

Broušení vnitřních částí vakuovacích komor

Bc. Boleslav Vlk

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Boleslav Vlk**
Osobní číslo: **T17384**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Broušení vnitřních částí vakuovacích komor**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii a analýzu současného stavu
2. Navrhněte technologii broušení vnitřních částí vak. komory
3. Zhodnoťte návrhy
4. Ověřte vyhodnocený návrh
5. Zhotovte výkresovou dokumentaci

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Kemka, V, Barták, J, Milčák P, Žitek, P. : Stavba a provoz strojů, stroje a zařízení, Informatorium, Praha, 2009, ISBN 978-80-7333-075-0**
2. **Lukovics, I, Sýkorová, L, Volek, F : Části a mechanismy strojů, Skripta, ES VUT Brno, 2000, ISBN 80 - 214 - 1566 - 5,**
3. **Volek, F, : Základy konstruování a části strojů - mechanismy strojů, Skripta, UTB ve Zlíně, 2003, ISBN 80-7318 - 111 - 8,**
4. **Bolek, A, Kochman, J. a kol. : Části strojů, 2. svazek. SNTL Praha, 1990**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Volek, CSc.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 17. ledna 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tematikou broušení vnitřních částí nádob pro vakuovou aplikaci. Jedná se primárně o komory válcového tvaru s průměry od 600 do 3 000 mm a délkou až 7 000 mm. Nádoby mohou být jedno, dvou nebo i víceplášťové, s větším počtem vývodů a přírub. Navrhovaný stroj by měl umět vnitřní povrch automaticky nebo poloautomaticky opracovat na požadovanou drsnost a případně i geometrickou toleranci. Současně nesmí mít příliš velké půdorysné rozměry, aby nezabíral mnoho prostoru ve výrobní hale.

Klíčová slova:

Broušení, bruska, kotouč, pás, opracování, vakuová komora, válcová nádoba, drsnost, textura, geometrická tolerance, válcovitost.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the topic of grinding the inner parts of vacuum containers. These are primarily cylindrical chambers with diameters from 600 to 3,000 mm and lengths up to 7,000 mm. Containers may be one, two or even multi-walled, with a plurality of outlets and flanges. The proposed machine should be capable of automatically or semi-automatically machining the inner surface to the required roughness and possibly geometric tolerance. At the same time, it must not have too large ground plan dimensions to take up much space in the production hall.

Keywords:

Grinding, grinding, disc, belt, machining, vacuum chamber, cylindrical vessel, roughness, texture, geometric tolerance, cylindricity.

Chtěl bych poděkovat své babičce Ing. Janě Soukupové za bezmeznou pomoc a podporu při celém mém dosavadním studiu na vysoké škole, dále svému vedoucímu diplomové práce panu Františku Volkovi, CSc. za trpělivost a rady při asistenci s diplomovou prací, svému pracovnímu nadřízenému Ing. Emilovi Černému za velikou podporu při tomto projektu a v neposlední řadě svému kolegovi Jaroslavu Baborákovi za to, s jakou ochotou a zájmem mi předává veškeré své konstruktérské znalosti nabitě mnoholetou praxí.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	12
2 BROUŠENÍ	13
2.1 POPIS OPERACE BROUŠENÍ	13
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	14
3.1.1 Broušení tvarových ploch	14
3.1.2 Stroje na broušení rovných plechů	32
3.1.3 Možnosti řízení.....	33
3.1.4 Možnosti odměřování.....	33
3.1.5 Možnosti posuvů	33
3.1.6 Současný způsob výroby ve firmě Streicher	34
3.1.7 Současná kontrola ve firmě Streicher	35
4 ANALÝZA REALIZOVATELNOSTI.....	37
4.1 SPECIFIKACE POŽADAVKŮ NA NAVRHOVANÝ TECHNICKÝ SYSTÉM.....	37
4.2 ANALÝZA RIZIK A REALIZOVATELNOSTI.....	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
5 NAVRŽENÍ KONCEPCÍ TECHNOLOGIE BROUŠENÍ.....	41
5.1 NÁVRH KONCEPCE A	41
5.2 NÁVRH KONCEPCE B	44
5.3 NÁVRH KONCEPCE C	46
5.4 ZHODNOCENÍ A VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY.....	47
6 ROZVINITÍ KONCEPCE TECHNOLOGIE BROUŠENÍ.....	48
6.1 NÁVRH KONCEPCE A1	48
6.2 NÁVRH KONCEPCE A2.....	51
6.3 NÁVRH KONCEPCE A3.....	52
6.4 NÁVRH KONCEPCE A4.....	53
6.5 NÁVRH KONCEPCE A5	57
6.6 NÁVRH KONCEPCE A6.....	62
6.7 NÁVRH KONCEPCE A7.....	64
6.8 NÁVRH KONCEPCE A8.....	69
7 ZHODNOCENÍ VYHODNOCENÉHO KONCEPTU	72

7.1	ZALOŽENÍ KONSTRUKČNÍHO 3D MODELU.....	73
7.2	TVORBA JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ	74
7.3	TVORBA SVAŘENCOVÝCH PODSESTAV	75
7.4	Hlavní sestava	77
8	OVĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ ZVOLENÉ KONSTRUKCE.....	83
8.1	SPLNĚNÍ STANOVENÝCH PARAMETRŮ.....	83
	ZÁVĚR	85
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM PŘÍLOH.....	92

ÚVOD

Toto téma diplomové práce jsem si zvolil kvůli svému pracovnímu působení v konstrukčním oddělení firmy Streicher, která se zaměřuje na vakuové komory středních a větších rozměrů. Komory mají často tvar protáhlého válce s průměrem od 400 mm do 2 500 mm a délkou až 7 000 mm a pro co nejlepší zajištění evakuace vzduchu je na jejich vnitřní části vyžadována vysoká kvalita a jemnost povrchu, nejčastěji v rozmezí Ra 0,4 až Ra 1,2. Kvůli válcovému tvaru komor se pro dosažení tohoto povrchu a zajištění přijatelné geometrické tolerance nedá použít žádný z běžně dostupných komerčních brousících strojů a proto se tyto operace v současnosti provádí ručně. Cílem této diplomové práce je vymyslet a navrhnout stroj, který tuto práci zastane, v ideálním případě přinese i nějaké další benefity kromě odstranění nákladné a komplikované ruční práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zadáním je vytvořit konstrukci brusného stroje na úpravu ploch vakuových nádob. Součástí řešení má být i určení vhodného rozsahu funkcí stroje tak, aby jeho realizovatelnost byla v rovnováze s přidanou hodnotou spojenou s jeho provozem.

Obecně má brusný stroj zlepšovat kvalitu geometrie a drsnosti broušených nádob. Samotný provoz stroje by měl být s minimálními zásahy obsluhy.

2 BROUŠENÍ

2.1 Popis operace broušení

Broušení je typ obrábění, kde k odběru materiálu dochází působením abrazivního namáhání brusného materiálu na materiál obráběný. Brusný materiál je tvořen drobnými tvrdými prvky (zrny) nanesenými na podklad (např. papírový kotouč), na který jsou pevně přichyceny v neuspořádané (nahodilé) formě a tvaru. Typickým znakem broušení je rychlý úběr brusného materiálu a tím pádem znehodnocení brusného nástroje, proto se tyto mění častěji než např. nástroje (destičky) na břitové obrábění.

Broušení patří k nejpřesnějším metodám opracování, jemná brusiva dosahují vysoké jakosti povrchu a rozměrové přesnosti. Brousit lze širokou řadu materiálů, od kovů, přes keramiku až po dřevo nebo hutný papír.

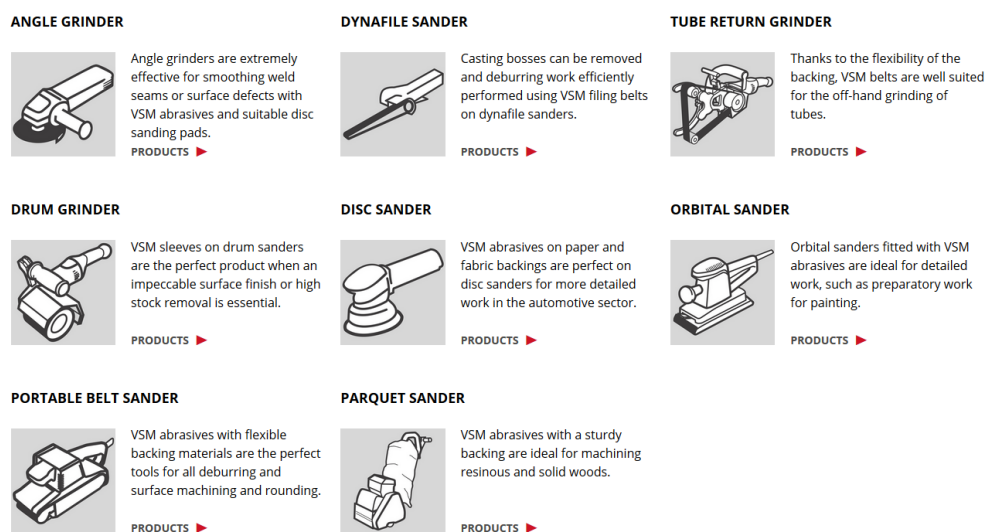
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Při analýze problému a po zpřesnění zadání bylo přistoupeno k hledání stávajících řešení, která jsou na trhu již nabízena, buď jako hotový produkt nebo zákaznické řešení na klíč. Podle nabízených řešení se dá posléze provést analýza současného stavu techniky a možnosti pokročilosti stroje v oblasti automatizace a robotizace.

3.1.1 Broušení tvarových ploch

V současnosti je nejrozšířenějším způsobem broušení složitých tvarových ploch klasické ruční broušení, kdy se jako nástroj používá ruční bruska s nějakým typem brusného nástroje. Brusky bývají často na elektrický nebo pneumatický pohon a jako nástroj je často zvolen brusný kotouč, pás nebo prstenec.

Nevýhod u ručního broušení je celá řada. Kvalita odvedené práce je přímo úměrná znalostem a dovednostem pracovníka provádějící operaci, tzn. tento způsob je velice náročný na kvalitní a stálé zaměstnance. Při jakýchkoliv personálních změnách dochází k ohrožení udržení schopnosti broušení v dosavadní kvalitě. S tímto problémem souvisí i druhý z problémů a to jsou vysoké finanční nároky. Aby byl podnik schopen udržet si ony výše zmíněné kvalifikované zaměstnance, pracující v nepříznivých prašných, hlučných a mnohdy stísněných podmínkách, a zároveň pro něj měly brousících operace ekonomický smysl, musí být řádně a vysoko naceněny. V současné době se cena broušení pohybuje cca 3000 Kč/m², což vzhledem k celkové vnitřní broušené ploše komor (až do několika desítek metrů čtverečných) znamená výrazné zvýšení celkové ceny výrobku.



Obr. 1 Nástroje na ruční broušení.

Dalším rozšířeným způsobem broušení je v současnosti částečně automatizované broušení, kdy se k samotnému procesu využívají řízené stroje, avšak manipulaci a kontrolu zajišťuje stále člověk. Tyto způsoby se hojně a úspěšně využívají při broušení menších, stále stejných dílů, které se dají snadno upnout a manipulovat.

Není však úplně vhodné tuto techniku používat u kusové výroby, protože je značně náročná na přípravu a optimalizaci samotného procesu, lépe se tak uplatní u sériových brousících operací, kde stačí počáteční nastavení a do průběhu samotného broušení se posléze již nemusí zasahovat.



Obr. 2 Broušení pásem, osa válce je rovnoběžná s osou pásu, pro malé průměry.

U větších strojů se běžně používají rolny, na které se usadí opracovávané těleso a výsuvné rameno s brusnou hlavou. Ta se vysouvá v axiálním směru válce (čímž brousí ve větší hloubce válce) a dá se regulovat i v radiálním směru, což ovlivňuje hloubku záběru. Samotné teleskopické rameno s hlavou se však neotáčí a svírá pevný úhel se zbytkem stroje (většinou hlava směřuje přímo svisle dolů nebo nahoru), otáčí se celý obráběný válec na rolnách.



Obr. 3 Broušení pásem na větších průměrech, osa válce je kolmá na osu pásu.

Toto řešení však sebou nese několik zásadních nevýhod, z nichž dvě hlavní jsou:

- Výsuvné rameno musí být velice masivní, aby se dokázalo vykonzolovat až na maximální vzdálenost (až na 7 000 mm) a zároveň se vlastní vahou neohnulo a tuhé, aby nedošlo k jeho rozvibrování při broušení.
- Kvůli tomu, že se celý obrobek otáčí na rolnách, které jezdí po vnější straně nádoby, kopírují se do vnitřního opracovaného povrchu všechny geometrické nepřesnosti z neopracované vnější strany, což způsobuje nekontrolovanou deformaci vnitřních částí i po obroušení a vyleštění.



Obr. 4 Volba brousícího stroje podle velikosti válce.



Obr. 5 Ukázka povrchu po broušení.

Pro eliminaci gravitace je možné u poloautomatických strojů otočit hlavní axiální osu broušeného válce o 90° směrem nahoru a postavit tím celý válec na výšku, čímž bude gravitace působící směrem dolů zatěžovat válec po celém obvodu rovnoměrně a nebude tak docházet k prohýbání pláště.

Nevýhodou tohoto řešení je špatná možnost transportu stroje, protože musí být dobře ukotven v podlaze kvůli vysokému těžišti při osazení broušeným válcem a také rozměrová náročnost, kdy pro broušení válce o délce 7 000 mm potřebujeme stroj vysoký minimálně 14 000 mm, aby se dal válec na stroj shora usadit. I kdyby bylo usazování broušeného válce na stroj vyřešeno nějakým způsobem z boční strany, výška stroje by stále musela být srovnatelná, nebo spíše vyšší, než broušený díl, tzn. minimálně 7 000 mm.



Obr. 6 Broušení pásem, stroj ve vertikální poloze (3D model a skutečný stroj).

Důležitým aspektem u brousícího stroje je také odsávání prachu způsobeného samotným broušením. Prachové částice jsou tvořeny jak daným broušeným materiálem (žádoucí odběr materiálu) a také nástrojem, tzn. brusným kotoučem nebo pásem.

Některé nabízené stroje disponují integrovaným odsáváním, které všechny vzniklé prachové částice odeberou od místa vzniku (u dotyku brusného nástroje s povrchem) a odvedou potrubím do ventilačního zařízení a následně přes soustavu filtrů ven do exteriéru. Výhodou je mnohem čistější pracoviště bez nánosů prachu, avšak takovýto stroj klade větší požadavky na vybavenost a připravenost místa, kde bude instalován a snižuje se tím i jeho mobilita.



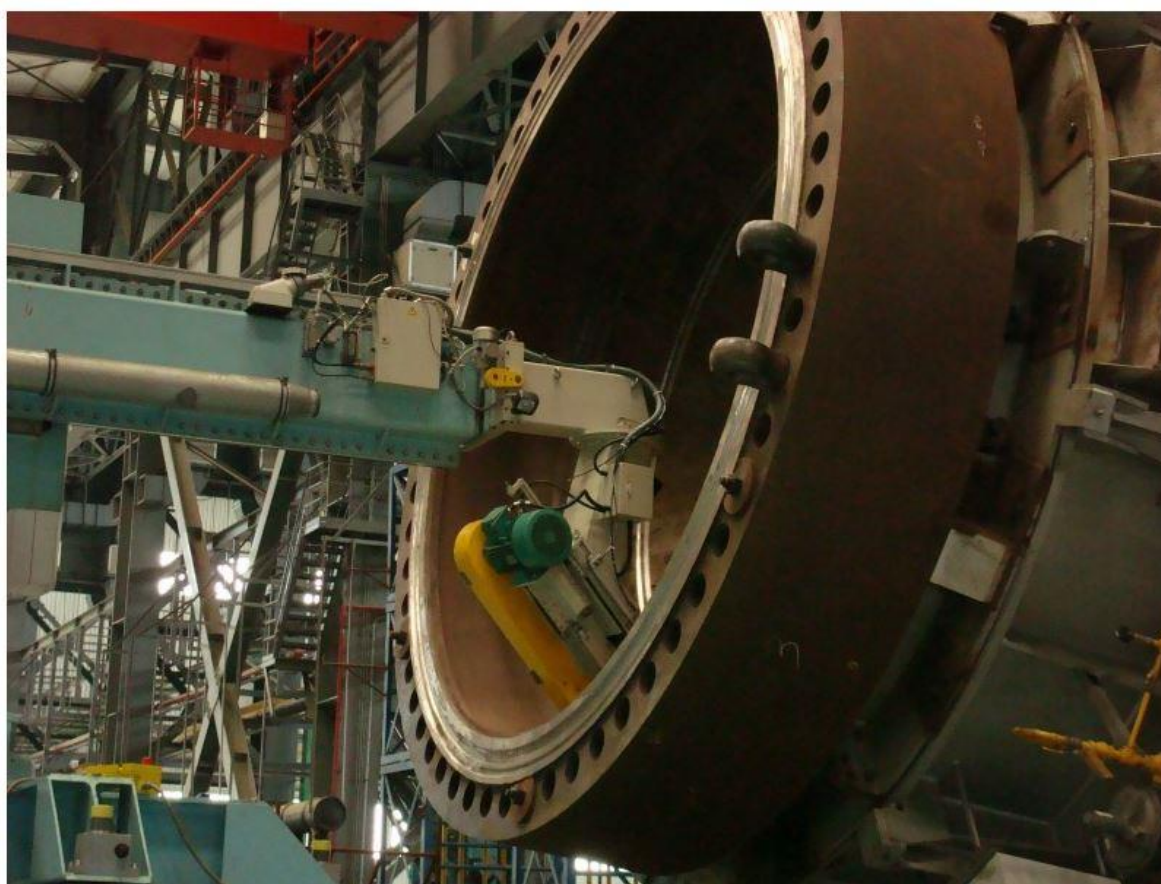
Obr. 7 Ukázka stroje s odsáváním a řízením.



Obr. 8 Střechovitost u válce po svaření pláště.



Obr. 9 Volba broušícího stroje podle velikosti.



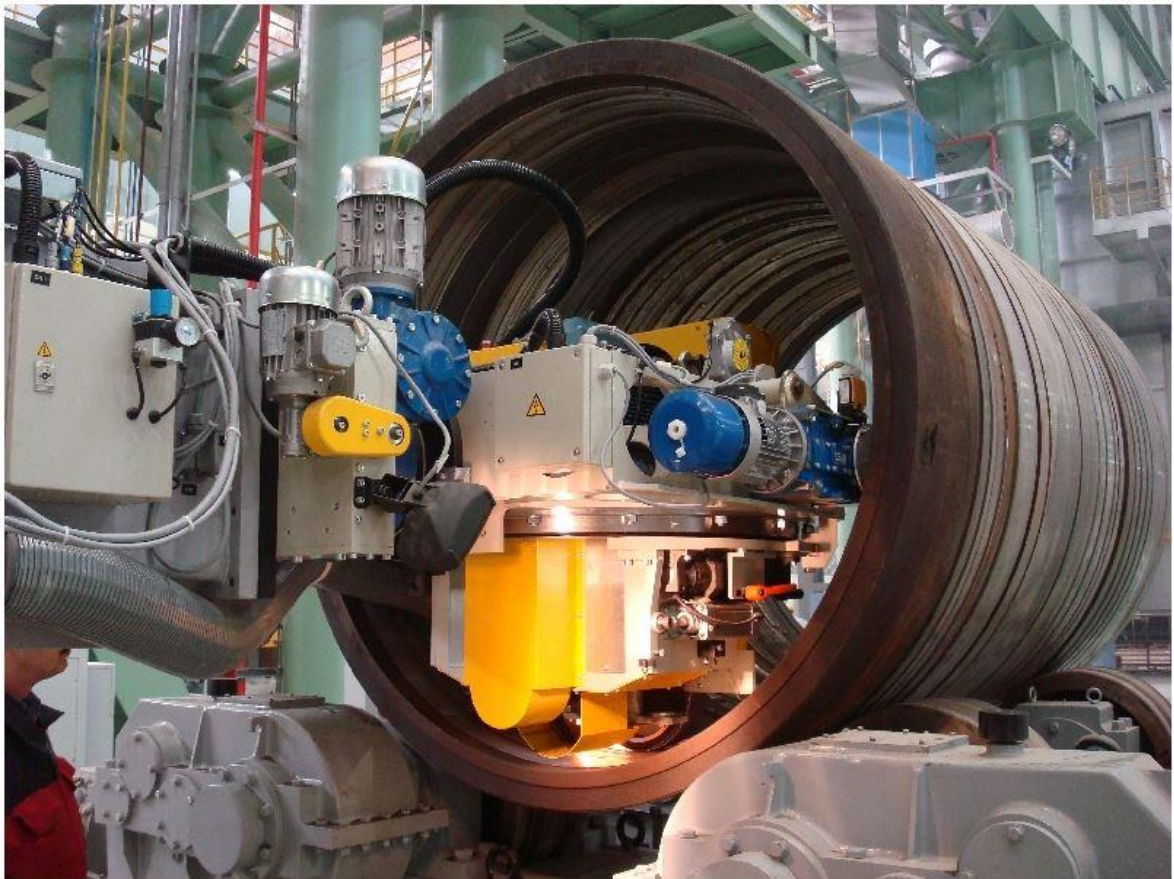
Obr. 10 Broušení s hlavou na teleskopickém rameni.



Obr. 11 Stroj na úkosování před svařením pláště.



Obr. 12 Broucí hlava (bez brusného pásu).



Obr. 13 Možnost broušení klenutého dna.



Obr. 14 Stroj s výsuvným ramenem v ose válce.



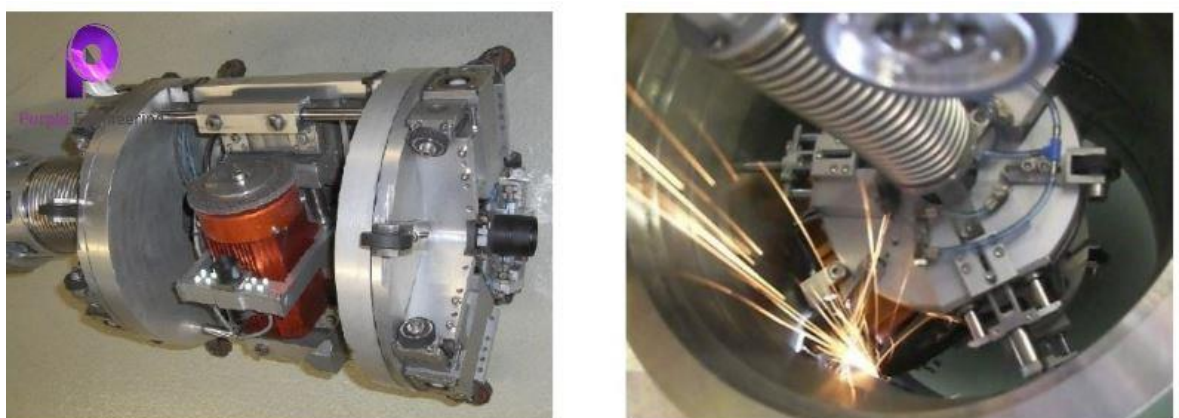
Obr. 15 Broušení rotující bombírované příruby.



