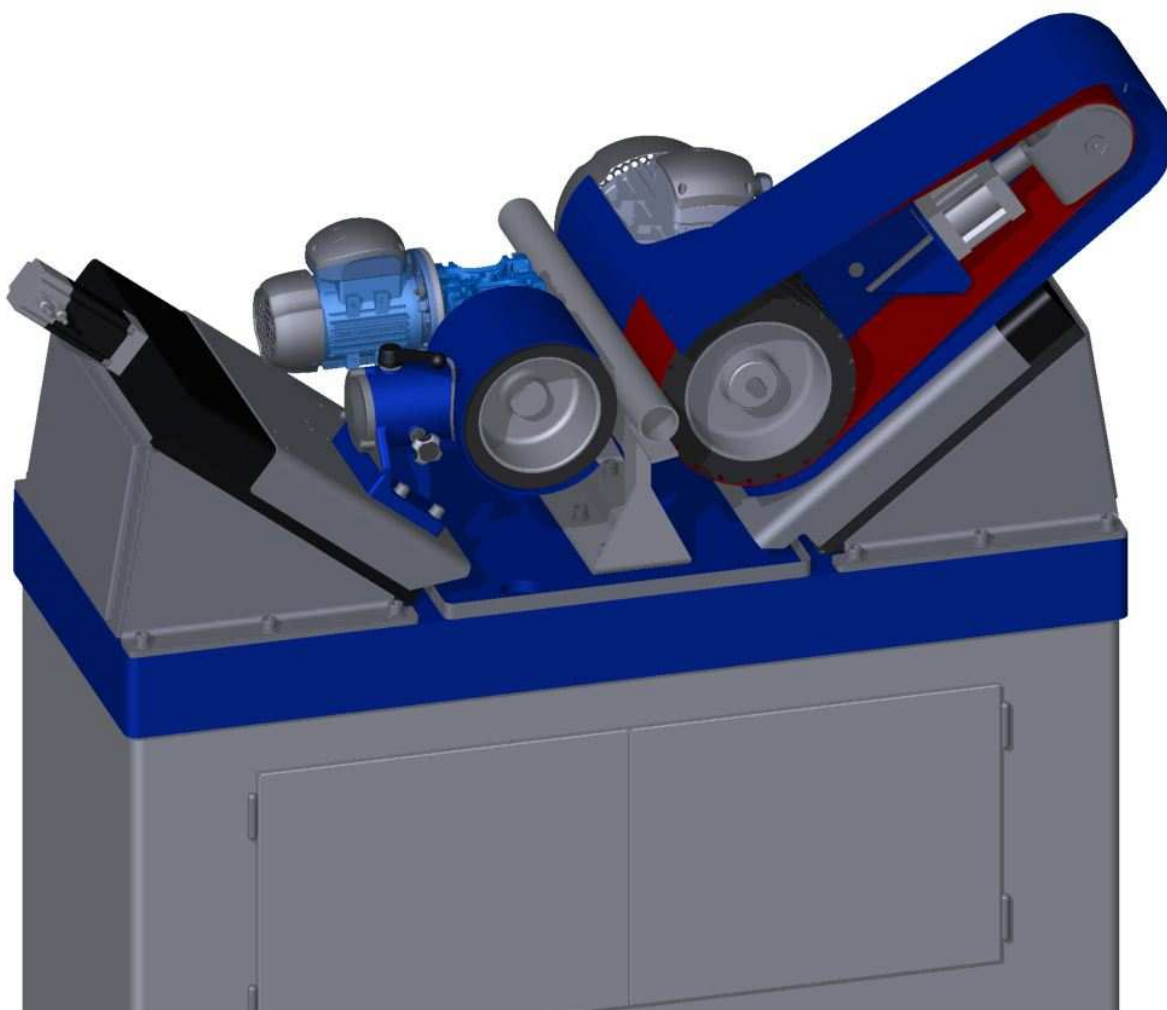
V první části bylo úkolem shrnutí dosavadních znalostí, čtení doporučené literatury a vyhledání potřebných informací z dostupných informačních zdrojů. Tato část práce nebyla nijak obtížná. Informačních zdrojů je v dnešní době mnoho, největším zdrojem pro mé informace byl internet, kde jsem vyhledával informace pro rešeršní část práce.