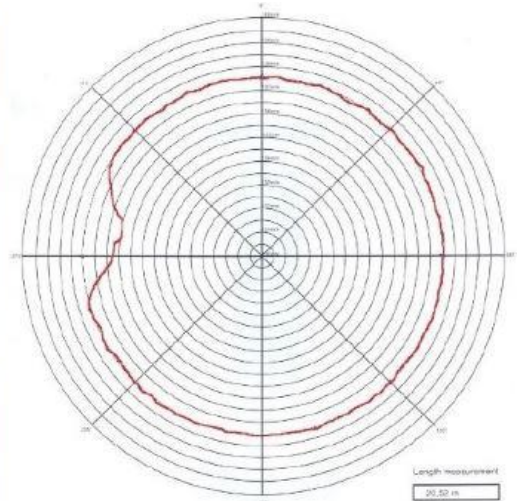
Obr. 16 Klasické vnitřní broušení s rotací po vnějším plášti.



Obr. 17 Brusné roboty - celý skládací systém (měřicí, brousící, odsávací).



Obr. 18 Brousící modul pouze na odstraňování nečistot a koroze.



Obr. 19 Měřicí modul.



Obr. 20 Brusné roboty od průměru 80 mm do 200 mm.



Obr. 21 Brusný robot průměru 300 mm.



This photo shows a pipe grinder that can roll into and grind a pipe with an inside diameter that ranges from 18" to 23 1/2". [\(Also see video\)](#)



This photo shows a pipe grinder that can roll into and grind a pipe with an inside diameter that ranges from 9" to 13 1/4".

Obr. 22 Koncept částečně ručního broušení trubek.



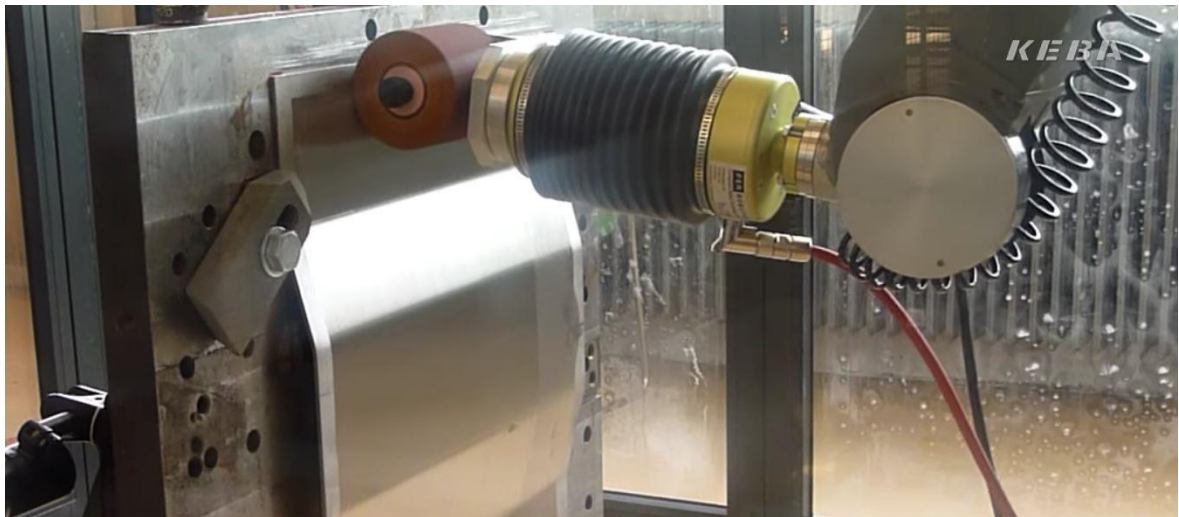
Obr. 23 Opracování robotickým ramenem.



Obr. 24 Portálový robot.



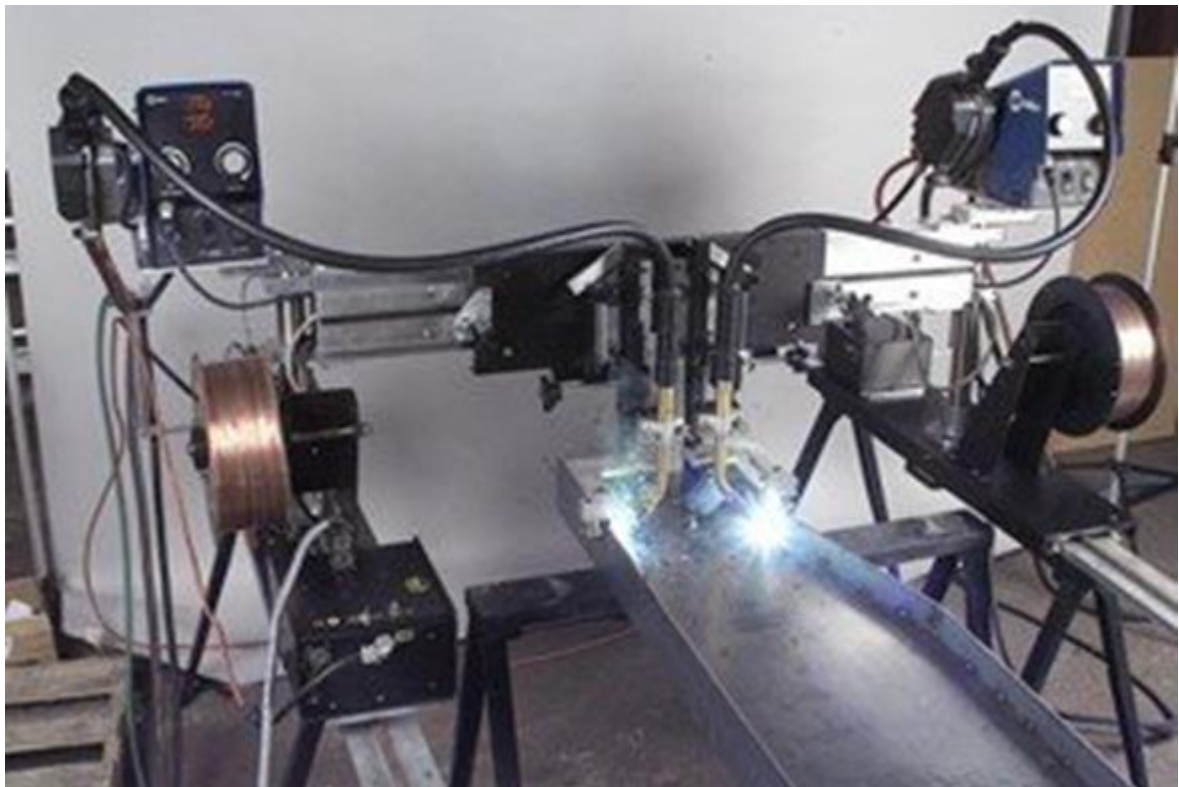
Obr. 25 Robot s tlumenou leštící hlavou.



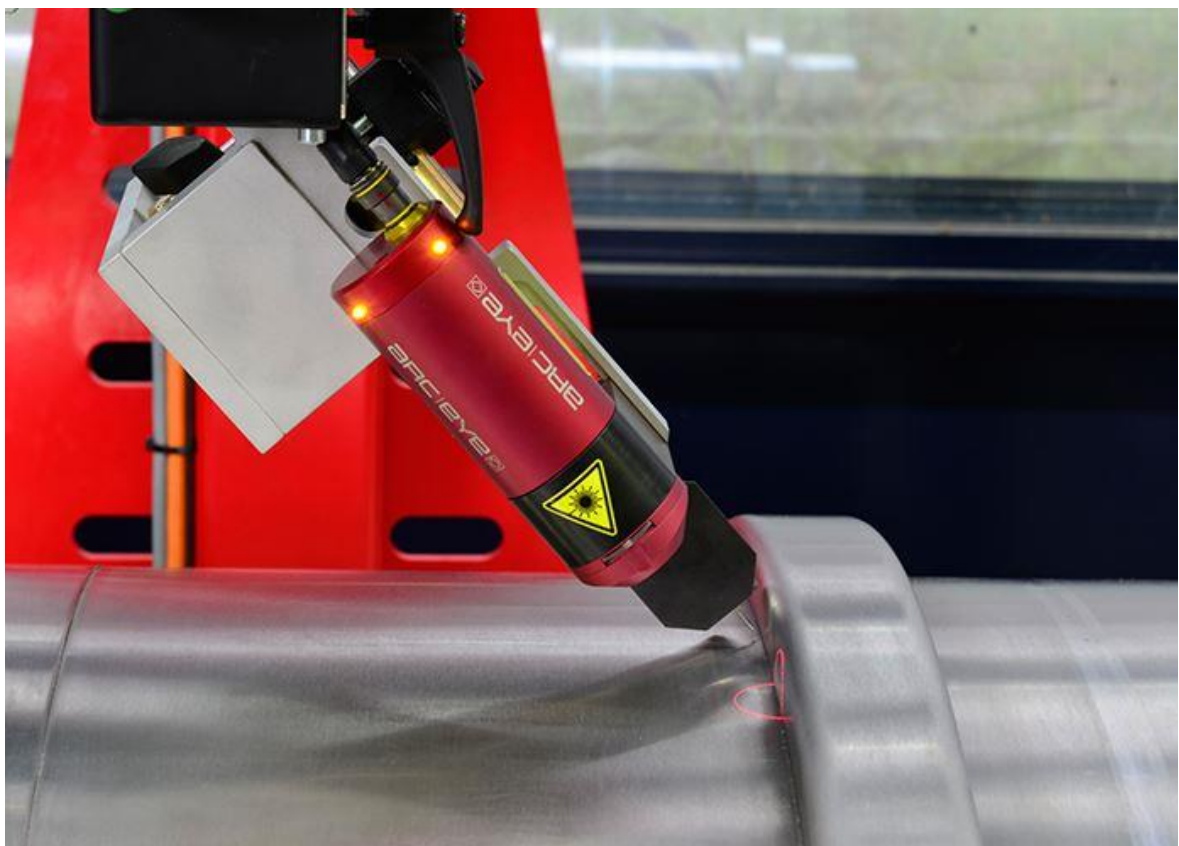
Obr. 26 Robot s tlumenou leštící hlavou.



Obr. 27 Řešení pojezdů (zde pro svařovací robot, použitelného ale i pro broušení).



Obr. 28 Řešení pojezdů (zde pro svařovací robot, použitelného ale i pro broušení).



Obr. 29 Možnost měření kamerou.



Obr. 30 Elektromechanické dotykové čidlo na měření.

3.1.2 Stroje na broušení rovných plechů

Stroje na broušení rovných plechů jsou celkově mnohem jednodušší a jejich použití je snadnější.

Buď se dají použít ruční pojízdné brusky, které ovládá člověk a ten si i určuje přítlačnou brousící sílu, nebo automatizované, do kterých se na jedné straně vsune tabule plechu a druhou stranou, za sestavou brusných a srovnávacích válců už ze stroje vyjíždí hotový rovný a obroušený, případně dokonce vyleštěný, plech.

Dělí se stejně jako jiné brusné stroje na suché nebo mokré, kdy v současnosti převládá spíše suché broušení, které je méně náročné na přípravu a odolnost stroje a jeho okolí.

3.1.3 Možnosti řízení

- PLC systémy

Dají se naprogramovat přímo na míru konkrétní aplikaci nebo dokonce i samotným koncovým uživatelem.

- Hotové řešení - roboty

Výhodné pro jednodušší broušené výrobky, robot splňující požadavky stanovené v úvodu této DP se však zatím na trhu nenabízí.

- CNC řízení

Systém stejný jako u obráběcích center, kdy se využívá některý ze souřadnicových systémů např. i spojených s odměřováním v reálném čase. Finančně i vědomostně náročná varianta, při které není reálně se vejít do stanoveného finančního limitu.

- Komerčně nabízené hotové moduly

Hotové a připravené jednoúčelové moduly, které se za sebe škálují jako stavebnice.

3.1.4 Možnosti odměřování

- Dotyková čidla 3D měření

- Laserové systémy

- Optické přístroje

- Systém infobodů

- Napěťové odměřování

Laserové měření:

Pro aplikaci ve vyleštěné válcové komoře nebude problém použít laserové odměřování pracující na principu triangulace, které dokáže měřit i povrchy v zrcadlovém lesku nebo tloušťky průsvitných materiálů. Jakékoliv optické měření je však náchylné na zanesení nečistotou a na prachové částice poletující mezi čidlem a povrchem.

3.1.5 Možnosti posuvů

Pro pohyb stroje uvnitř válcového pláště v axiálním směru (po délce válce) je třeba zajistit buď dostatečně kluzné plochy po odjetí nástroje (stroj se nesmí axiálně posouvat, když se

bude vnitřního pláště dotýkat brusným nástrojem), nebo rotační odvalovací vodící kolečka, která budou přímo ve styku s pláštěm.

Základním předpokladem při použití odvalovacích dotykových koleček je to, aby kolečko nepoškodilo povrch, pokud pojedou po již obroušené ploše. Obvodový pojezdový materiál by měl tedy být tvořen z materiálu měkčího, než je samotný broušený vnitřní plášť, ideálně z odolného plastu. U něj je třeba zajistit pouze to, aby se dlouhodobým používáním příliš neopotřeboval a nebylo třeba v průběhu času zvažovat a regulovat jeho obvod (řídít délku ramene, která nese osu kolečka).

Pro vyšší trakci a zamezení podkluzů je možné uvažovat i kolečko s gumovou bandáží. Ta sebou ale na druhou stranu nese rizika spojená s napichováním špon do gumového pláště..

3.1.6 Současný způsob výrovy ve firmě Streicher

- Zjistí se stav povrchu, pokud není plech předleštěný před skroužením, nebo jsou v něm velké zářezy (např. od flexi po odřezání dočasných závěsných ok), přejezdou se největší nerovnosti flexou s hrubým kotoučem (hrubost 60-80). Stejně se odstraňují i vystouplé podélné svary.

- Po srovnání povrchu nejhrubším kotoučem na flexe se začne leštit pneumaticky hnaným brusným pásem (hrubost od 80 do 120), povrch se brousí po částech, kolíbkovitým pohybem, postupuje se axiálním směrem válce (šířka záběru záleží na průměru broušeného válce, ale pohybuje se přibližně kolem 10° - 25°).

- Pro leštění na finální povrch (cca Ra 1.6) se používá brusný pás Trizact (piramidky), případně pro zrcadlový lesk ještě navíc filc a pasta.

- Výsledný povrch není ovlivněn směrem broušení, brusný pás (kotouč) se může pohybovat po jakékoliv ose. Drsnosti pásů se postupně zjemňují, je problematické přejít ze 100 rovnou na jemný Trizact.

- Chybí zkušenosti s broušením za mokra, zbytečně komplikované s malou přidanou hodnotou.

- Pro větší průměry (nad 800 mm) se používá „motorka“. Stroj umožňuje jak odběr velkého množství materiálu hrubým pásem, tak leštění filcem do jemného Ra. Současný stroj je osazen 3,5 kW elektromotorem, dříve byl použit 2 kW, ale při běhu stroje delší dobu než 1 hodinu docházelo k jeho přepalování a ve výsledku k úplnému zničení.



Obr. 31 brousící stroj "motorka" používaný ve firmě Streicher.

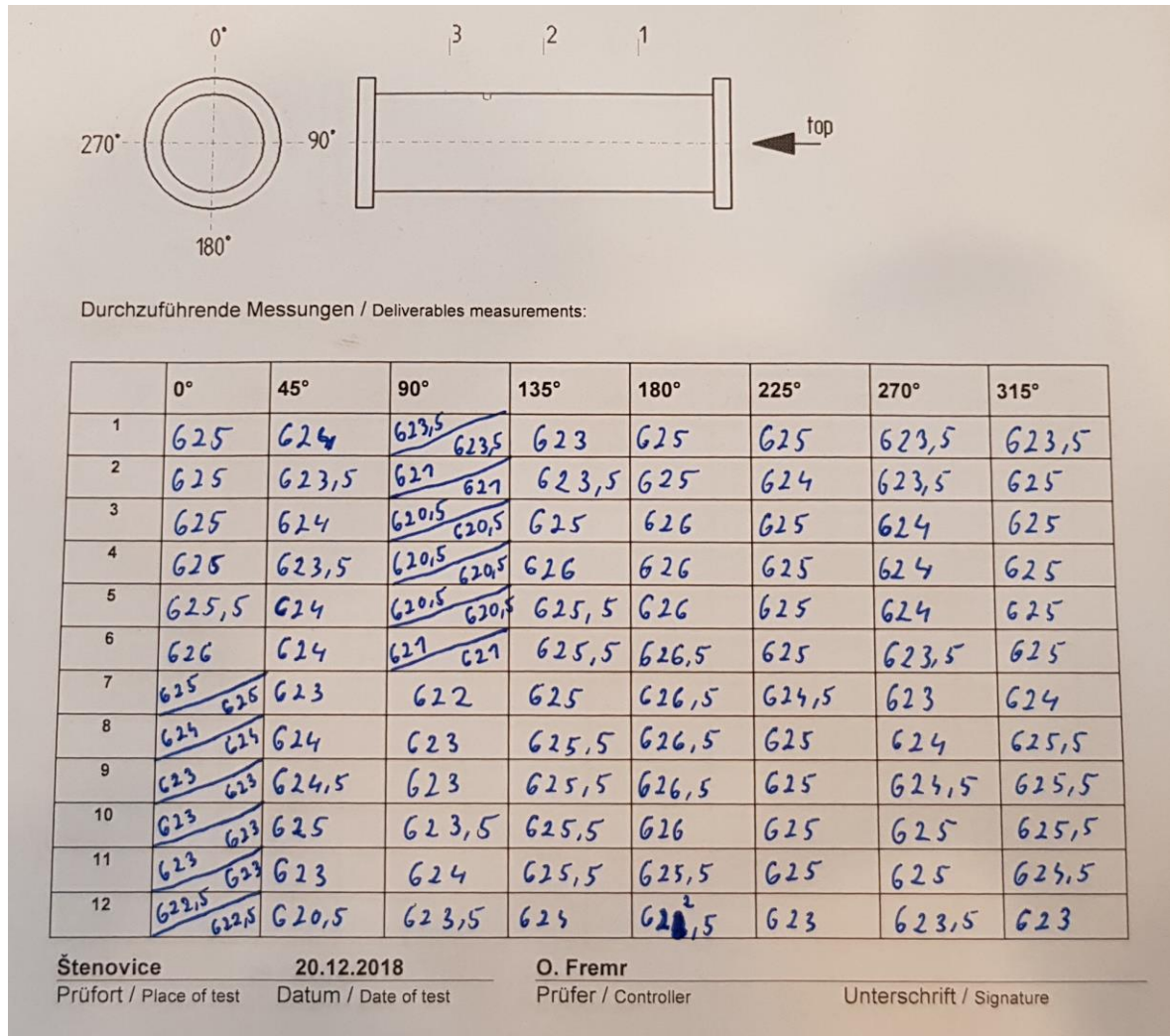
3.1.7 Současná kontrola ve firmě Streicher

Svary mezi jednotlivými částmi pláště se zkontrolují (ultrazvukem, rentgenem), změří se průměry na obou koncích a ve středových bodech se upne struna. Válcová komora se rozřadí po délce po cca 300 mm a následně se měří od struny po 45° poloměr. Kruhovitost po prvním měření většinou není moc dobrá, v mezích ± 2 mm.

Výše zmíněný proces měření probíhá již po prvním zkroušení, tzn. před leštěním. Měření odhalí „jezera“ a „kopce“, při větších nepřesnostech se tyto eliminují rozpínáním hevery ve vnitřním válci nebo tepelným roztahováním (nahřívání autogeny), při menších nepřesnostech se „kopce“ odbrušují ručně flexou s hrubým kotoučem.

Po dorovnání hrubých nečistot (viz výše) probíhá další měření, podle jehož výsledků se buď hrubé dorovnání opakuje, nebo se přistoupí k leštění.

Po leštění je kruhovitost úplně jiná, než před ním!



Obr. 32 Protokol po měření válcové komory.

Kruhovitost u průměru 800 mm se pohybuje kolem 1.5 mm (po jednotlivých kroužkách). Válcovitost se tolik neřeší, ověřuje se přiložením dlouhých pravítek.

Největší problémy dělají podélné svary (při aplikaci hotového výrobku rozdrní rotující lopatky, které se umisťují dovnitř), ty se musí odstranit kvalitně, aby nebyly vůbec patrné vystouplé části.

První hrubé broušení se provádí ještě před osazení druhým pláštěm. Srovnává se tlakem (pístem) a ohřevem (autogen).

Laserové měření se neosvědčilo, triangulačním systémem se sice odměřovat na leštěném povrchu dá, ale paprsky se různě lámou a nejsou okem viditelné, takže mohou nechtěně ozařovat další, nezúčastněné pracovníky a způsobovat jim zdravotní komplikace.

4 ANALÝZA REALIZOVATELNOSTI

4.1 Specifikace požadavků na navrhovaný technický systém

- Určení cenového stropu pro technický systém = cca 3-5 mil. Kč.
- Možnost proměřit broušený tvaru (dotykově, nebo bezdotykově) – definice ideální osy a nastavení stroje tak, aby znal svoji polohu vůči této ose.
- Minimalizace půdorysných (ale i ostatních) rozměrů stroje.
- Jiné brousící tvary komor než válcové, primárně však pro válcové nádoby.
- Geometrická přesnost ± 2 mm na průměru 1 m.
- Schopnost brousit i vývody bez poškození pláště.
- Rozsah průměrů 800 - 3000 mm, délka 4 - 10 m. Při broušení menších průměrů (500 - 800 mm) se používá metoda soustružení.
- Modularita průměrů i délky.
- Schopnost brousit i neprůchozí válce.
- Doba instalace max. 1 den.
- Potřeba odsávání prachu od broušení a ofukování měřících prvků.
- Omezení kontaminace broušeného povrchu, tzn. preferovat suché broušení.
- Při použití brusného kotouče nutné vyvážení a přerovnění.
- Definice rychlosti broušení (za jak dlouho se obrousí celý obvod).
- Zjištění a aplikace správné přítláčné síly nástroje na broušený povrch.
- Zajištění maximální možné použitelnosti nástroje (brusného pásu) bez nutnosti výměny (automatizované, ruční).
- Nástroj by měl vědět, že je v záběru a jak moc (jak je hluboko v materiálu, jaký na něj materiál klade odpor).

4.2 Analýza rizik a realizovatelnosti

V této kapitole jsou vypsány hlavní rizika spojená s životním cyklem brusného stroje.

- Rizika spojená s vibracemi.
- Obtížnost nalezení efektivního způsobu centrování brusného stroje.
- Obtížnost nalezení univerzálního řešení pro různé tvary broušených nádob.
- Suché broušení – nutné odsávání.
- Mokrý broušení – vodotěsnost dílů.
- Problém u měření:
 - aktuální poloha – průměr
 - nastavení teoretické osy a její korekce
 - prašné prostředí - laserové měření bude zaslepeno nečistotami
- Testování fungujícího prototypu.
- Broušení včetně vývodů / bez vývodů.
- Základní provedení brousícího stroje:
 - vnitřní hřídel – její uložení
 - bez hřídele
 - otáčení válce nebo jen brousícího stroje
 - naskenovat aktuální tvar válce a jeho osy - nutný návrh softwaru.
 - najetí stroje – začátek/konec broušení, použít najížděcí díl?
- Energie na pohony:
 - elektrika / pneumatika
 - problém u otočného stroje se zajištěním přívodu energie
- Určení – pás vs. kotouč nebo kombinace.
- Suché nebo mokré broušení.



Obr. 33 Brusné nástroje.

- Pásem lze odebrat až 0,5mm na jeden průjezd, lepší kvalita povrchu.
- Pás vyžaduje dostatečnou délku, aby se schladil před dalším záběrem.
- Kotouč v průběhu broušení mění geometrii, nutné dorovnávání a donastavení v čase.



Obr. 34 Ukázka velkého brusného pásu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NAVRŽENÍ KONCEPCÍ TECHNOLOGIE BROUŠENÍ

V úvodní části návrhu brusného stroje se nejprve analyzoval a zkoumal samotný design a proces broušení, kdy bylo zapotřebí zajistit splnění všech nebo alespoň velké části požadovaných vstupních parametrů.

Pro vyloučení svázání představivosti a upnutí se na jeden návrh (prokazatelná reálná hrozba při navrhování konstrukce jedním člověkem) bylo vypracováno několik co nejvíce odlišných variant, které se z počátku mohly zdát nereálné a neefektivní, u nichž se liší jak samotný proces broušení, tak základní uspořádání, kinematika a dotyková místa stroje s broušeným válcem a navíc byl mezi jednotlivými návrhy ponechán větší časový prostor, čímž bylo zajištěno co možná největší množství možných přístupů k problematice.

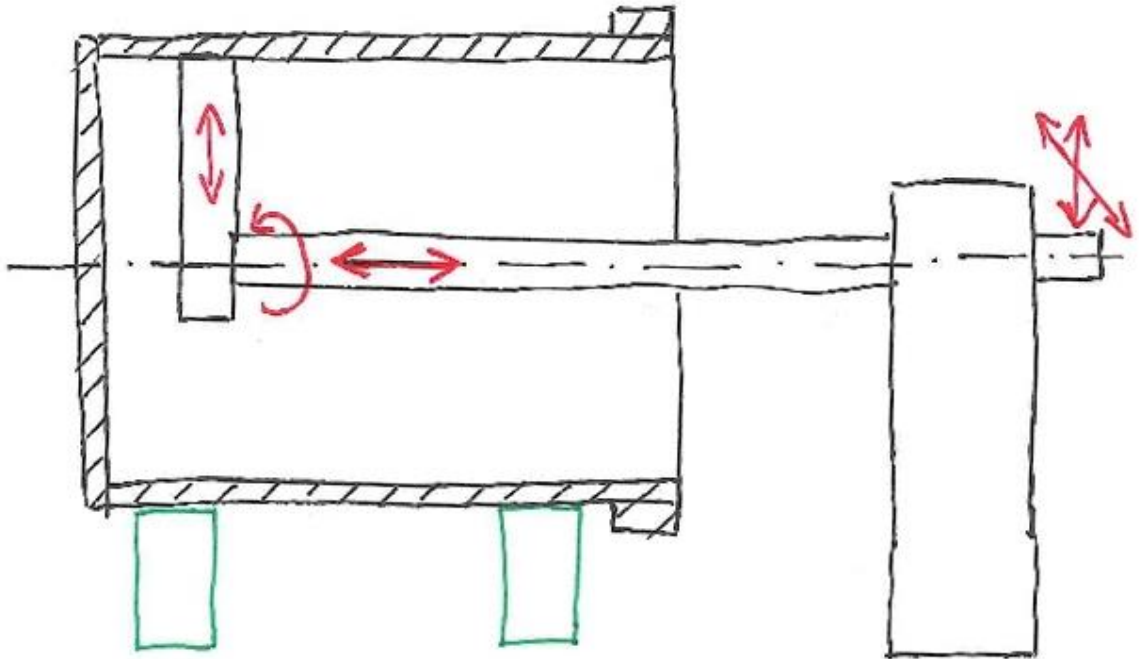
5.1 Návrh koncepce A

Jako první možnost se jeví použití brusného stroje, kdy je brusná hlava s pásem uložena na výsuvném rameni, kolem kterého koná rotační pohyb. Broušené těleso je v tomto případě pevně zafixováno k rámu brusného stroje a neprovádí žádný pohyb.

Popis fungování stroje a definice požadavků:

1. Možnost přisunout stroj k broušenému dílu nebo naopak a pevně je spojit.
2. Zaměření aktuálního stavu vnitřního pláště – tvar po celé délce – musí být provedeno již z pevné vzájemné polohy, aby nedošlo k případnému násobení vzniklé nepřesnosti při měření.
3. Určení ideální osy, která splňuje následující parametry:
 - Zajištění předepsaného průměru po celé délce válce (nikde nesmí chybět materiál).
 - Odběr co nejmenšího a nejrovnoměrnějšímu množství materiálu (proložené kružnice se musí prokládat s reálným stavem po celém svém obvodu přibližně rovnoměrně, nemělo by docházet na jedné straně k úběru v řádech mm a na druhé v desetínách mm).
4. Posun a srovnání rotační osy nástroje (příp. ramene s nástrojem) s definovanou ideální osou vnitřního pláště.

5. Najetí nástroje na hrubý odběr materiálu do vzdálenosti (poloměru), při které je možné začít odebírat první části materiálu (např. vystouplý podélný svar) – analýza možného rozmezí průměrů.
6. Započetí odebírání materiálu, možné dva způsoby:
 - Nástroj (rameno) rotuje ve vnitřním válci stále dokola o 360° - u této kinematické varianty nastává problém s přesunem el. energie (kabely) a odsávací hadicí, které by nebylo možné vést klasickou cestou podél výsuvného ramene.
 - Nástroj (rameno) střídavě osciluje o 180° (případně o 190° s přesahem, aby bylo 100% zajištěno opracování celé vnitřní plochy) do obou směrů – při použití nástroje tvořeného brusným pásem bude však každá strana broušena různou rychlostí v návaznosti na rotaci a posun samotného brusného pásu. U této varianty ale nevzniká problém s el. vedením a trubicí odsávání.
7. Postupné odebírání materiálu v axiálním směru válce (po délce) na stejném poloměru – vyjíždění nástroje do hloubky válce po hlavním horizontálním rameni až na konec broušené plochy.
8. Posunutí nástroje (brusné hlavy) do větší vzdálenosti od osy pro zvětšení broušeného poloměru a při průběžném dalším odebírání materiálu návrat zpět do vstupní části broušeného válce.
9. Opakování činnosti až do doby dosažení požadovaného průměru bez posledních cca 0.5 mm (v této době je již zajištěna geometrická tolerance).
10. Ruční výměna brusného pásu za jemnější a opakování broušení, tentokrát již zcela přesně do požadovaného průměru.



Obr. 35 Skica koncepce A.

Výhody:

- Zlepšení geometrické přesnosti vnitřní válcové plochy.

Nevýhody:

- Obtížně realizovatelný krok č. 3, tj. určení ideální osy vnitřního válce, pro jehož zajištění bude nutné přesné měření po obvodu a v celé délce broušeného válce. O komplikovaných a nákladných možnostech odměřování bylo pojednáno v teoretické části práce.
- Nutnost masivního uložení pro hlavní horizontální nosník, který musí vykonávat jak rotační, tak lineární pohyb.
- Delší doba broušení vzhledem k tomu, že je nejprve nutné hrubým broušením dosáhnout geometrické přesnosti, což se může týkat velkého objemu materiálu. Tento problém ale bude nastávat u více méně všech navržených možností a proto se bude muset s největší pravděpodobností akceptovat, řešení nemá ani při současném způsobu ručního broušení.

5.2 Návrh koncepce B

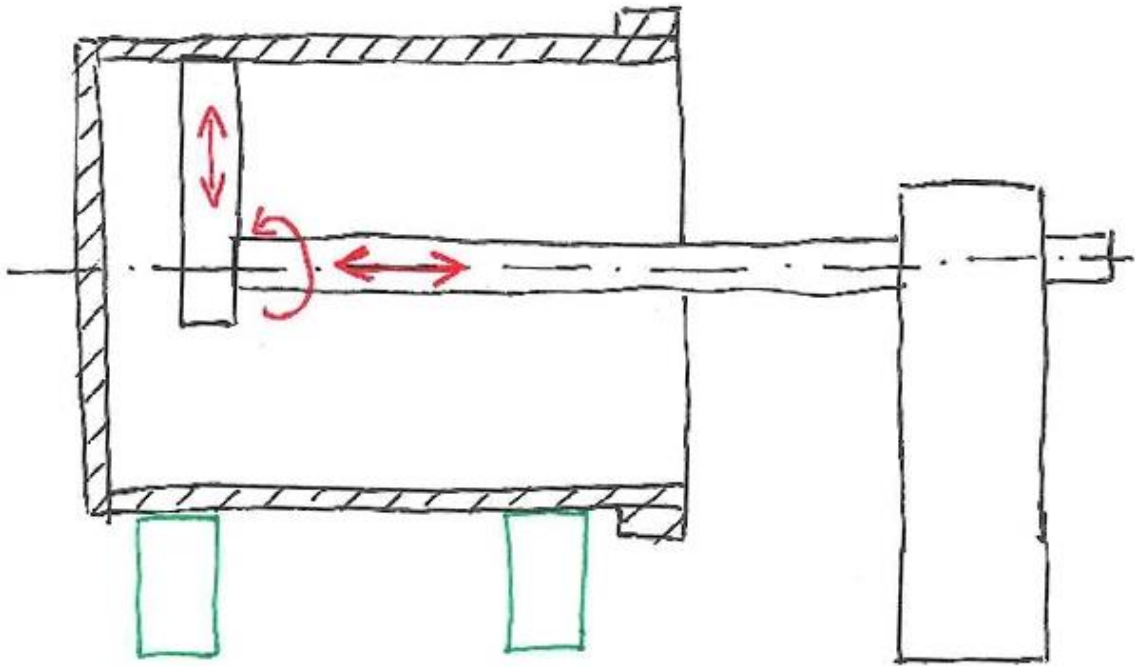
Pro eliminaci problému s uložením masivního rotačně uloženého nosníku brusného stroje lze upravit design tak, aby rotoval pouze samotný brusný nástroj (hlava) a tím pádem by mohl být hlavní horizontální nosník na stojanu uložen tak, aby mu byl umožněn pouze lineární posuv.

Dále je potřeba vyřešit vhodným způsobem problémy související s problematickým zjišťováním ideální teoreticky přesné osy válce v závislosti na skutečnosti. Tento předpoklad by mohlo splňovat použití pružného elementu v místech brusného nástroje.

Popis fungování stroje a definice požadavků:

1. Možnost přisunout stroj k broušenému dílu.
2. Umístění rotační osy stroje (hlavního horizontálního nosníku) do polohy přibližně odpovídající ose vnitřního pláště.
3. Najetí nástroje na hrubý (zarovňovací) odběr materiálu do vzdálenosti (poloměru), při kterém dojde k dotyku se stávající plochou vnitřního válce. Brusná část stroje, ať už nástroj samotný nebo celá hlava, je uchycena v pružném uložení a kopíruje všechny nerovnosti původního tvaru vnitřního válce. Broušení hrubým pásem slouží k většímu odběru materiálu a pro odstranění vrypů a hrubých nečistot z broušené plochy.
4. Započetí odebrání materiálu, možné dva způsoby:
 - a. Nástroj (rameno) rotuje ve vnitřním válci stále dokola o 360° - viz předchozí varianta A.
 - b. Nástroj (rameno) střídavě osciluje o 180° (190° s přesahem) - viz předchozí varianta A
5. Postupné odebrání materiálu v axiálním směru válce (po délce) na stejném poloměru – vyjždění nástroje do hloubky válce po hlavním horizontálním rameni až na konec broušené plochy.
6. Návrat nástroje směrem k základně stroje a opakování těchto pohybů. Nástroj je v pružném uložení tlačěn do vnitřní válcové plochy až do chvíle dosažení nastaveného poloměru, přičemž nesmí dojít k vytlačení nástroje dál než je tento definovaný průměr, aby se zabránilo podbroušení.

7. Opakování činnosti až do doby srovnání broušené plochy do hladka, bez vrypů a nečistot.
8. Ruční výměna brusného pásu za jemnější a opakování broušení až do dosažení finální jakosti povrchu.



Obr. 36 Skica koncepce B.

Výhody:

- Oproti variantě A výrazně snazší konstrukce stroje (nemusí mít nastavitelnou srovnávací osu).
- Větší rychlost broušení.
- Stroj je mobilní a přesunutelný volně po výrobní hale.

Nevýhody:

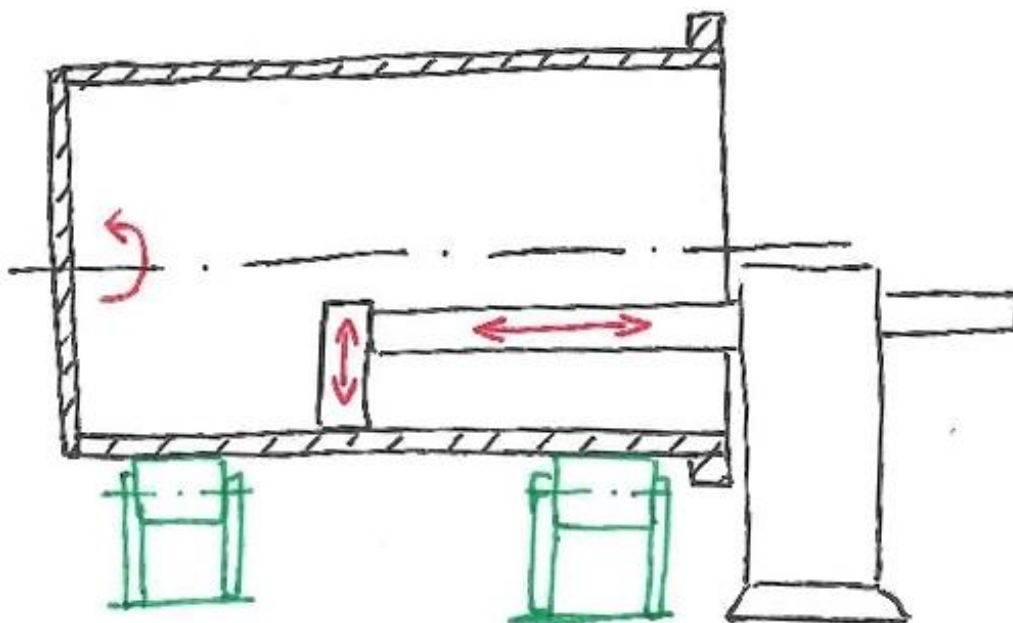
- Neřeší geometrickou přesnost válcovitosti ani kruhovitosti.
- Potřeba dlouhého výložného nosníku zatíženého brusnou hlavou na konci (samozřejmě platí i pro předchozí návrh).
- I při nepoužívání stroj zabírá hodně místa ve výrobní hale.

5.3 Návrh koncepce C

Předchozí návrh B sice úspěšně odstranit nedostatky prvního návrhu A, nicméně absence řešení a zlepšování geometrické přesnosti u broušeného válce je závažný nedostatek vzhledem k zadání diplomové práce. Proto byl vypracován další evoluční návrh koncepce, který spojil výhody obou předchozích variant.

Popis fungování stroje a definice požadavků:

1. Možnost přisunout díl k brusnému stroji a položit na ložisková lože (rolny).
2. Díl leží hlavní přírubou nebo vnějším válcovým pláštěm na válcových ložiskách a je umožněna jeho rotace o 360° .
3. Nástroj se pohybuje v podélné ose válce, najede do vzdálenosti dotyku brusného pásu s vnitřním pláštěm.
4. Díl se otáčí podél své válcové osy a nástroj brousí jeho vnitřní plášť, zároveň nástroj jezdí v podélné ose, tj. po celé délce válce.
5. Po dosažení základní drsnosti (odebrání nečistot, zarovnání vrypů) a srovnání geometrické válcové přesnosti, se ručně vymění brusný pás za jemnější a brousí se na požadovanou drsnost.



Obr. 37 Skica koncepce C.

Výhody:

- Robustní konstrukce zajištěná absencí rotující hlavy nástroje nebo hlavním horizontálním nosníkem.
- Minimalizace vibrací zajištěná pevným strojem a rotujícím broušeným válcem.

Nevýhody:

- Bez možnosti brousit válce osazené vnějšími přírubami přesahujícími rolny pro uložení.
- Velká kruhovitá přesnost kladená na vnější plášť/přírubu, která se přímo promítá do vnitřního broušeného povrchu.

5.4 Zhodnocení a výběr vhodné varianty

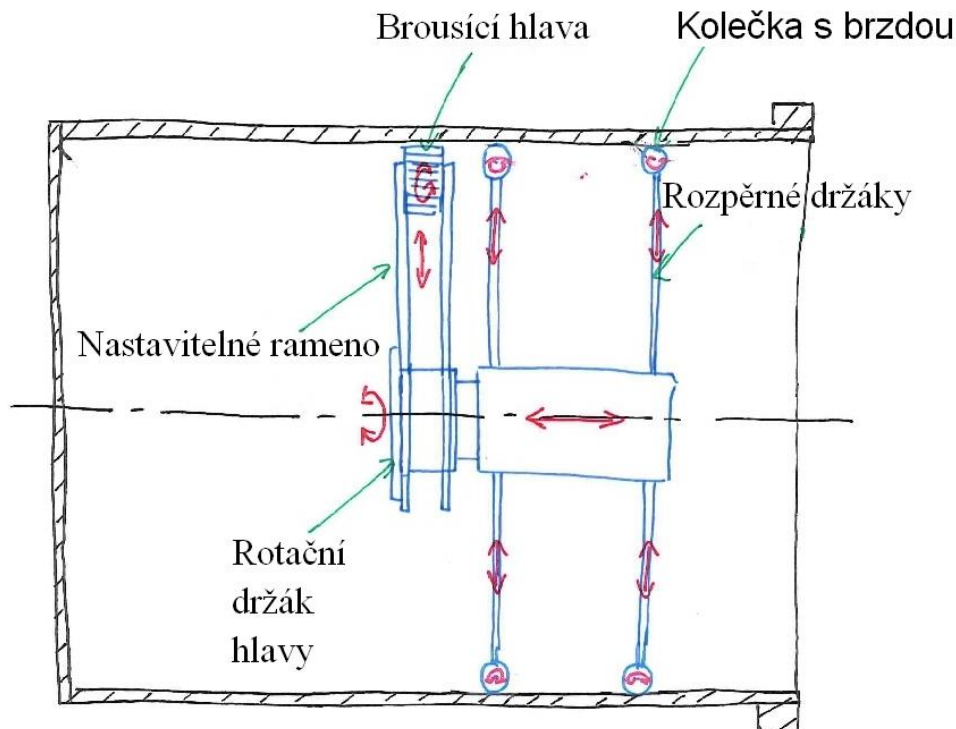
Z výše vypracovaných variant byla vybrána první varianta A, pro nejlepší poměr výhod a nevýhod. Důležitým kritériem byla zejména možnost nastavit osu broušené kružnice, což je základní předpoklad pro splnění vstupního parametru na zlepšení geometrické přesnosti broušeného válce.

6 ROZVINUTÍ KONCEPCE TECHNOLOGIE BROUŠENÍ

Jak bylo popsáno v předchozí kapitole 5.4 - Zhodnocení a výběr vhodné varianty, pro další rozvinutí a hlubší rozpracování byla zvolena varianta A. U ní bylo potřeba vyřešit základní prvky použité v konstrukci stroje do úrovně detailů, které by objasnily, co jak bude fungovat a jak to bude umožněno.

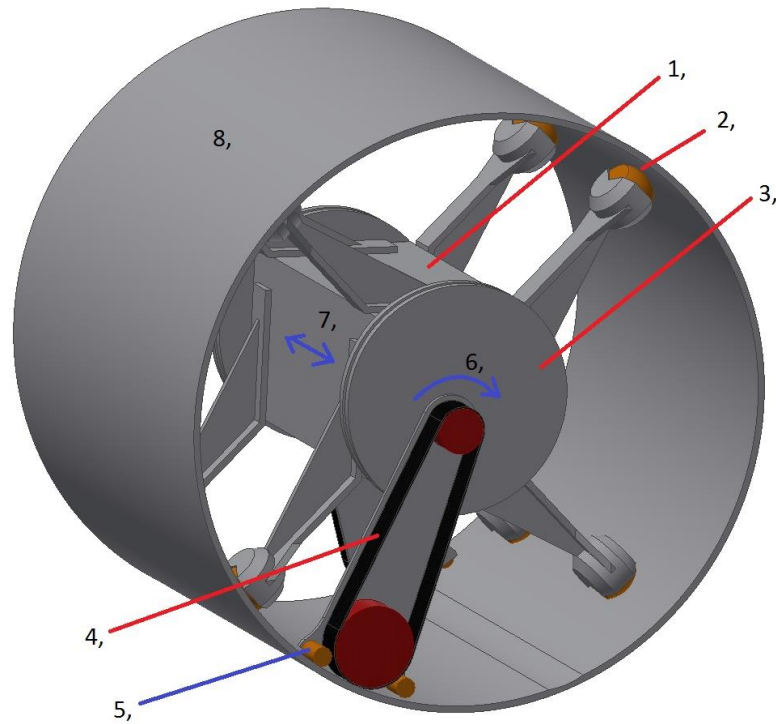
6.1 Návrh koncepce A1

Jednou z možností, jak zajistit splnění podmínek pro fungování navržené varianty A je umístit kompletní brusný mechanismus na pohyblivý rám, který bude celý jezdit v opracovávaném válcovém tělese.