Dále jsem se zabýval pouze návrhem, výpočty a nakonec i konstruováním v aplikaci Autodesk Inventor. Konstrukční práce celého stroje byla velmi časově náročná. Vypočítány byly průměry pracovních válců, kuličkový šroub a výkon servomotoru pro pohon pracovních os. Výkon hlavního motoru je vybrán podle dostupných informací o strojích, které se již vyrábí. Lze na tomto stroji osadit motor o výkonu 4 až 7,5 kW, který by měl být pro dané využití vysoce dostačující. Svařovanou konstrukci stroje volím pro její dobré vlastnosti. Výroba je velice jednoduchá a rychlá, stroj má minimální hmotnost a jakékoliv konstrukční změny jsou nejméně finančně náročné. Výsledkem celé práce je vypracovaný model, který slouží jako inspirace pro další možné úpravy a návrhy konstrukcí. Součástí práce nebylo například navrhnutí chladicího oběhu pro vedení řezné a chladicí kapaliny, elektrických rozvodů nebo řízení stroje. Celý vnitřek stolu stroje je určen pro montáž tohoto příslušenství.

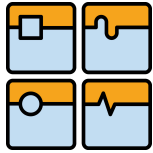
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

7. Výsledný navrhnutý stroj

Výsledný model byl vypracován v aplikaci Autodesk Inventor. Konstrukce byla nejdříve navržena a načrtnuta na papír pro lepší představu při prvotních návrzích.



Obr. 29 – Model kompletního stroje



8. Seznam použité literatury

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 80-214-0470-1
- [2] BORSKÝ, Václav. Obráběcí stroje. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 216 s. ISBN 80-214-0470-1
- [3] BORSKÝ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*, VUT v Brně
- [4] HUMÁR, A. *Technologie I, 3.část*, VUT v Brně
- [5][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.crystec.com/kmiclge.htm>
- [6][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.infozdroje.cz>
- [7][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>
- [8][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/>
- [9][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/cs/kategorie/>
- [10][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cs/kulickove-srouby/pdf-download.html?id=8>
- [11][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/>
- [12][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Broušení>
- [13][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.bhagwansons.com/>
- [14][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.garboli.com/eng/cat2/tris.htm>
- [15][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.micronusa.com/general-centerless-grinders>
- [16][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.bracek.com/products/centerless-cgm-320-2-6/>
- [17][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.junker.cz/cz/loesungen/schleifmaschinen/jupiter.php>
- [18][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.rubena.cz/default.asp>
- [19][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~zhudec/ZSVS/posuvovy_mech-pr4.htm
- [20][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/tubepipefabrication/hands-off-tube-finishing>
- [21][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/camel-grinding-wheels/grinding-wheels-32377-371813.html>

[22][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z:

<http://grinding.jbadger.com/factsaboutgrinding.html>

[23][online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z:

http://www.matis.cz/data/pdf/prevodovky_motory/068-092.pdf

9. Seznam obrázků

<i>Obr.1 - Brusný kotouč firmy BOSCH</i>	11
<i>Obr.2 - Historický brusný stroj</i>	11
<i>Obr.3 - tech. bezhrotého broušení</i>	12
<i>Obr.4 – tech. bezhrotého broušení pásem</i>	12
<i>Obr.5 – zapichovací broušení vačkové hřídele</i>	13
<i>Obr.6 – příklad zapichovacího broušení firmy Junker</i>	13
<i>Obr.7 – planetový brousicí stroj</i>	13
<i>Obr.8 – Technologie vnitřního bezhrotého broušení</i>	14
<i>Obr.9 - CenterlessGrinder-CG 100</i>	15
<i>Obr.10 - CNC CenterlessGrinder</i>	15
<i>Obr.11 - MPC-300</i>	16
<i>Obr.12 - MPC-600V</i>	17
<i>Obr.13 - Brocek - CGM 320</i>	17
<i>Obr.14 - Garboli TRIS</i>	18
<i>Obr.15 – základní uspořádání bezhroté brusky</i>	
<i>A-brousicí osa, B-podávací osa, C-obrobek – 3 posuvové osy</i>	19
<i>Obr.16 – navrhnuté uspořádání brusky</i>	
<i>Ω-úhel brousicí osy, Δ-úhel podavací osy – 2 posuvové osy</i>	19
<i>Obr. 17 – řešení úhlů náklonů pomocí grafické metody</i>	22
<i>Obr.18 – závislost vyosení na \varnothing obrobku</i>	23
<i>Obr.19–Nákres stroje (konstantní výška opěrné lišty)</i>	24
<i>Obr.20,21,22 – Lineární vedení firmy Matis</i>	26

<i>Obr.23 – Návrh uspořádání vedení</i>	26
<i>Obr.24 – Kuličkový šroub</i>	26
<i>Obr.25 – Svařenec konzoly pro broušící válec</i>	27
<i>Obr.26 – Motor stroje</i>	27
<i>Obr.27 -Schéma podavací jednotky</i>	27
<i>Obr.28 – Konzola</i>	27
<i>Obr. 29 – Model kompletního stroje</i>	30

10. Seznam příloh

Příloha č.1 - Montážní výkres sestavy [3A-11-2012/00]

Příloha č.2 - CD s digitální podobou práce

Příloha č.3 - Výpočtová zpráva

Příloha č. 3 - Výpočet proveden v programu MathCad

Návrh průměrů brusného a odvalovacího válce

Vstupní parametry:

$$v_{c1} := 30 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{c2} := 35 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$n_1 := 1440 \text{min}^{-1}$$

$$n_2 := 2890 \cdot \text{min}^{-1}$$

Průměr brusného válce:

$$v_c := \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (1)$$

$$d_{11} := \frac{v_{c1}}{\pi \cdot n_1} = 397.887 \cdot \text{mm}$$

$$d_{12} := \frac{v_{c1}}{\pi \cdot n_2} = 198.255 \cdot \text{mm}$$

$$d_{21} := \frac{v_{c2}}{\pi \cdot n_1} = 464.202 \cdot \text{mm}$$

$$d_{22} := \frac{v_{c2}}{\pi \cdot n_2} = 231.298 \cdot \text{mm}$$

Z vypočtených hodnot vybírám otáčky motor 2890min⁻¹. Nejmenší průměr motoru je 224mm a proto volím průměr brusného válce 240mm. Otáčky by mohly být řízeny pomocí frekvenčního měniče.

Průměr podavacího válce:

Rychlost posuvu obrobku je určena otáčkami a úhlem náklonu podavacího válce. Doporučené otáčky podavacího válce se pohybují v rozmezí 18 až 45 m.min⁻¹

$$d_{o1} := 10 \text{mm} \quad \text{minimální průměr obrobku}$$

$$d_{o2} := 150 \text{mm} \quad \text{maximální průměr obrobku}$$

$$v_{r1} := 18 \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_w := \frac{\pi \cdot d_o \cdot n_o}{1000} \quad (2)$$

Při výpočtu postupuji volbou průměru podavacího válce a vypočítávám otáčky válce, kvůli volbě šnekové převodovky a motoru. Průměr podavacího válce je menší než průměr brusného.

$$d_3 := 190\text{mm} \quad \text{navrhnutý průměr válce}$$

$$n_{31} := \frac{v_{r1}}{\pi \cdot d_3} = 30.156 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_{32} := \frac{v_{r2}}{\pi \cdot d_3} = 75.389 \cdot \text{min}^{-1}$$

Jak je zřejmé z výpočtu, výstupní otáčky převodové stříně by měly být v rozmezí 30 až 75 ot.min⁻¹. Lze docílit použitím frekvenčního měniče. Při volbě motoru s nominálními otáčkami 1440 min⁻¹ to odpovídá převodovce s převodovým číslem 20,5. Otáčky motoru se musí řídit v rozmezí 600 - 1400 ot.min⁻¹.