Obr. 38 Skica rozvinuté koncepce A1.

Axiální pohyb bude zajištěn rozepřenými nohama rozmístěnými po 3 nebo po 4 podél obvodu ve dvou řadách za sebou (dohromady 6-8 nohou), které definují stabilní a vždy staticky určené postavení brusného stroje, na jejichž koncích budou brzděná kolečka (rolny). Rotační rameno, které na konci nese brusnou hlavu, bude umístěno před tímto rámem, v němž bude uložen elektromotor, sloužící jak pro pohon rotačního pohybu ramene, tak pro pohon samotného hnaného brusného kola, které svůj pohyb předává brusnému pásu.



Obr. 39 Základní 3D model rozvinuté koncepce A1.

Popis jednotlivých částí stroje:

1. Rám brusky.
2. Stavěcí rolna nastavitelná podle průměru válce.
3. Otočný nosič brusné hlavy.
4. Brusná hlava - pásová bruska s možností nastavení průměru válce.
5. Vodící kolečka definující velikost broušení a k eliminaci rizika podbroušení.
6. Směr pohybu otáčení brusky.
7. Směr pohybu ve válci.
8. Plášť broušeného válce.

Aby nedošlo k podbroušení, budou na obou stranách brusné hlavy v místě kontaktu s broušeným válcem vodící kolečka, jejichž nastavením se dá regulovat velikost úběru a tedy i hlídat míru, která by vedla k podbroušení. Před každou pojezdovou rolnou bude navíc umístěno měřící kolečko nebo optický senzor, který bude hlídat (kontrolovat) aby stroj nemohl spadnout do otvoru nebo z konce nádoby.

Výhody:

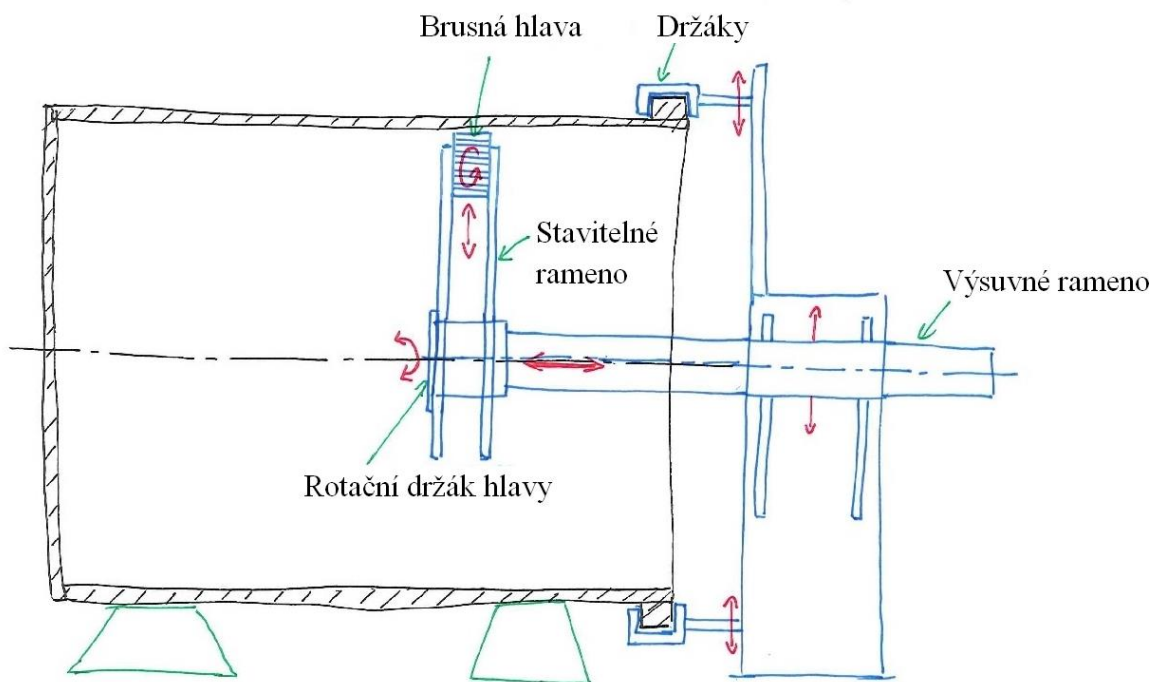
- Malé rozměry stroje – celý se pohybuje v broušeném válci a nezabírá žádné místo mimo.
- Neomezený dosah v axiálním směru válce, který je zajištěn pohybem na vodících kolečkách.

Nevýhody:

- Složitá a křehká konstrukční struktura, kdy se jako problematické jeví nastavitelné hlavní nohy.
- Složitost u převodu rotačních pohybů z motoru na otáčení ramena a rozpohybování brusného pásu.

6.2 Návrh koncepce A2

Další možností, jak zajistit splnění podmínek pro fungování navržené varianty A, je použití většího statického stroje, jak ostatně naznačuje i samotná původní ilustrační skica. Stroj je v tomto případě umístěn stabilně na podlaze výrobní haly a je k němu pomocí držáků možné napevno připnout opracovávaný díl. Aby bylo zajištěno správné opracování, je třeba přesně definovat umístění osy, kolem které rotuje brusná hlava, což je umožněno vertikálním i horizontálním řízením uložení hlavního nosníku. Pro axiální posuv brusného nástroje slouží vysouvání hlavního horizontálního nosníku v jeho uložení (lineární posun).



Obr. 40 Skica rozvinuté koncepce A2.

Výhody:

- Pevné spojení opracovávaného tělesa se strojem.
- Po zjištění správně umístěné teoretické osy zamýšleného ideálního válce je po opracování zajištěna vysoká geometrická přesnost.

Nevýhody:

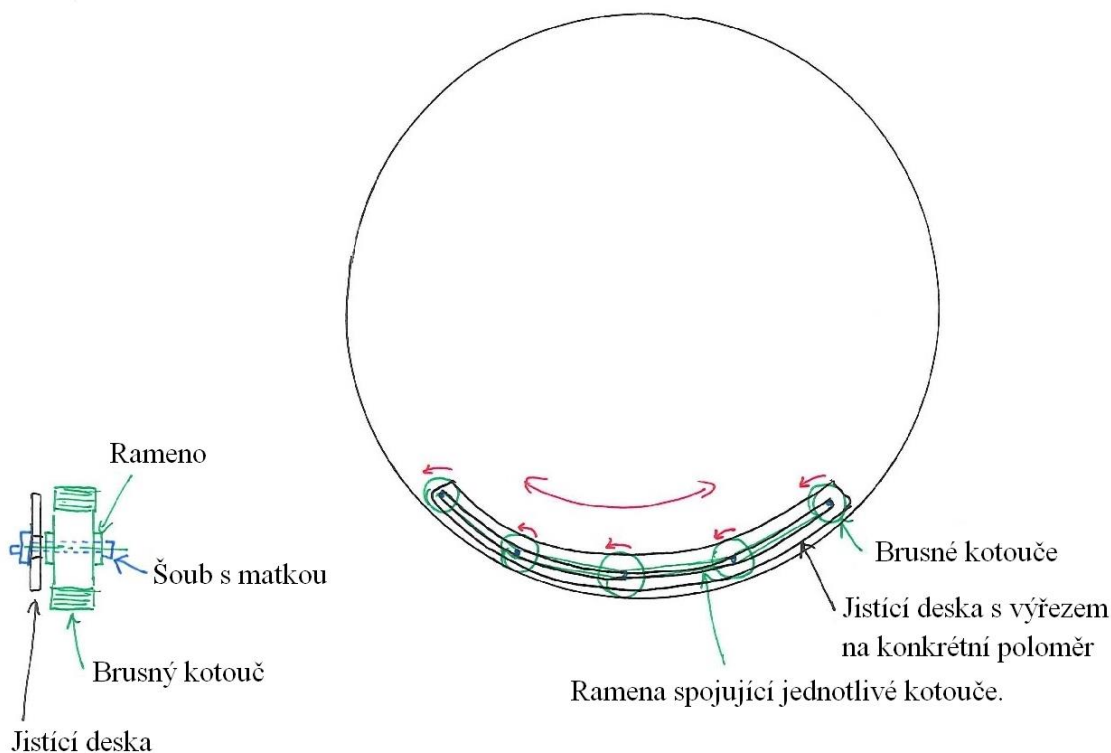
- Veliké rozměry stroje, i když není zrovna používán, protože musí být vybaven dostatečně dlouhým hlavním nosníkem, který pokryje všechny délkové varianty broušených válců.
- Vysoké nároky na tuhost a únosnost hlavního horizontálního nosníku.

6.3 Návrh koncepce A3

Pro dosažení evolučně nejvyspělejšího návrhu byla opět použita metoda jako u předchozí kapitoly 5, tzn. zkombinování kladů několika jiných návrhů do jednoho, který je pak v sobě kombinuje a vhodně minimalizuje jejich negativa, která mají samostatně.

V tomto případě se hledal způsob, jak zachovat malé rozměry stroje, který by spolehlivě zajišťoval zlepšení geometrické přesnosti a zároveň měl neomezený nebo velký dosah v axiálním směru válce bez přehnaných nároků na únosnost hlavního horizontálního nosníku. Důležité také bylo zachování pokud možno jednoho stroje na celou škálu požadovaných průměrů.

Řešením se stalo revoluční pojetí zařízení, které je nově tvořeno vodícími kolečky, které v přesně definovaném rozměru a úhlu určují zamýšlený poloměr opracovávaného válce a brusnými koly mezi nimi, přes které prochází brusný pás. Vodící i brusná kola jsou po dvojicích uložena v bočnicích – jisticích deskách, které v sobě mají výřez pro uložení os kol. Každá dvojice (ať už vodících nebo brusných kol) se dá vůči další dvojici úhlově pevně nastavit a uzamknout a tím je zajištěno flexibilní nastavení průměru broušeného válce.



Obr. 41 Skica rozvinuté koncepce A3.

Výhody:

- Malý subtilní stroj, který se dá při nepoužívání složit a snadno uskladnit.
- Veliká variabilita nastavení průměrů broušených válců omezená jen pevným základním rozměrem dvojice koleček.

Nevýhody:

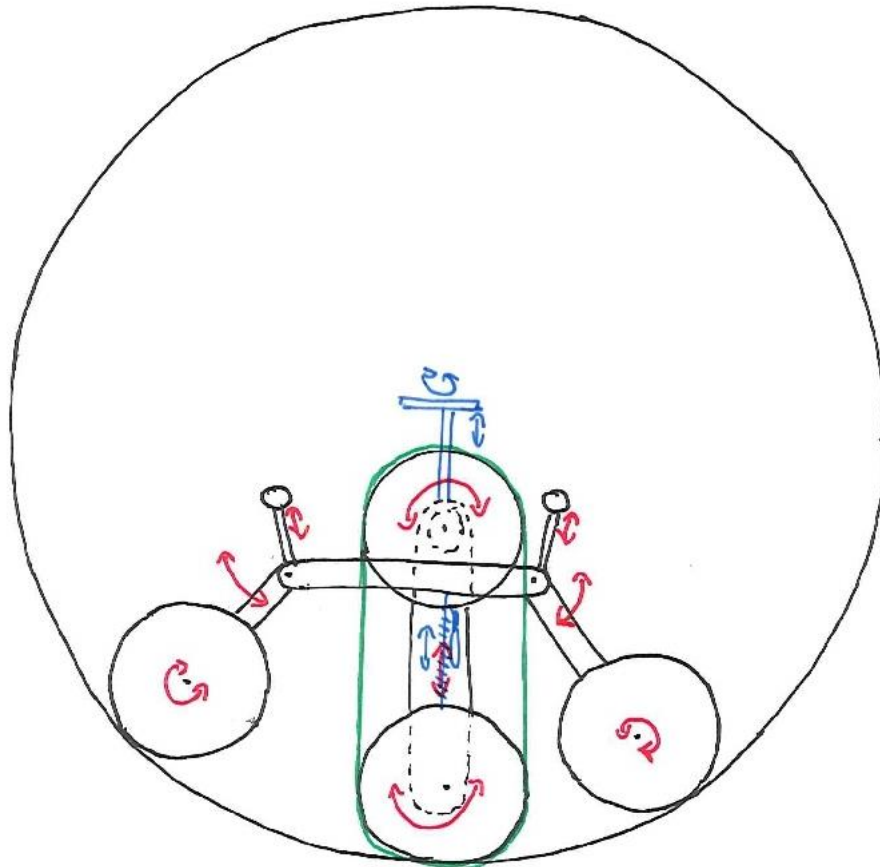
- Obtížně a zdlouhavě proveditelné pevné spojení jednotlivých členů (dvojic koleček)
- Nutnost minimálně jedné prodloužené osy a přidání kola pro vyvážení motoru.
- Převod od motoru na hnané brusné kolo, protože průměr kol je moc malý na to, aby byl motor umístěn na stejné ose.

6.4 Návrh koncepce A4

Po naskicování koncepce A4 a zanalyzování jejích výhod a přínosů bylo přistoupeno k dalšímu a širšímu využití daného principu, tj. distančních vodících koleček, která by zabezpečovala zlepšení geometrické tolerance opracovávaného válce a zároveň znemožňovala podbroušení definováním maximálního poloměru.

Pro základní pochopení možností této koncepce se přistoupeno nejprve k návrhu stroje s lidskou obsluhou, který by sice splňoval výše uvedená pozitiva, ale po obvodu broušeného válce by nebyl hnán motoricky (kolem osy válce), ale po částech pomocí lidské obsluhy, která by jej vychylovala od svislé roviny, ve které by zrovna broušený válec byl. Celá sestava by byla uložena na rolnách a bylo by tak možno po opracování spodní čtvrtiny otočit válec o 90° a pokračovat v broušení další čtvrtiny až do doby, kdy by byl přebroušen celý obvod.

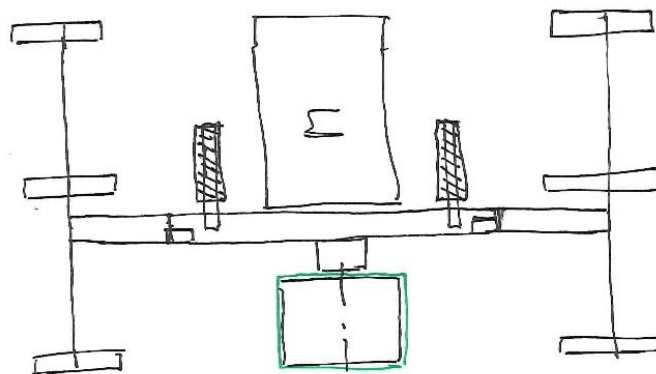
Předpokladem fungování dané koncepce je možnost regulace dvou nebo více vodících (distančních) koleček, která budou definovat přesný průměr a pokud ten bude menší než zamýšlený (tzn. bude ve válci „kopec“), dostane se do kontaktu brusné kolo s pohybujícím se pásem a začne odebírat materiál až do chvíle dosažení kýženého rozměru, kdy už poběží pouze na volno, bez záběru.



Obr. 42 Skica rozvinuté koncepce A4.

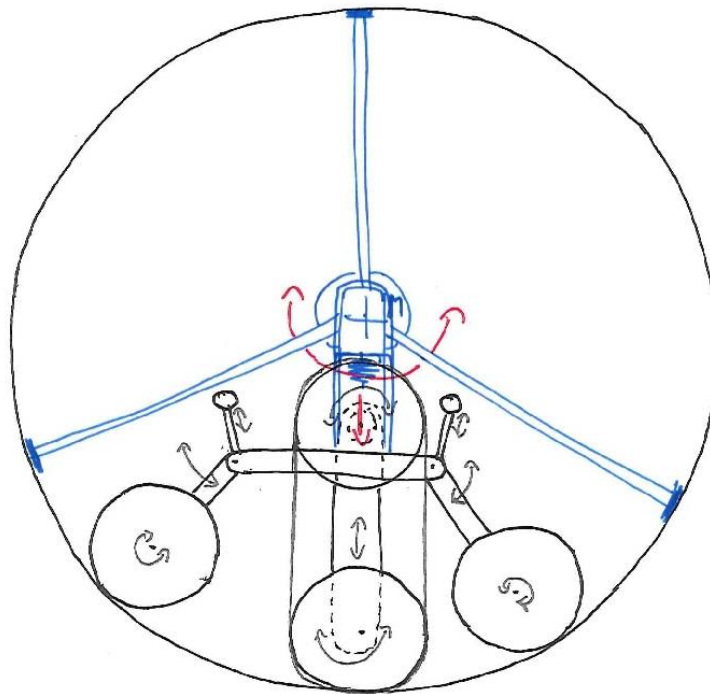
V půdorysném uspořádání je několik kol umístěno za sebou na jedné ose, aby se celý stroj kvůli elektromotoru nepřevažoval a také aby nenastal problém při najetí do otvoru v plášti (kvůli přírubě nebo vývodu). Při použití 3 kol na každé straně ani při vyřazení libovolného kola nedojde k převrácení a podbroušení.

Pro manipulaci se strojem jsou na něm umístěna nastavitelná madla.

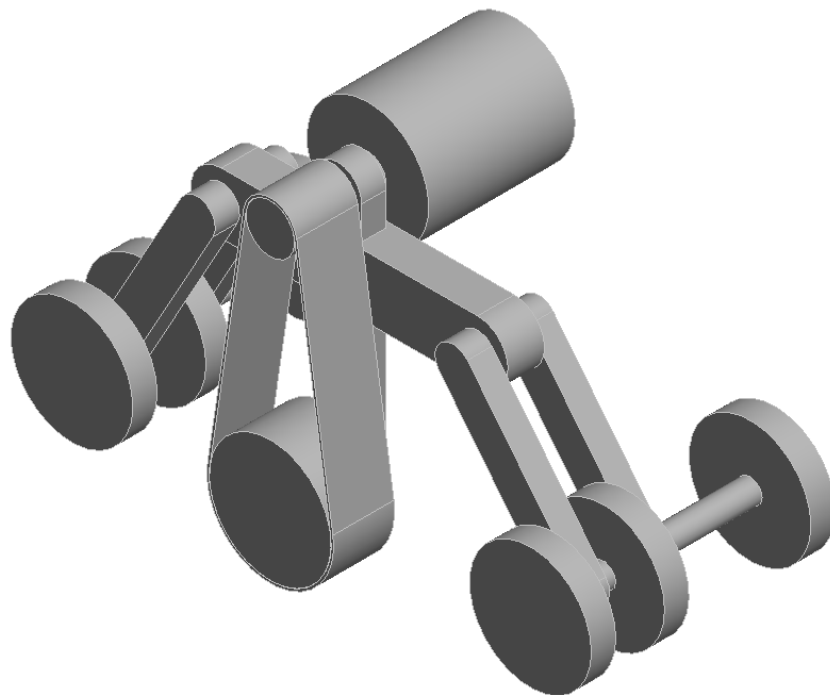


Obr. 43 Půdorysné uspořádání rozvinuté koncepce A4.

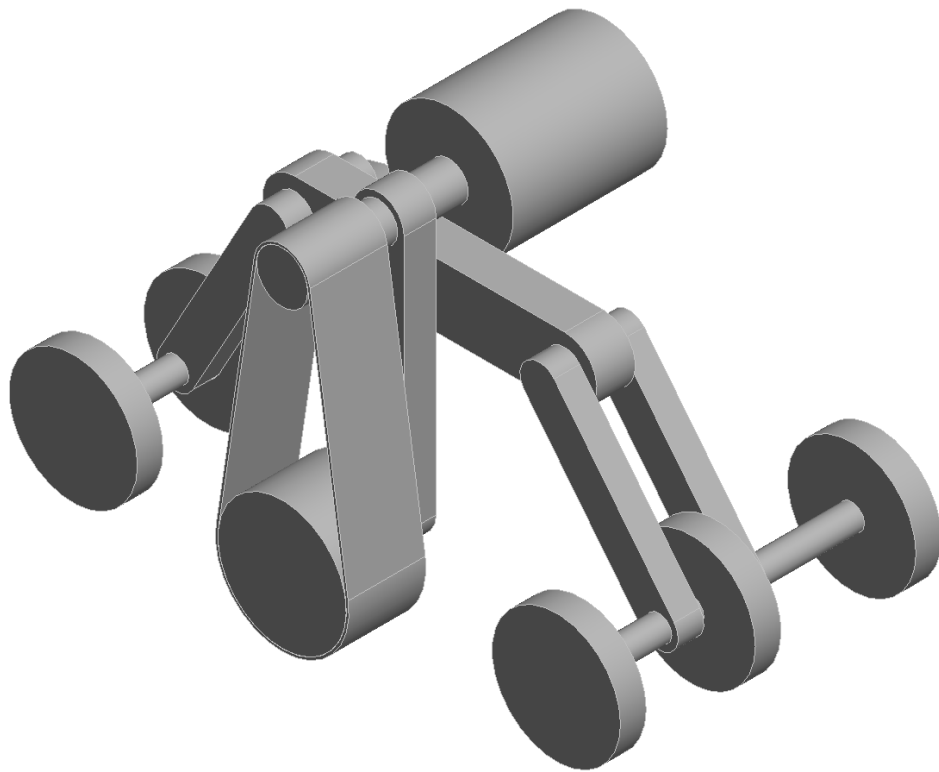
Takto navržený stroj by při ověření fungování šlo v pozdější fázi vývoje osadit na rám, jaký je znázorněný v koncepci A1, který by umožňoval zautomatizování procesu a vyřadil potřebnou lidskou obsluhu.



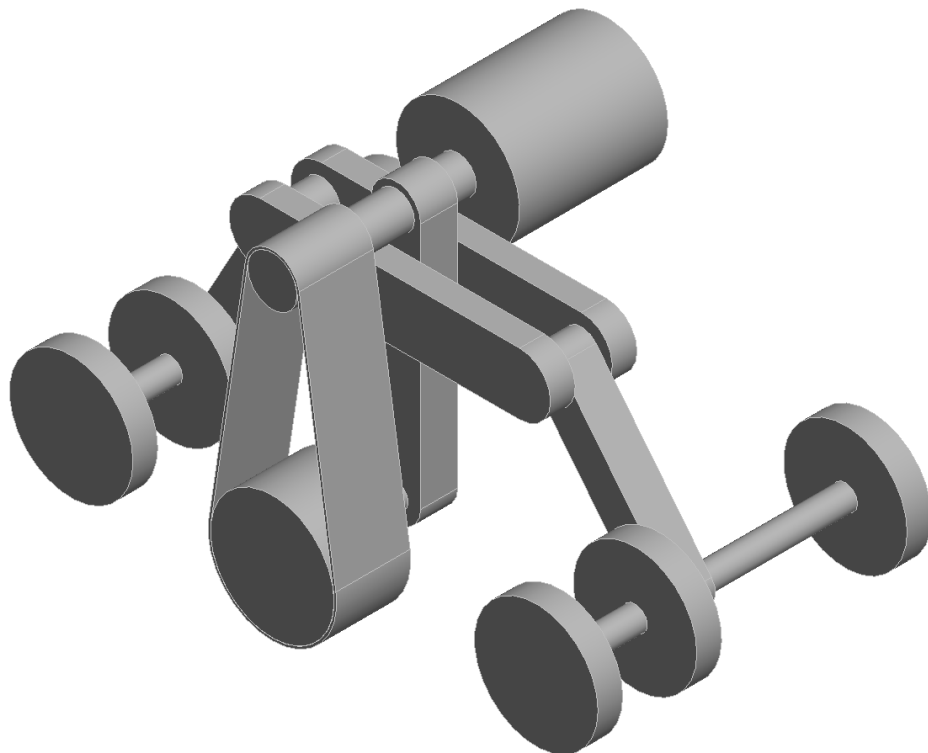
Obr. 44 Koncepce A4 s rozpěrným rámem.



Obr. 45 3D model rozvinuté koncepce A4 – uspořádání 1.



Obr. 46 3D model rozvinuté koncepce A4 – uspořádání 2.



Obr. 47 3D model rozvinuté koncepce A4 – uspořádání 3.

Výhody:

- Lehký a skladný stroj.
- Řešení použitelné pro veliký rozsah průměrů.

Nevýhody:

- Primárně určený pro ovládání a pohyb lidskou silou.
- Problém s pohybem stroje v axiálním směru válce.

6.5 Návrh koncepce A5

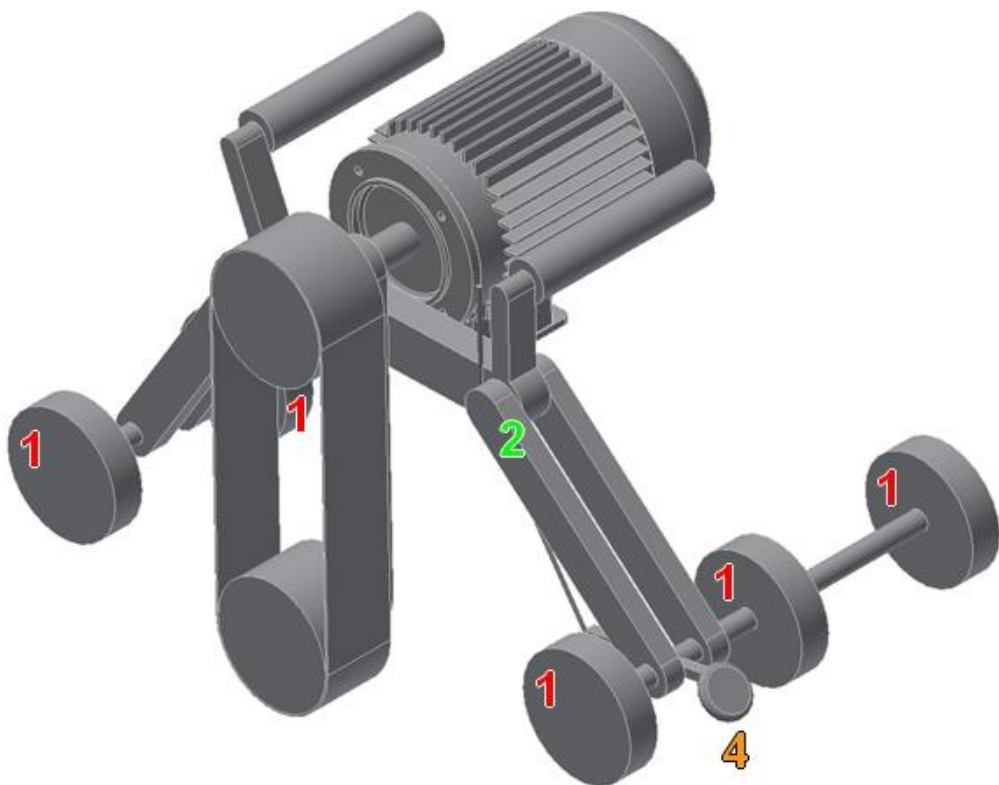
Snaha o vyřešení problému koncepce A4 vedla k pokusu o navržení dalšího evolučního stupně stroje, který v sobě zahrnuje i způsob pohybu v axiálním směru válce pomocí dvou spínatelných posuvných kol, která se spustí na základě sepnutí ovládací páky u madla stroje lidskou obsluhou.

Na základě předchozích poznatků byl také revidován seznam požadavků na stroj a řešení pro jejich splnění.

Popis fungování stroje a aktualizovaná definice požadavků:

1. Při njetí některým z koleček do otvoru pro přírubu nesmí dojít k převážení stroje do díry a vytvoření vrypu od brousícího kola.
 - Použije se 6 vodících koleček s těžištěm na straně motoru.
2. Nastavení požadovaného průměru broušeného válce.
 - Utahovatelnými klouby mezi rameny koleček a hlavním horizontálním nosníkem.
3. Posun v radiálním směru, při kterém bude broušeno.
 - Vodících 6 koleček (stejně, jako v bodu 1) na dvou osách v předem nastaveném úhlu od hlavního horizontálního nosníku. Hlavní vertikální nosník bude nastaven do vzdálenosti, aby brousící kolo nemohlo podbrušovat plochu pod zvolený rádius.
4. Posun v axiálním směru, při kterém broušeno nebude.
 - Zajištěno zvedacími kolečky s rotací v axiálním směru.
 - Zmáčknout páku na držadlech, které kolečka vysunou, s možností zafixování ve zvednutém stavu.

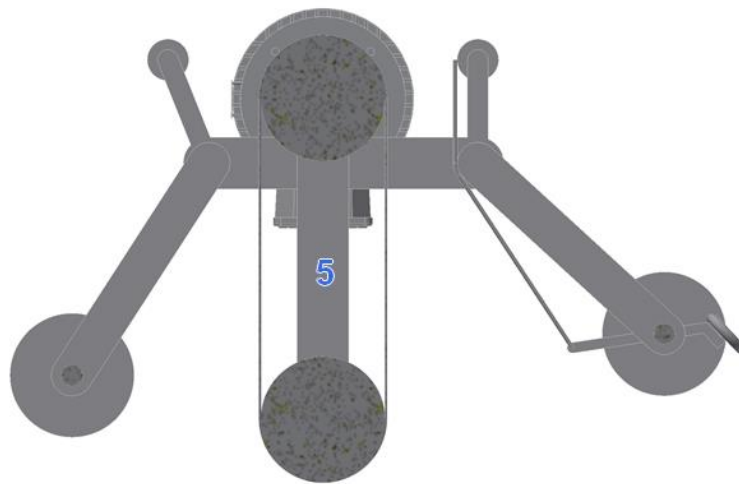
- Pojezdová kolečka mají umožněnou rotaci v radiálním směru válce, tzn. umožňují brusnému stroji pojíždět v axiálním směru válcem.
 - Je třeba určit, zdali musí být kolečka uložena excentricky (jako kolečka od židle), nebo může osa rotace procházet středem kolečka – problém bude ověřen experimentem, viz dále.
5. Nastavení hloubky záběru podle tloušťky brusného pásu.
- Rozpínacími rameny s pákou a nastavitelným šroubovacím válečkem na hlavním vertikálním ramenu.
6. Nastavení hloubky broušení na 0, +1, +2 (možné využít u postupného odbrušování podélného svaru)
- Šroubem, který bude posouvat celé hlavní vertikální rameno (sestavu motoru, hnaného kola a brousícího kola). Jeho úplné dotažení znamená pro brusné kolo pozici 0, aby nemohlo dojít k podbroušení.
7. Madla
- Dvě madla vyvedená nad hlavní horizontální nosník, aby byla v pohodlné výšce pro obsluhu.



Obr. 48 3D model rozvinuté koncepce A5.

Popis jednotlivých částí stroje:

1. Vodící (distanční) kola.
2. Nastavitelné rameno vymezující broušený průměr.
3. Motor.
4. Posuvná kolečka.
5. Hlavní vertikální nosník s brusným pásem, hnaným a napínacím kolem.
6. Ovládací prvek pro nastavování hloubky úběru.
7. Madla.

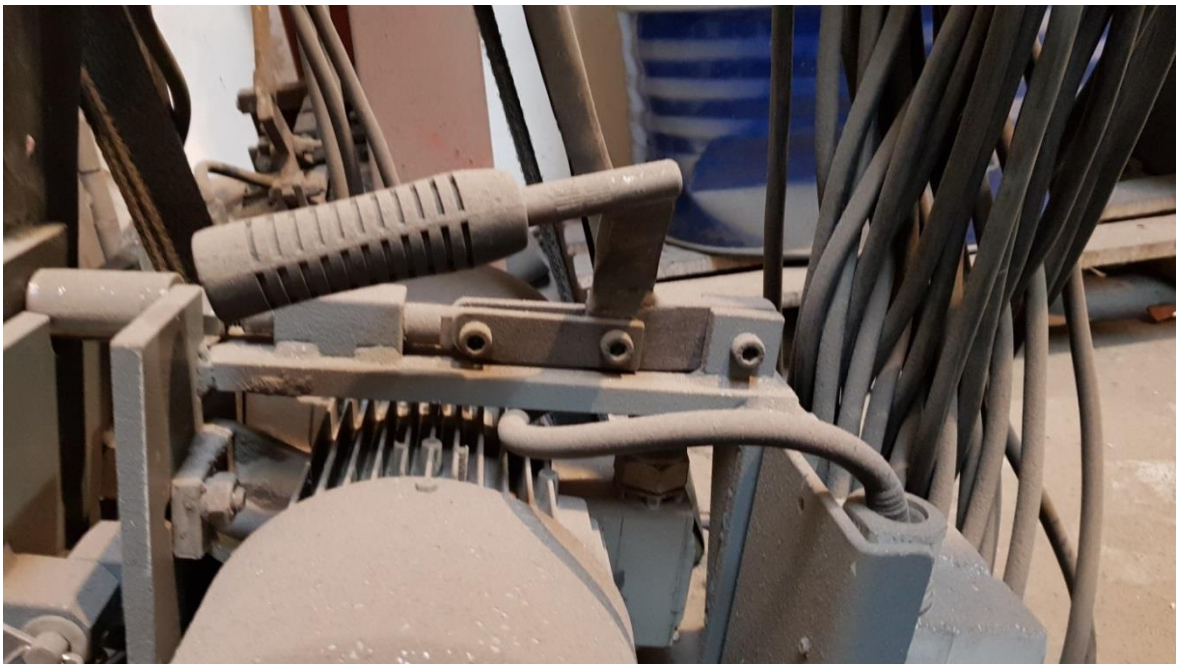


Obr. 49 3D model v řezu rozvinuté koncepce A5.



Obr. 50 3D model rozvinuté koncepce A5.

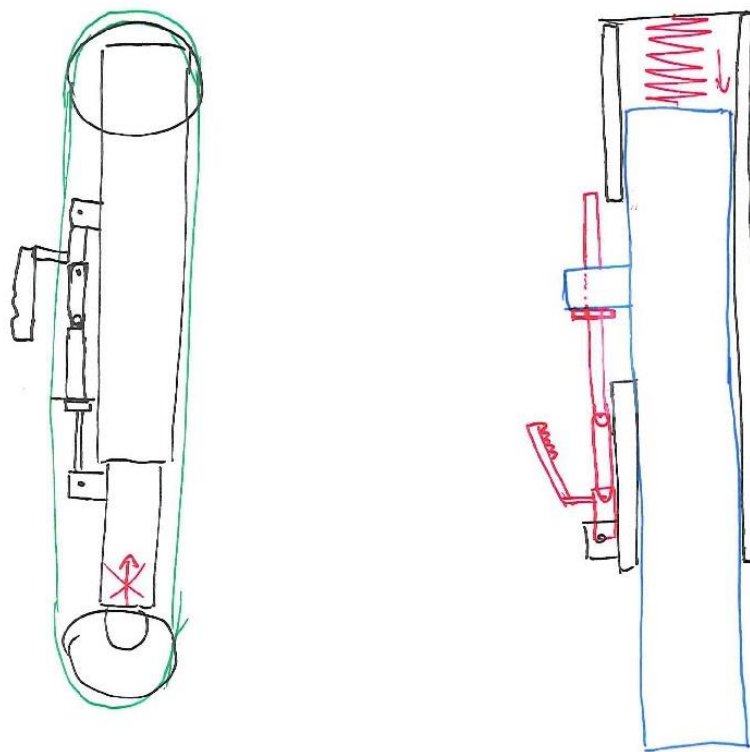
Pro řešení uzlu č. 5, tj. nastavení míry a zafixování napnutí brusného pásu, lze použít napínací kolo uložené v náboji umožňující mu volný lineární pohyb, které se reguluje a pojistí ručně ovládanými napínáky. Stejné řešení lze nalézt i u traktorky používané ve firmě Streicher, kde je takto řešeno napnutí brusného pásu pomocí pohyblivého elektromotoru uloženého na bočním čepu.



Obr. 51 Ruční napínák na traktorce ve firmě Streicher – pohled z boku.



Obr. 52 Ruční napínák na traktorce ve firmě Streicher – pohled shora.

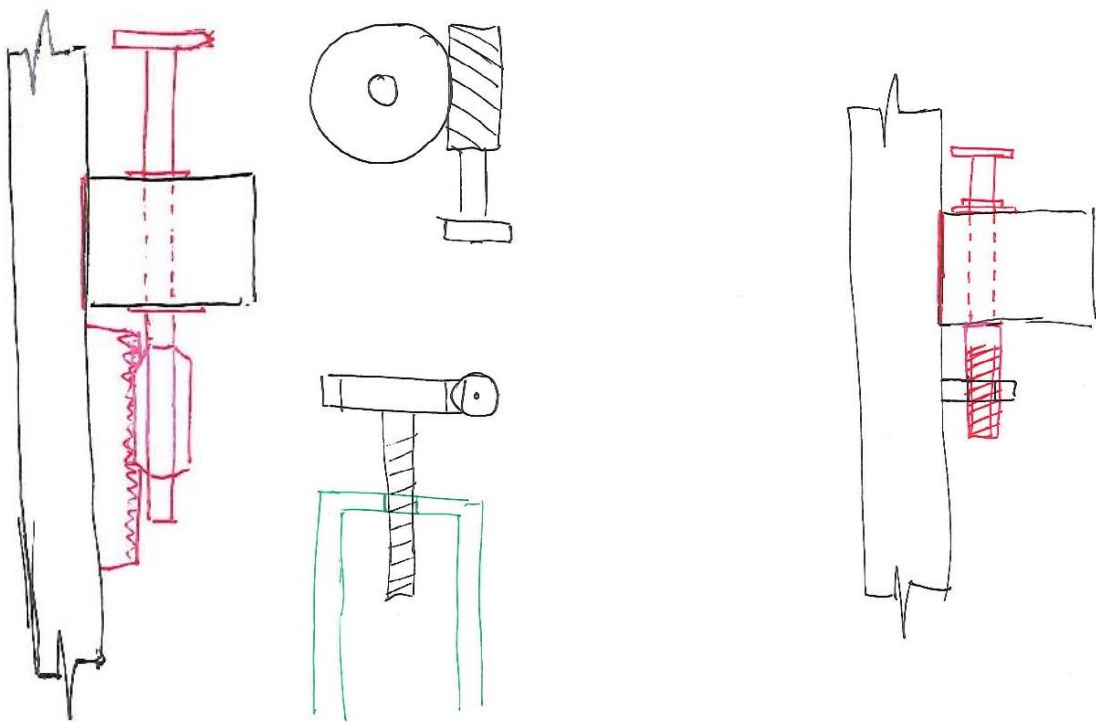


Obr. 53 Skice principu fungování napínáku a uložení posuvného členu.



Obr. 54 Kupované ruční napínáky od firmy Kipp.

Bylo také navrženo několik možných způsobů řešení uzlu č. 6, tj. ovládacího prvku pro nastavování hloubky úběru brusného kola. Tyto varianty počítají buď se šnekovým posuvem přes ozubnici (obrázek vlevo), nebo posuvem za pomoci šroubu se závitem s jemným stoupáním procházející závitovou dírou na konzole pevně spojenou s výsuvnou pohyblivou částí (obrázek vpravo).



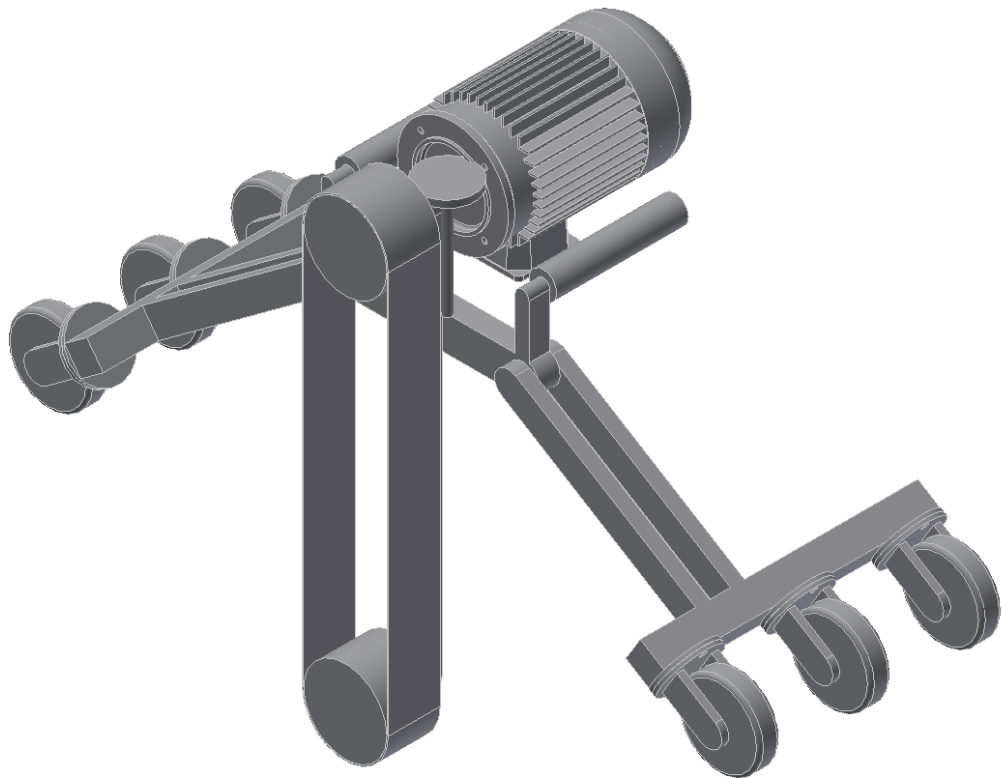
Obr. 55 Skici možných způsobů řízení posuvu brusného kola.

Nakonec však bylo od další práce na tomto konceptu upuštěno, kvůli jeho komplikovanosti a složitosti spínatelných kol.

Detailní řešení jednotlivých uzlů vypracovaných pro tuto variantu však může být a bude použito i v dalších verzích a nejedná se tak o ztracený čas ve slepé vývojové větvi.

6.6 Návrh koncepce A6

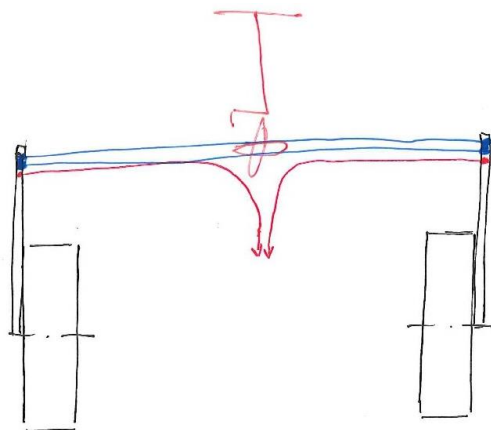
Koncepce A6 přímo vychází z předchozí varianty A5, pouze jiným způsobem řeší problematický pohyb v axiálním směru. Namísto komplikovaného a křehkého řešení s vysouvajícími kolečky by mělo být všech 6 hlavních pojezdových otočných, aby umožňovaly stroji šikmý pohyb do strany uvnitř pláště.



Obr. 56 3D model rozvinuté koncepce A6.

Toto řešení je konstrukčně mnohem jednodušší a bytelnější než výsuvná kolečka z předchozí varianty, všechna kola jsou uložena za sebou na jednom nosníku, který je pevně spojen s nastavitelným ramenem regulující broušený průměr.

V případě potřeby řízení kol byla vypracována i stručná skica možnosti, jak řídit osově uchycená otočná kolečka.



Obr. 57 Skice možného způsobu řízení otočných koleček.

Pro ověření fungování konceptu s rotačními koly s osou v jejich středu byl proveden pokus na dřevěné maketě, kterým bylo zjištěno, že takto uložená kolečka nejsou schopná flexibilně měnit úhel natočení a při změně pohybu, v případě natočení kolečka kolmo k tomuto směru, pouze poskakují a neprotočí se. Byl zkonstruován i pomocný řídicí systém znázorněný na předchozí skice, ale ani ten nedokázal vyřešit správné natáčení kol do směru pohybu.