Výpočet kuličkového šroubu

posunová síla	$F_{m1} := 2000\text{N}$	
	$F_{m2} := 1500\text{N}$	
rychlost	$v_1 := 6 \frac{\text{m}}{\text{min}}$	
	$v_2 := 5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$	
doba běhu	$T_1 := 1000 \text{ hod}$	
	$T_2 := 1000 \text{ hod}$	
	$T_c := 2000 \text{ hod}$	
délka pojezdu	$L_1 := 150\text{mm}$	
stoupání závitu	$h := 0.012\text{m}$	
volba předpětí	$F_{m1} = 2 \times 10^3 \text{ N}$	
	$F_{0\text{teor}} := 0.3 \cdot F_{m1}$	$F_{0\text{teor}} = 600 \text{ N}$
volba šroubu	$C_{\text{ateor}} := \frac{F_{0\text{teor}}}{0.1}$	$C_{\text{ateor}} = 6 \times 10^3 \text{ N}$

Volím šroub K20x5 průměr	$d := 20\text{mm}$	tuhost dvojice matic
stoupání	$h_w := 0.02\text{m}$	$K_w := 141 \frac{\text{N}}{\mu\text{m}^{\frac{3}{2}}}$
stat. únostnost	$C_0 := 32000\text{N}$	
dynam. únostnost	$C_a := 14300\text{N}$	
počet závitů matice	$i := 3$	

síla předpětí

$$F_0 := 0.1 \cdot C_a \quad F_0 = 1.43 \times 10^3 \text{ N}$$

vzdálenost podpor

$$L_p := L_1 + 8d \quad L_p = 0.31 \text{ m}$$

krajní poloha matice

$$L_s := L_1 + 4 \cdot d \quad L_s = 0.23 \text{ m}$$

mezní síla

$$F_L := 2.85 \cdot F_0 \quad F_L = 4.075 \times 10^3 \text{ N}$$

pro $F_{mi} \leq F_L$

$$F_{a2} := F_0 + 0.65 \cdot F_{m2} \quad F_{a2} = 2.405 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{b2} := F_0 - 0.35 \cdot F_{m2} \quad F_{b2} = 905 \text{ N}$$

pro $F_{mi} > F_L$

$$F_{a1} := 0$$

$$F_{b1} := F_{m1} \quad F_{b1} = 2 \times 10^3 \text{ N}$$

vektor otáček n_{ri}

$$n_{r1} := \frac{v_1}{h} \quad n_{r1} = 5 \frac{1}{s}$$

$$n_{r2} := \frac{v_2}{h} \quad n_{r2} = 4.167 \frac{1}{s}$$

vektor proměnné doby běhu

$$q_1 := \frac{T_1}{T_c} \quad q_1 = 0.5$$

$$q_2 := \frac{T_2}{T_c} \quad q_2 = 0.5$$

střední otáčky

$$n_m := q_1 \cdot n_{r1} + q_2 \cdot n_{r2} \quad n_m = 275 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$F_{1n} := \sqrt[3]{\frac{(F_{b1}^3 \cdot q_1 \cdot n_{r1} + F_{a2}^3 \cdot q_2 \cdot n_{r2})}{n_m}} \quad F_{1n} = 2.203 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{2n} := \sqrt[3]{\frac{(F_{b2}^3 \cdot q_2 \cdot n_{r2})}{n_m}} \quad F_{2n} = 695.837 \text{ N}$$

$$L_{h1} := \left(\frac{C_a}{F_{1n}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad L_{h1} = 2.736 \times 10^8$$

$$L_{h2} := \left(\frac{C_a}{F_{2n}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad L_{h2} = 8.679 \times 10^9$$

životnost šroubu a předeprnuté matice

$$L_h := \left(\frac{C_a}{F_{1n}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} \quad L_h = 276.396 \cdot \text{hr}$$

Výpočet hnacího momentu

účinnost šroubu	$\eta := 0.88$
rozteč	$P := 5\text{mm}$
potřbný kroučící moment	$M := \frac{F_{m1} \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \eta} = 1.809 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$