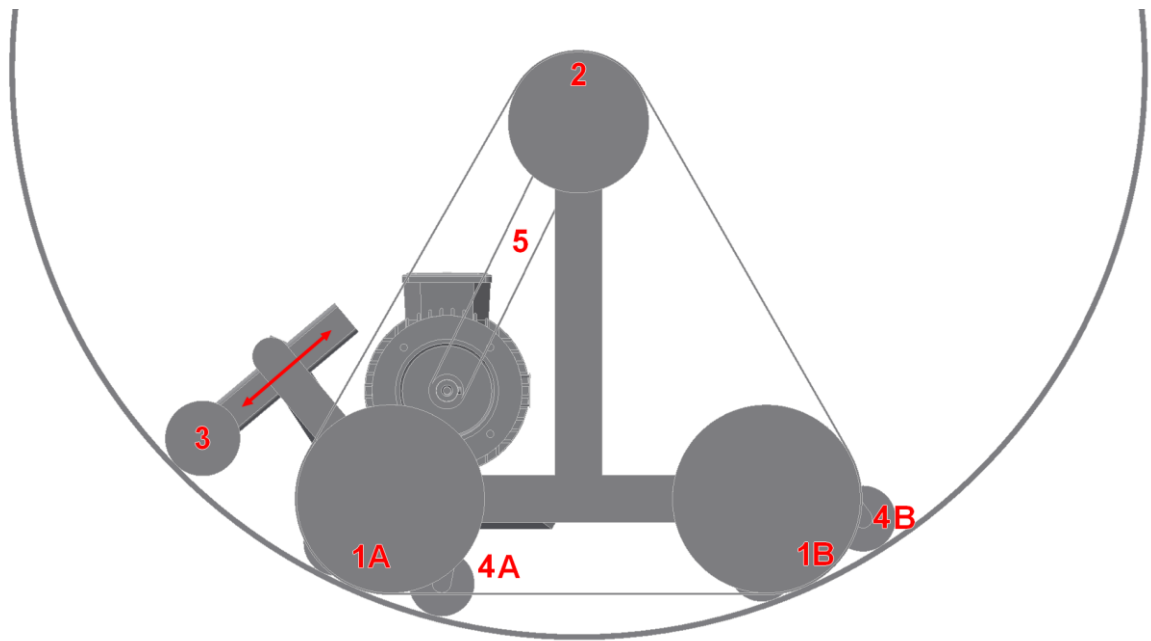
Obr. 58 Dřevěný rám používaný pro různé reálné simulace a dva typy koleček.

Pro zmíněné problémy bylo nakonec také toto řešení zamítnuto a vývojová větev byla v tomto směru ukončena.

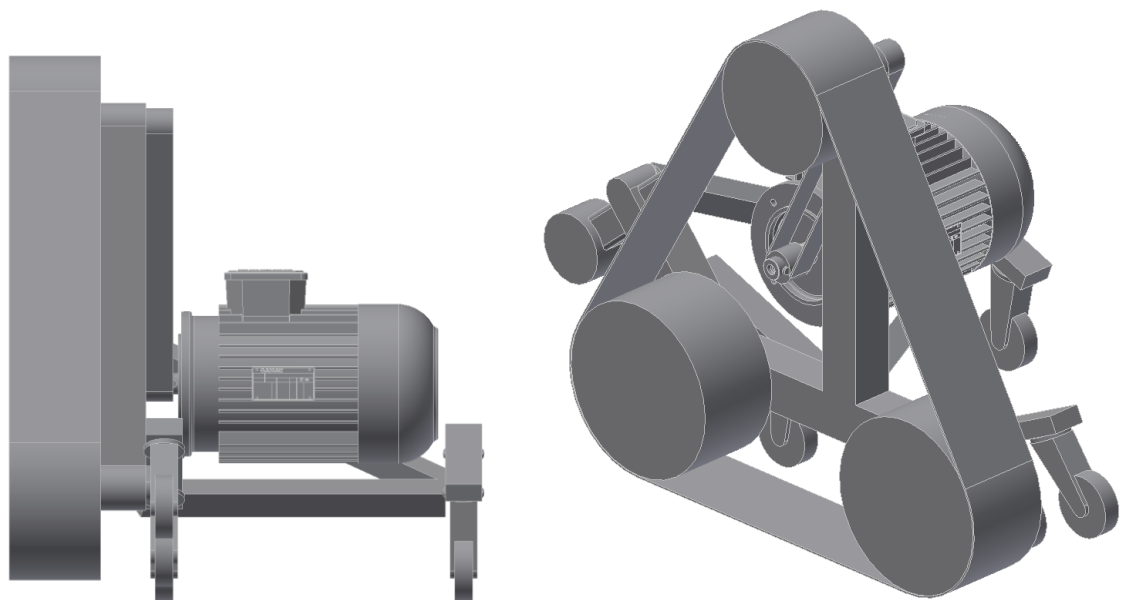
6.7 Návrh koncepce A7

Koncepce A7 používá v reakci na zjištěné problémy s kolečky otočnými přímo podél jejich osy k pohybu v axiálním směru klasická otáčecí kolečka, jejichž funkčnost byla úspěšně ověřena na dříve zmíněné dřevěné maketě (na snímku jsou vidět položené vpravo od dřevěné části).

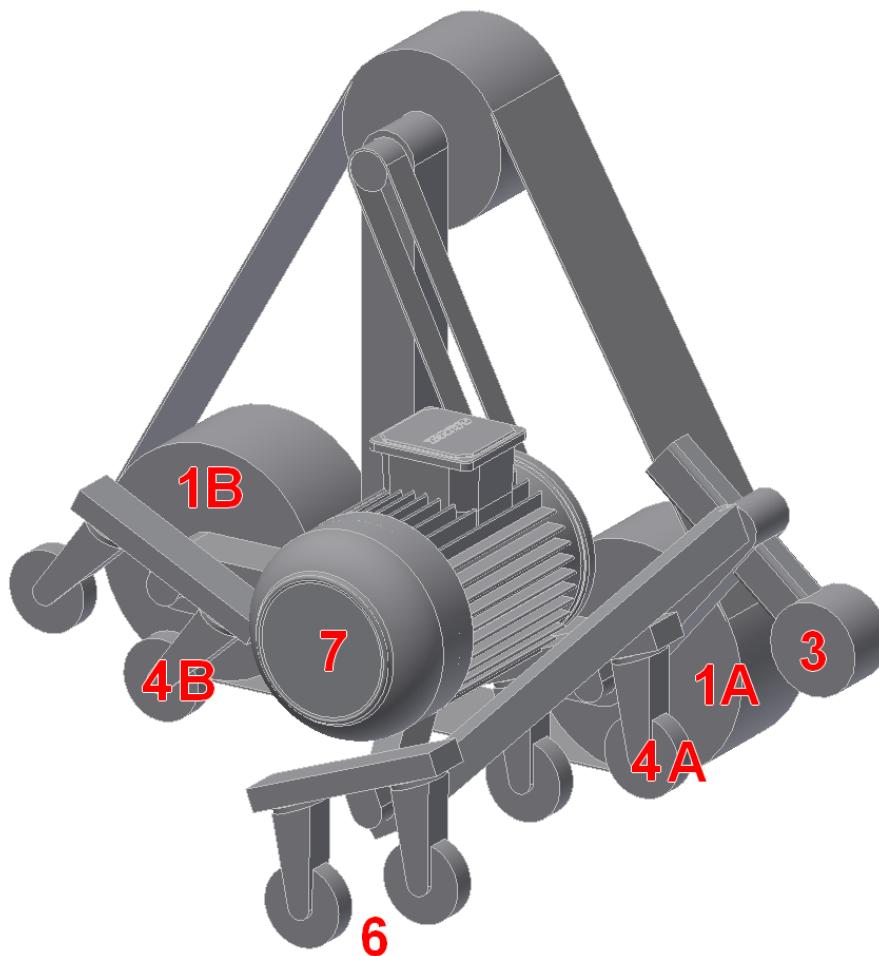
Dále se snaží řešit snížení těžiště stroje značně ovlivněné hmotností elektromotoru tím, že ten je umístěn blíže k broušenému povrchu.



Obr. 59 3D model rozvinuté koncepce A7.



Obr. 60 3D model rozvinuté koncepce A7.



Obr. 61 3D model rozvinuté koncepce A7.

Popis jednotlivých částí stroje:

1. Brusná kola (kola, přes která přechází brousící pás a je v kontaktu s broušeným povrchem)
2. Hnací kolo
3. Vymezovací kolo – jeho vysunutím regulujeme požadovaný broušený průměr
4. Podpůrná kolečka spojená v rotačně uloženém dvojdomku, po dvojici jsou stavitelná, abych mohl regulovat zda, případně o kolik můžu podbrousit (nebo je zvednu tolik, že dané brusné kolo vůbec nebude v záběru).
5. Klínový řemen
6. Opěrná kolečka - stejný dvojdomek jako poz. 4, pouze bez výškového stavění, vyjetí koleček odpovídá poloměru brusného kola poz. 1A
7. Elektromotor 4 kW

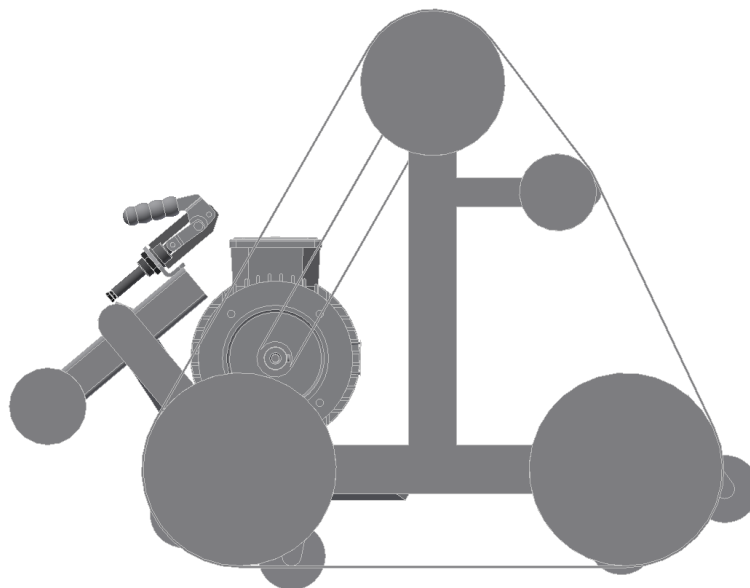
Podrobnější popis možností:

1. Broušení přesně definovaného průměru a případné zlepšování geometrie.
 - Vymezující kolečko 3 se nastaví vyjetím do požadovaného průměru válce.
 - Podpůrná kolečka na dvojdomku 4A se nastaví tak, aby vůbec nebyla v kontaktu s pláštěm („vypnou se“).
 - Podpůrná kolečka na dvojdomku 4B se nastaví tak, aby byla v kontaktu s pláštěm. Může být současně v kontaktu i dané brusné kolo 1B, ale při větším úběru to není doporučeno, kvůli mnohem většímu zahřívání brusného pásu, v takovém případě se s podpůrnými kolečky na dvojdomku povyjede ještě o delší vzdálenost, aby brusné kolo v kontaktu s pláštěm nebylo.
 - V současné chvíli leží bruska na 3 bodech: Vymezovací kolo 3, podpůrná kolečka na domku 4A (bráno jako jeden styk) a opěrná kolečka na dvojdomku 6 (bráno jako jeden styk). Tímto způsobem je jasně vymezený požadovaný průměr a všechna místa, kde bude „kopec“ (zmenšení průměru válce) budou odebírána brusným kolem 1A.
2. broušení bez definovaného průměru.
 - Vymezovací kolečko 3 se nastaví tak (zajede), aby nebylo v kontaktu s pláštěm („vypne se“).
 - Podpůrná kolečka na dvojdomku 4A a 4B se nastaví tak, aby byla téměř v kontaktu s pláštěm, jejich zasunutím se určuje míra možného podbroušení brusnými koly 1A a 1B.
 - V současné době bruska leží na 3 bodech: brusném kole 1A (proti podbroušení jištěno kolečky 4A), brusném kole 1B (proti podbroušení jištěno kolečky 4B) a opěrných kolečkách 6. Brousí všechen dotyk až do míry nastavené podpůrnými kolečky.
3. Leštění
 - Vypnou se oba dvojdomky s podpůrnými kolečky 4 i vymezovací kolečko 3.
 - Bruska leží na 3 bodech: Brusném kole 1A, brusném kole 1B a opěrných kolečkách 6 a brousí všechen dotyk bez jištění proti podbroušení (u leštění je tato možnost důležitá).

Napínání pásu:

U napínání pásu je několik možností, jak této skutečnosti dosáhnout. Jeho povolování a napínání je důležité z hlediska výměny nebo různé tvrdosti odezvy při broušení (volnější pás lépe roznáší prudká zatížení).

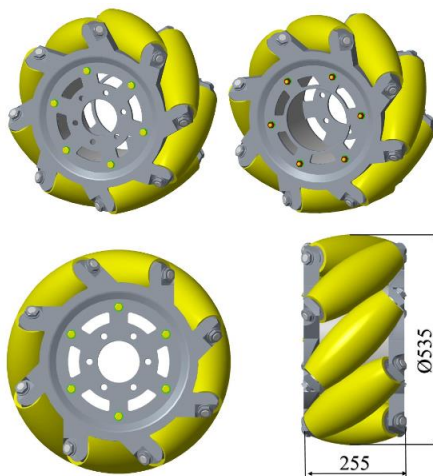
1. Posouváním (napínáním) jednoho z kontaktních kol pás
 - Spodní brusná kola posouvat nejde, protože by se tím broušený průměr.
 - Horní hnané kolo by se muselo posouvat společně s elektromotorem kvůli zajištění fixní vzdálenosti od elektromotoru, ke kterému je připojeno klínovým řemenem.
2. Přidáním dalšího kola, které bude posuvné a bude plnit pouze úkol napínání pásu.
 - Další jednoúčelová část na stroji, což s sebou přináší zvýšení ceny a hmotnosti.
 - Konstrukčně nejjednodušší řešení.



Obr. 62 3D model rozvinuté koncepce A7 rozšířené o napínací kolečko.

Při pokusech s dřevěnou maketou bylo zjištěno, že více pevných koleček za sebou na jedné ose, která je rovnoběžná s axiální osou broušeného válce, způsobuje problémy s posouváním stroje a naopak aplikace otočných koleček s sebou přináší větší nároky na rozměry stroje a je značně komplikovaná.

Řešení bylo nalezeno v použití 360° koleček, která umožňují pohyb do libovolného směru.

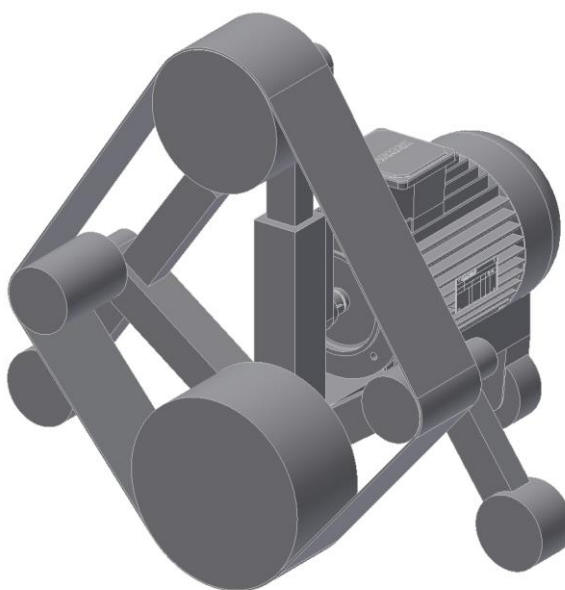


Obr. 63 360° komerčně nabízená kolečka.

Tato kolečka jsou však velice nákladná a navíc není 100% zajištěn jejich spolehlivý provoz i ve velmi prašném prostředí jakým je broušení v částečně uzavřeném prostoru, takže byla dále hledána možnost zajištění fungování celého stroje bez nich.

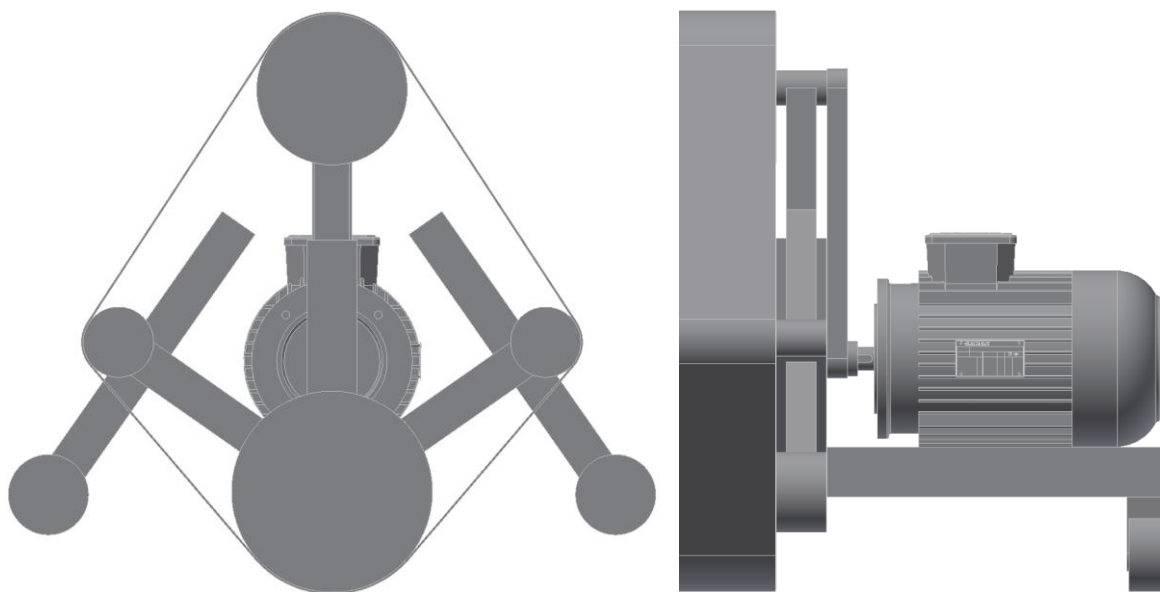
6.8 Návrh koncepce A8

Posledním vývojovým stupněm před zahájením konstrukčních prací na detailním modelování a rozkreslování stroje se stala koncepce A8, která ještě dále posunula předchozí varianty a využila nabitě now-how a zkušenosti z dosavadní práce.



Obr. 64 3D model rozvinuté koncepce A8.

Stejně jako u varianty A5 a pozdějších je princip stroje založen na bočních vodicích kolečkách, která jsou nastavitelná a definují požadovaný broušený průměr, v tomto případě se však nenastavují úhlově proti hlavnímu vertikálnímu nosníku s brusným a napínacím kolem, ale vysouvají se lineárně ve svém uložení.



Obr. 65 3D model rozvinuté koncepce A8 – nárys a bokorys.

Kolečka pro definování průměru jsou umístěná na symetrických ramenech s pevně definovaným úhlem od hlavního svislého nosníku. Brousící kolo je pouze jedno jako u raných variant a vždy, když je v broušeném válci „kopec“, zabírá a odebírá.

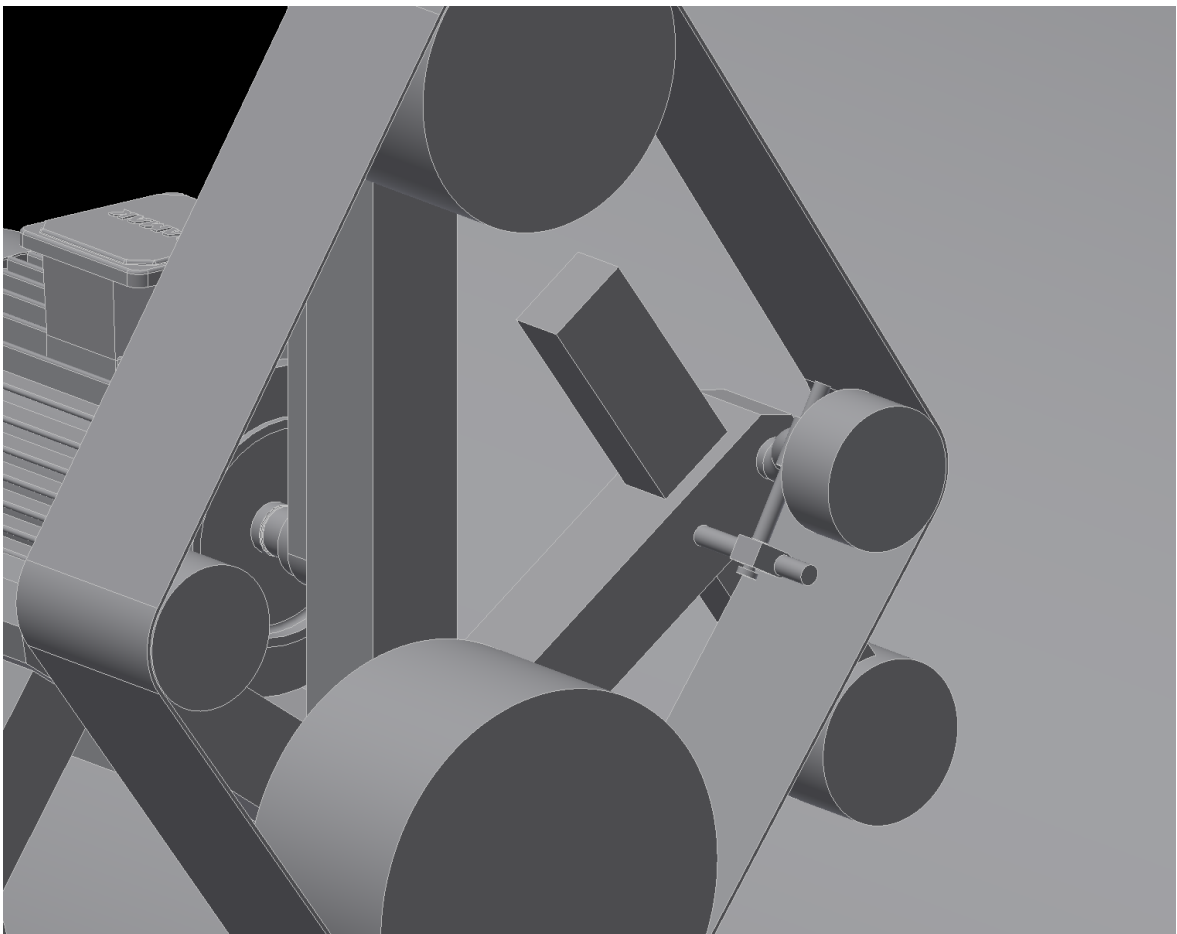
Pro lepší chlazení – prodloužení brusného pásu, nevede pás přímo mezi hnaným a brusným kolem, ale je na bocích veden přes přídavná kola, z nichž jedno je navíc stavitelné (pomocí excentrického uložení) a umožňuje tak napínání nebo naopak uvolnění (pro výměnu) pásu. Toto řešení v sobě kombinuje dříve navržené excentrické napínání a přitom nepřináší nutnost přidávat další jednoúčelové kolo do konstrukce.

Kvůli stabilitě ve válci je za brusným kolem umístěn nosník, na jehož konci je 3. opěrné kolečko. Nosník zároveň slouží jako opěra pro motor, který je díky tomu přesně v těžišti stroje. Toto řešení se ukázalo při pokusech na dřevěné maketě jako výborně funkční, protože nejen že zabraňuje překlopení brusky směrem, kde je umístěn těžký elektromotor, ale vzhledem k tomu, že je toto 3. opěrné kolo umístěno přesně uprostřed mezi dvěma bočními vodicími (tzn. přesně v ose za brusným kolem), zajišťuje ve válcové nádobě automaticky

srovnání stroje s jeho podélnou osou a tím je zajištěno správné pohybování stroje ve válci (nedochází k otáčení stroje uvnitř válce).

S danými rozměry umožňuje bruska aplikaci ve válcích o průměrech od 800 až do nekonečna, což se může použít pro broušení rovného plechu, takže na splnění vstupních požadavků stačí jedna velikost a není třeba stavět celou řadu strojů jako u některých předchozích variant.

Napínání brusného pásu:



Obr. 66 Excentrické napínací zařízení na jednom z bočních kol.

Excentrické napínací zařízení by bylo umístěno pouze na jedné straně na bočním kole. Samotné napínání pásu by bylo prováděno utahováním neb povolováním šroubu, který prochází vyosenou částí osy kola.

7 ZHODNOCENÍ VYHODNOCENÉHO KONCEPTU

Nejlepší rozvinutou koncepcí technologie broušení byla nepřekvapivě zvolena koncepce A8 s nastavitelnými výsuvnými distančními kolečky a brusným pásem, jakožto evolučně nejvíce doladěná možnost vycházející z postupně vylepšovaného konceptu A4. Hlavními benefity verze A8 oproti předchozím je definování broušeného průměru pomocí lineárně výsuvných nohou, které svírají pevně určený úhel, který by bylo u předchozích variant nutno určovat a měnit, což je oproti přímočarému řízení mnohem složitější řešení.

Další výhodou je snadná možnost napínání pásu pomocí excentru. Tato činnost však byla nakonec při návrhu konstrukce ještě zjednodušena (viz dále) a tím excentrické regulování odpadlo zcela.

Elektromotor umístění v trojúhelníkovém uložení mezi opěrnými koly je další z velkých výhod varianty A8, protože jsou tím na minimum sníženy problémy spojené s jeho velkou hmotností.

Výhody (shrnutí):

- Lehký a skladný stroj.
- Řešení použitelné pro veliký rozsah průměrů.
- Jednoduché řízení změny broušeného průměru pomocí výsuvných nohou.
- Těžiště stroje přímo ležící v jeho svislé rovině (díky umístění elektromotoru).
- Snadné napínání brusného pásu.

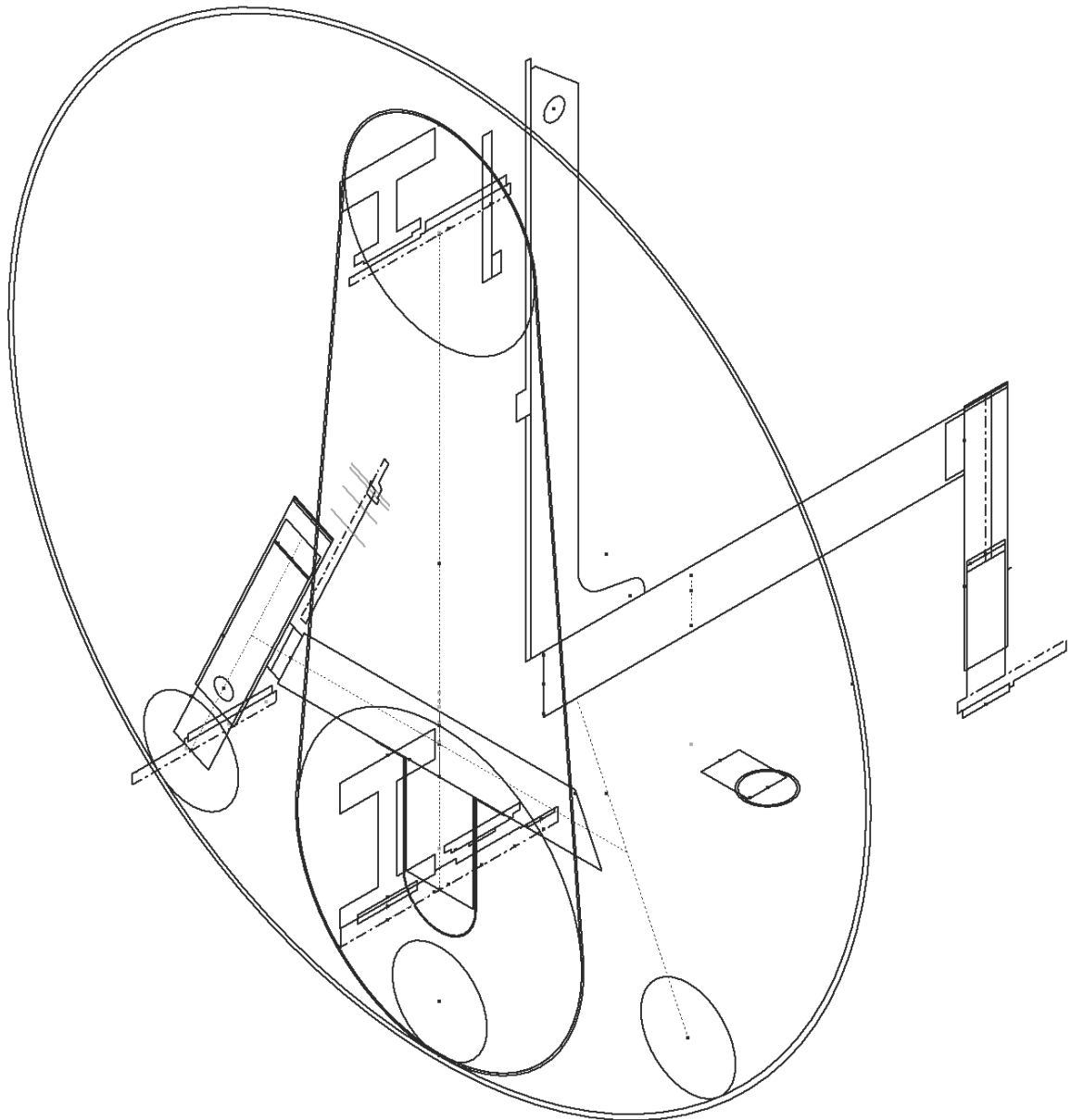
Nevýhody:

- Ruční ovládání.
- Nemožnost dosáhnout požadované geometrické přesnosti na jedno projetí - vyžadováno několik obkroužení, než bruska detekuje a odstraní všechny nerovnosti.
- Vyšší časová náročnost spojená s ručním ovládáním a nutností několikanásobného projetí.

Na poradě ve firmě Streicher bylo rozhodnuto, že daný koncept skutečně splňuje požadované vstupní parametry, i když oproti původnímu zadání značně odlehčené, zejména v oblasti neustálé lidské obsluhy, což ale bylo vzhledem k cenovým omezením akceptováno, a proto bylo započato s pracemi na výrobním 3D modelu a posléze výkresové dokumentaci.

7.1 Založení konstrukčního 3D modelu

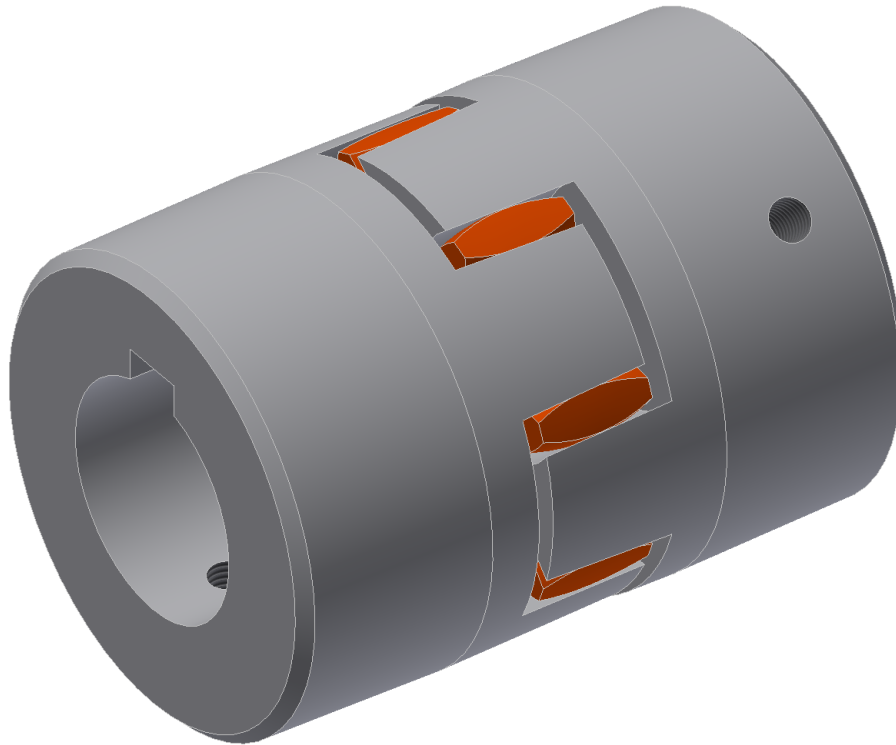
Pro začátek tvorby modelu bylo potřeba určit základní roviny a orientaci budoucího stroje a založit prvotní řídicí náčrty.



Obr. 67 Kostra náčrtů výrobního 3D modelu.

Přesný postup modelování v CAD programu není přímo předmětem této diplomové práce a proto, ačkoliv se samozřejmě jedná o velice důležitou část schopností a znalostí konstruktéra v praxi, jsou operace popisovány stručně a mnohem rychleji, než šly ve skutečnosti za sebou. Také jsou vynechány mnohé drobné slepé odbočky a řešení, které nastávaly při tvorbě detailního výrobního modelu.

Kromě vlastních vyráběných dílů byly také zajištěny 3D modely nakupovaných komponent. Buď byly zaslány na poptání přímo výrobcem, nebo musely být vytvořeny orientačně ručně, aby se s nimi posléze dalo pracovat v sestavách.



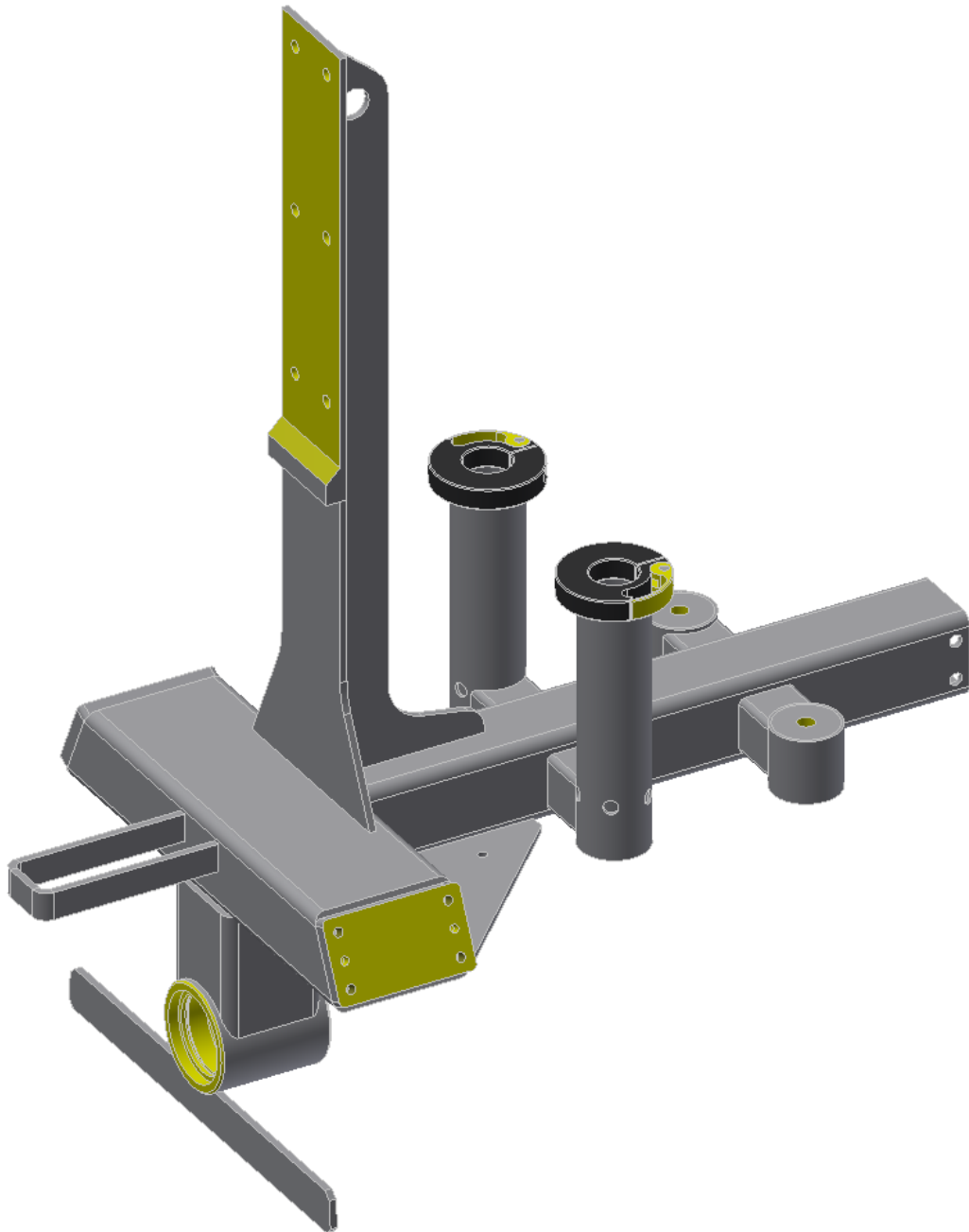
Obr. 70 Stažený díl pružné spojky ROTEX od firmy KTR.

7.3 Tvorba svařencových podsestav

Po vytvoření jednotlivých dílů, které mohou být navrženy buď jako vypálené plechy (naohýbané i rovné), normalizované zakrácené profily nebo nakupované díly, bylo přikročeno k tvorbě základních sestav svařenců, tzn. sestav, které již jsou jako celky použity v hlavní ostrojené a plně vybavené sestavě kompletního stroje.

Tyto sestavy již obsahují kromě modelu i výkresovou dokumentaci, která je tvořena svařovacím a opracovávacím výkresem. U jednodušších celků, jaké jsou použity u brusného stroje, jsou tyto výkresy sloučeny do jednoho.

Výkresová dokumentace může být samozřejmě i u samostatných dílů, které nejsou tvořeny jako sestava, typickým příkladem je například propracovaná hřídel.

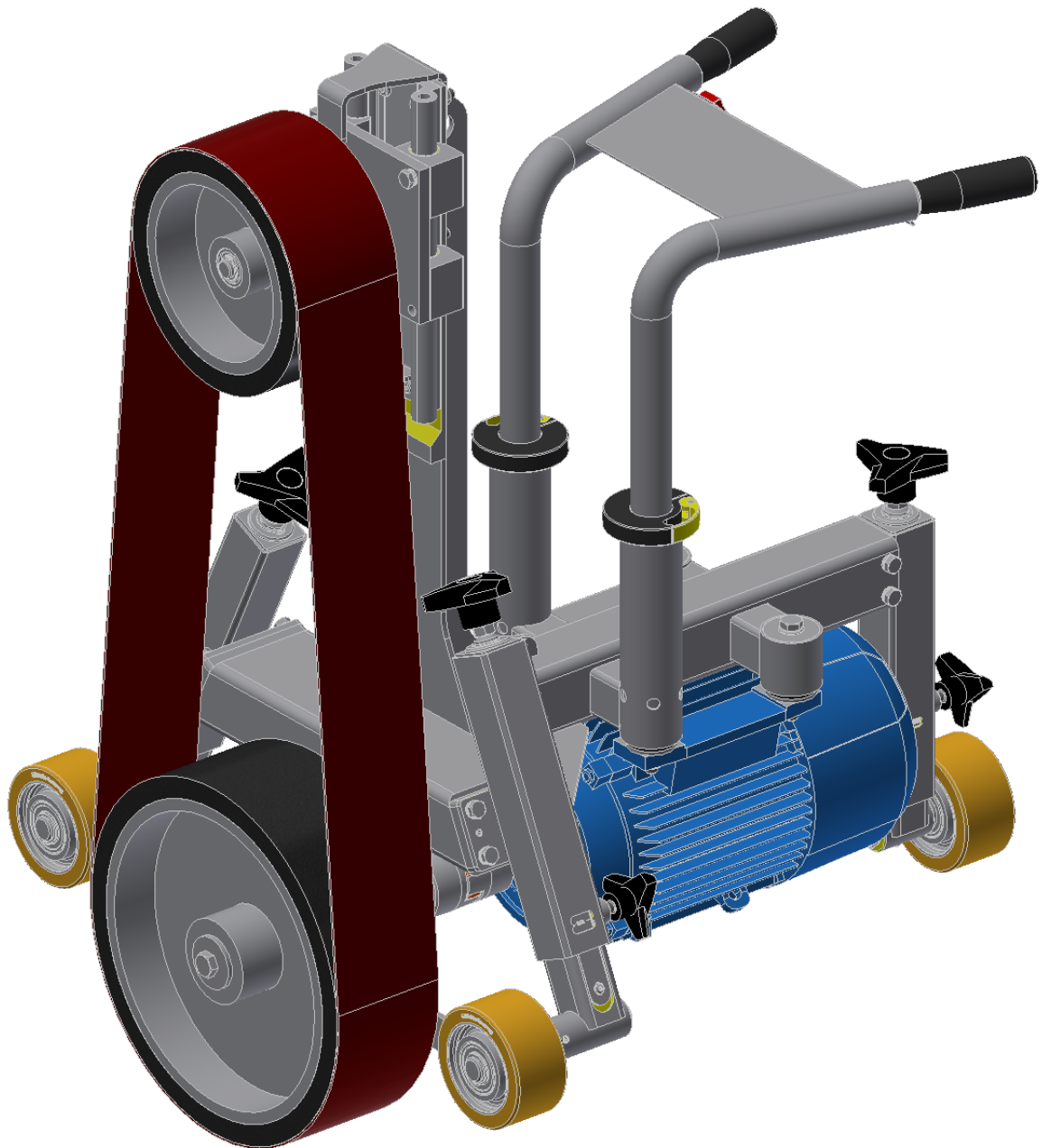


Obr. 71 Sestava opracovaného svařence hlavního rámu brusného stroje.

Jako příklad je uveden model sestavy hlavního rámu brusného stroje, který, jak je vidět, je složen z normalizovaných nařezaných obdélníkových profilů, kulatin a trubek, nakupovaných dílů (svírací kroužky pro madla) a rovných a ohýbaných plechů. Celá sestava je pak opracovaná, což značí žlutě vybarvené dosedací plochy.

7.4 Hlavní sestava

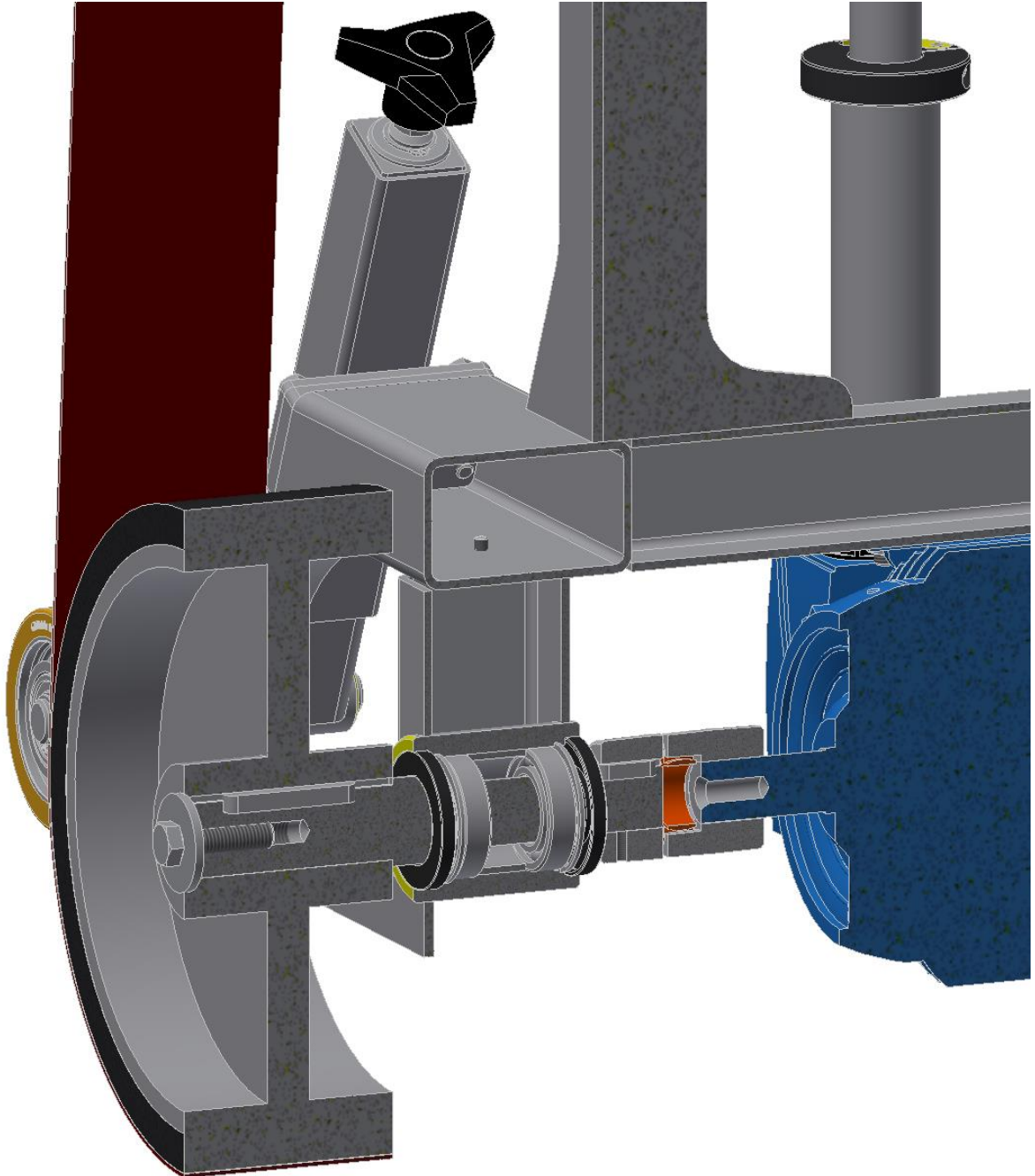
Vrcholem práce je sloučení všech dosavadních dílů a sestav do jedné finální sestavy, která v sobě zahrnuje všechny podsestavy (svažence), jednotlivé díly (hřídele), nakupované díly (lineární vodící kolejnice) i spojovací materiál (šrouby, matice).



Obr. 72 Kompletní ostrojená sestava brusného stroje.

Jak je z modelu vidět, od výherní varianty A8 bylo na konstrukci stroje provedeno ještě mnoho větších či drobnějších úprav. Důležitou změnou je přehození funkcí kol, kdy nově je hnané kolo umístěno dole a horní slouží jako napínací. Rozpohybování hnaného brusné-

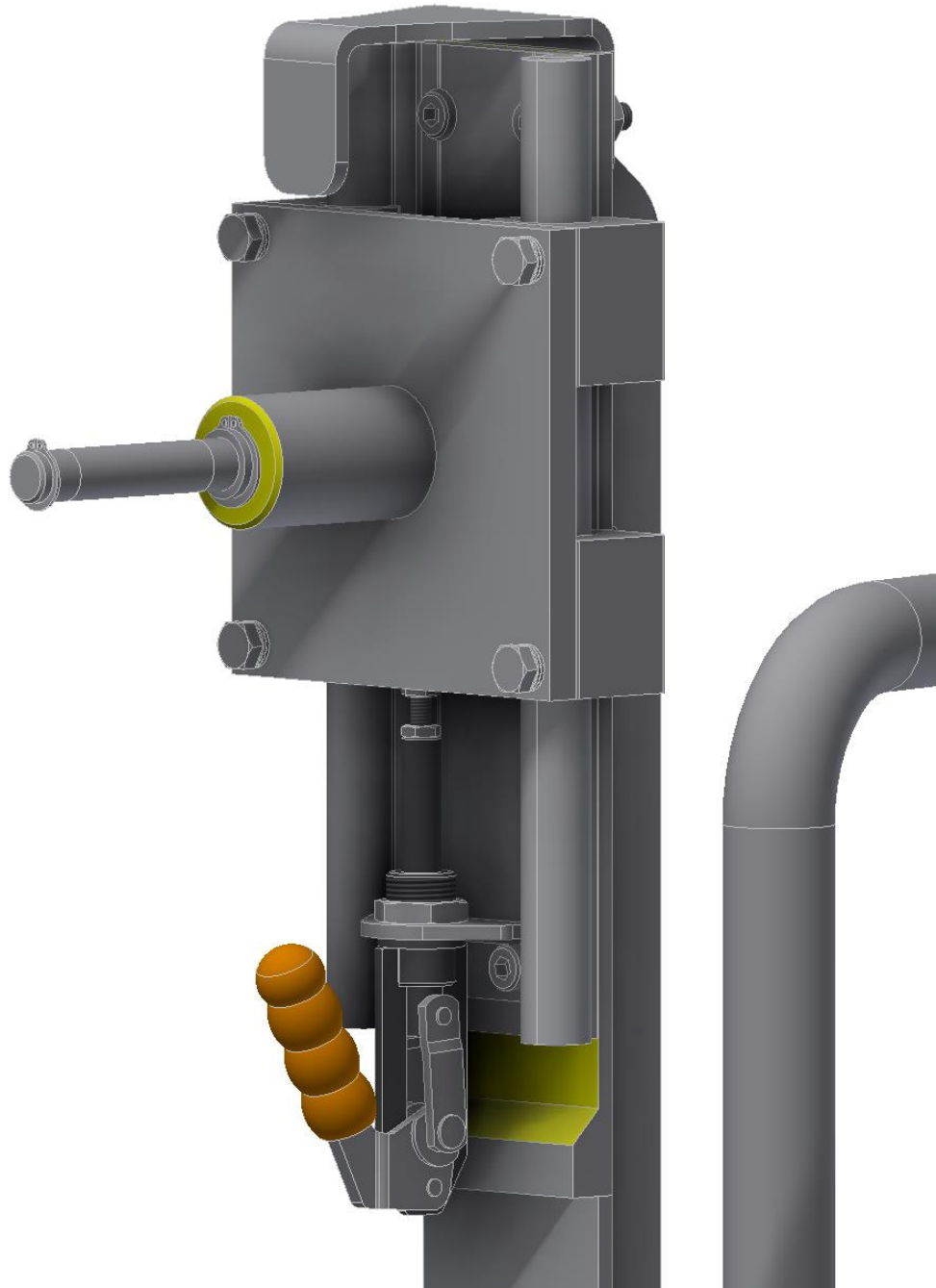
ho kola je řešeno přímo v ose elektromotoru (přes pružnou spojku), což velice usnadnilo a zpevnilo konstrukci, protože tím odpadá nutnost použití převodového řemenu a dvojitého uložení hřídelí (na motoru a na hnaném kole).



Obr. 73 Hlavní hřídel, hnané kolo, spojka a elektromotor.

Hřídel je uložena na dvou kuličkových ložiskách SKF, z každé strany jsou těsnící Gufera, protože se stroj bude pohybovat ve velmi prašném prostředí. Pružná spojka ROTEX od KTR byla vybrána jako jistota, protože vzhledem k pružnému uložení motoru na silentblo-kách nebude 100% zajištěna dokonalá sousost hřídele kola a elektromotoru.

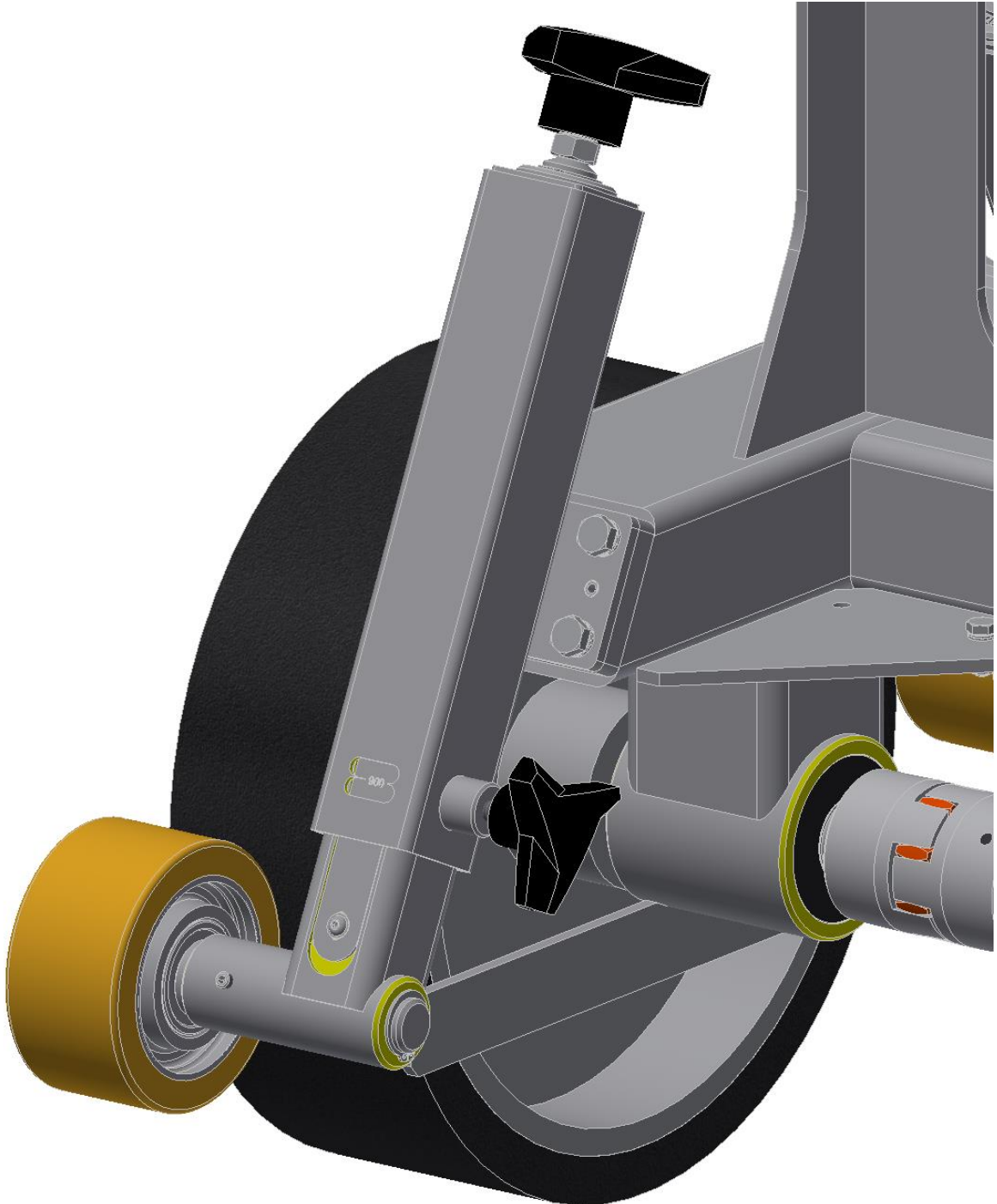
Pomocí koupeného lineárního vedení od firmy Igus bylo vyřešeno uložení horního napínacího kola, které po něm může jezdit nahoru a dolů. Pro napnutí a případné posunutí či povolání slouží koupený ruční excentrický napínák Kipp.



Obr. 74 Detail uložení horního napínacího kola.

Celá sestava je tvořena vypáleným plechem, na který je navařena a posléze opracována kulatina s pevným uložením osy napínacího kola, která je přišroubována na 4 pojezdové vozíky Igus, které jezdí po kolejnici. Kolejnice je následně umístěna na opracovanou plochu svislého nosníku rámu a šroubovým spojem s ním spojena.

Důležitým konstrukčním uzlem bylo stavění a fixování zadní a bočních výsuvných nohou. To je nakonec řešeno pomocí dvou čtvercových profilů zajíždějících do sebe, které se vysouvají pomocí závitové tyče s jemným stoupáním, uložené ve vyrobeném pouzdru.



Obr. 75 Výsuvná noha řešená dvěma profily zajíždějícími do sebe.

Noha je navíc opatřena stupnicí, ze které se skrz otvor v jejím pouzdře odečítá hodnota průměru, na který je vysunuta. Ve spodní části pouzdra je dotahovací kolečko od firmy Eles-Ganter, které po dotažení řeší nepřesnosti profilů a zamezuje pohybům.

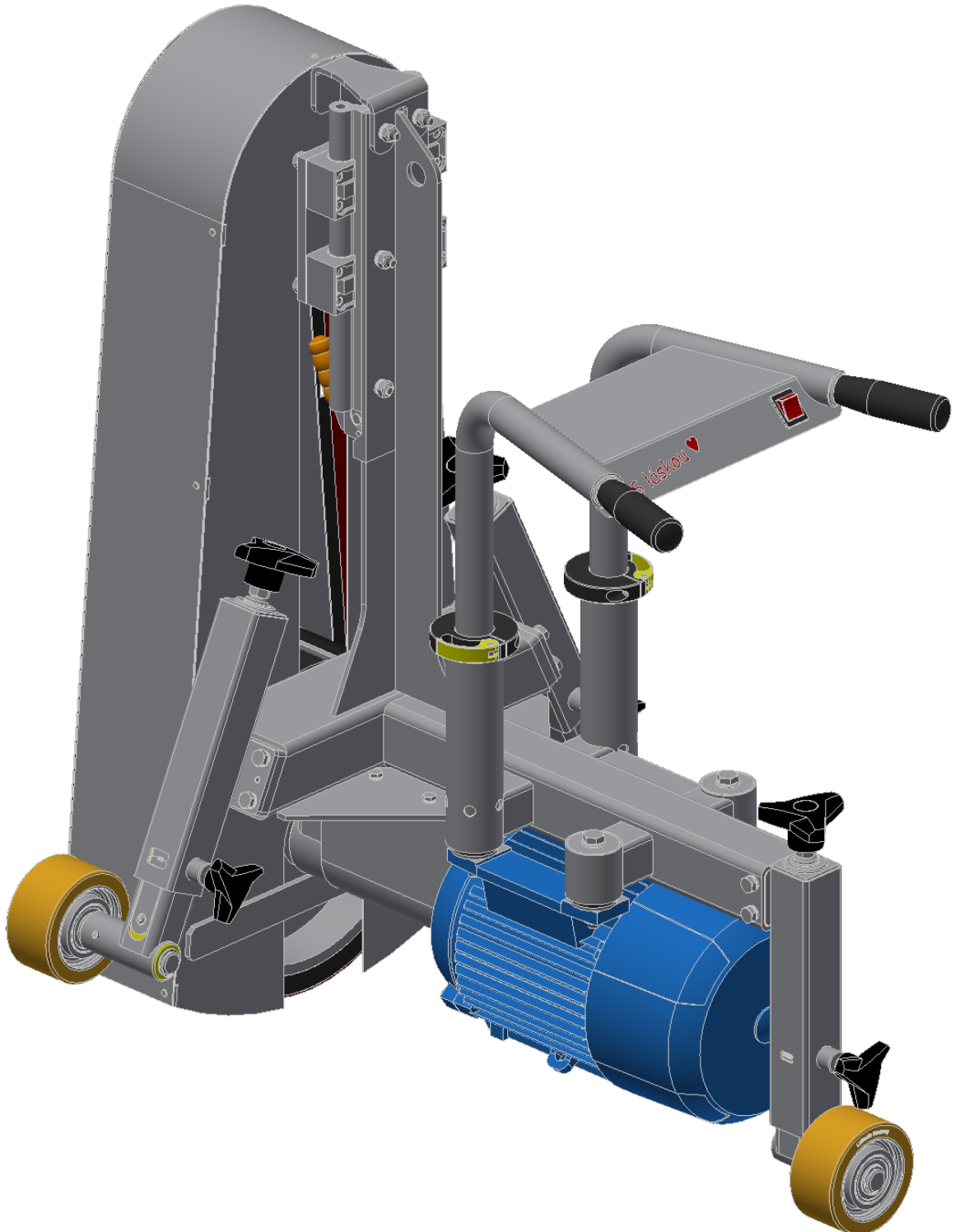
Pro vyšší bezpečnost je stroj samozřejmě opatřen krytem pohyblivých částí: obou kol vodicích brusný pás, samotného brusného pásu i hřídele a spojky u motoru. Kryt pásu a kol je tvořen ze dvou dílů, z nichž jedna je pevně několika šrouby spojena s rámem a druhá, čelní strana, se do této pouze nasouvá a pojišťuje jedním křídlovým šroubem, aby bylo zajištěno její pohodlné sundávání kvůli častější výměně brusného pásu.



Obr. 76 Sestava brusného stroje s ochrannými kryty – přední pohled.

Madla jsou výškově stavitelná, aby byla pro jakýkoliv průměr broušeného válce pohodlná pro obsluhu.

Zapínání a vypínání stroje je vyvedeno k madlům na spojovací plech mezi nimi. Na snímcích je dále patrné uložení elektromotoru Siemens do zakrytovaných gumových silentbloků, které eliminují přenášení vibrací od motoru na celý stroj.



Obr. 77 Sestava brusného stroje s ochrannými kryty – zadní pohled.

8 OVĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ ZVOLENÉ KONSTRUKCE

Pro ověření a vyhodnocení zvolené konstrukce jsou v teoretické rovině jen značně omezené možnosti.

Hodně problematických míst a teoretických, od stolu nerozhodnutelných otázek, bylo vyřešeno za pomoci dřevěné makety (přiložena v diplomové práci na snímku v jedné ze svých podob), která byla v průběhu času neustále předělávána, reagovala na nově navržené koncepty a díky ní se dále verze upravovaly, vylepšovaly nebo naopak zamítaly.

Tímto způsobem bylo odzkoušeno spolehlivě funkční rozmístění a uspořádání koleček (například bylo zjištěno, že více koleček na jedné ose rovnoběžné s osou broušeného válce neumožní stroji pohybovat se v axiálním směru ani při snaze kolébkovitých pohybů do stran) a také možnost strojem i při jeho rozměrech manipulovat ve válci.

Co pomocí dřevěné makety nasimulováno a odzkoušeno nebylo, je míra vlivu různě zabírajícího brusného kola. Tato otázka však byla z velké části zodpovězena na jiném stroji používaném ve firmě Streicher, kde k problémům spojeným s tímto jevem vůbec nedochází, což zabezpečuje bezproblémové fungování i u této brusky. Při navrhování koncepcí a posléze i výrobního řešení byla vůbec velikou výhodou možnost seznámit se s podobnými, i když pouze rovinnými bruskami, přímo v reálném prostředí a moci si je osahat a detailně prozkoumat.

Pro definitivní potvrzení fungování stroje je však nezbytně třeba vyrobit podle vypracované výkresové dokumentace prototyp, na kterém bude vše vyzkoušeno při reálné aplikaci v provozu. Na základě výstupů z tohoto použití bude přistoupeno k dalším úpravám a vylepšením na stroji.

8.1 Splnění stanovených parametrů

Shrnutí splnění parametrů definovaných na začátku vývojových prací a případné vysvětlení jejich nesplnění:

- Určení cenového stropu pro technický systém - cca 3-5 mil. Kč – Splněno.
- ~~- Možnost proměření broušeného tvaru (dotykově, nebo bezdotykově), definice ideální osy a nastavení stroje, aby znal svoji polohu vůči této ose. - při použití navrženého stroje není třeba ideální osu zjišťovat.~~
- Minimalizace půdorysných (ale i ostatních) rozměrů stroje – splněno.

- Jiné brousící tvary komor než válcové – splněno.
- Geometrická přesnost ± 2 mm na průměru 1 m – splněno.
- ~~Schopnost brousit i vývody bez poškození pláště~~ – vzhledem k ručnímu ovládání není nesplnění tohoto požadavku velkým problémem.
- Rozsah průměrů 800 - 3000, délka 4 - 10 m – splněno.
- Modularita průměrů i délky – splněno.
- Schopnost brousit i neprůchozí válce – splněno.
- Doba instalace max. 1 den – splněno.
- ~~Odsávání prachu od broušení a ofukování měřicích prvků~~ – odsávací hadice by v důsledku přinesla více obtíží než užitku, nepraktický pro obsluhu je už pouhý elektrický kabel.
- Omezení kontaminace broušeného povrchu – preferováno suché broušení – splněno.
- Při použití brusného kotouče je třeba ho vyvážit a přerovnat – splněno.
- ~~Definovat rychlost broušení (za jak dlouho se obrousí celý obvod)~~ – záleží na jednotlivých konkrétních broušených válcích, všeobecně ale nedojde k výraznému urychlení procesu, k výraznému zlepšení povrchu však ano.
- Aplikace správné přítláčné síly nástroje na broušený povrch – splněno.
- Zajištění maximální možné použitelnosti nástroje (brusného pásu) bez nutnosti výměny (automatizované, ruční) – splněno (regulace otáček elektromotoru).
- ~~Nástroj by měl vědět, že je v záběru a jak moc (jak je hluboko v materiálu, jaký na něj materiál klade odpor)~~ – při použití ruční brusky není potřeba tento parametr tolik řešit, lidská obsluha pružně reaguje.

ZÁVĚR

Zadáním bylo nspecifikovat a následně vytvořit konstrukci brusného stroje na úpravu ploch vakuových nádob, který by zlepšil stav broušených částí oproti současnosti.

Rámcové vstupní požadavky byly v průběhu navrhování koncepcí postupně upřesňovány a konkretizovány v reakcích na navrhované konstrukce.

Po rozsáhlé analýze možností a vypracování celé řady variant bylo nakonec upuštěno od původního požadavku zcela autonomního brusného stroje a bylo přistoupeno k navržení stroje ručního, který má přidanou hodnotou v podobě přesně nastavitelného broušeného průměru, který by zamezoval podbroušení opracovávané plochy a také zajistil zlepšení geometrických tolerancí opracovávaných ploch, zejména kruhovitosti.

Bylo vypracováno několik variant splňující tyto finální požadavky, z nichž nejlepší byla vybrána pro vyhotovení výrobního modelu a výkresové dokumentace.

V průběhu tvorby 3D modelu bylo dále řešeno nesčetně konstrukčních problémů a uzlů, které byly buď vyřešeny, nebo zcela eliminovány.

Pro finální odpověď na otázku, zda-li navržený stroj skutečně splňuje všechny na něj kladené požadavky, bude vyroben prototyp zařízení a bude otestován v reálné aplikaci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. E-konstruktor – rady, návody, výpočty [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<https://e-konstrukter.cz/>
2. Společnost zaměřená na brusivo a brusné stroje [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<http://www.abrasiv.cz/>
3. Roboty KUKA [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>
4. Ing. BARTOŇOVÁ, R., Technologie broušení, elektronická učebnice, VOŠ Kopřivnice, 2007
5. Německá společnost zabývající se roboty [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://inspectorsystems.de/>
6. Firma zpracovávající kovy [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://machineconcepts.com/>
7. Bc. KUDLÁČEK, M., Návrh suportu brusky, diplomová práce, VUT v Brně, 2012
8. Společnost CSF robotics [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<http://www.csfrobotics.com.au>
9. Australská společnost zabývající se roboty [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<https://prpl.com.au/>
10. Společnost Bogo zabývající se broušením [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://www.bugo.com/component/djcatalog2/items/40?Itemid=112>
11. Katalog brusiva firmy Norton [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<http://www.brusivo-nastroje.cz/katalogy/norton/komplet/files/assets/downloads/publication.pdf>
12. Stránky výrobce brusných materiálů VSM [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<https://de.vsmabrasives.com/de-en/kk712x/>
13. Německý výrobce brusných materiálů [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<https://de.vsmabrasives.com/>
14. Robotické brusné systémy [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<http://www.burch.ch/index.php/de/multimedia/galerie/category/8-behaelter-schleifen>
15. Robotické stroje [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<http://www.boki.cz/produkty/systemy-pro-navadeni-horaku/>

16. Laserové řezání a obráběcí stroje [online]. 2019. Dostupné z WWW:
https://www.vraagenaanbod.nl/nieuws/id9537-Valk_Welding_toont_lasersensor_voor_lasnaadvolgen_op_Vakbeurs_Vision,_Robotics_en_Mechatronics.html
17. Stránky o programování a automatizaci [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>
18. Měřicí technika [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://www.ajptech.cz/>
19. Měřicí senzory [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<http://www.elektroprumysl.cz/automatizace/extremne-presne-senzory-mereni-vzdalenosti>
20. Kolečka všeho druhu [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://www.blickle.cz/>
21. Pojezdová kolečka [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://simplelift.cz/kategorie-produktu/nahradni-dily/kolecka/kolecka-paletove-voziky/page/2/>
22. Pojezdová kolečka [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://www.navratilsro.cz/>
23. Ozubené převody a posuvy [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<https://www.teatechnik.cz/typ/>
24. Šneky [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<http://eshop.ameco.cz/produkty/Standardne-dute-sneky-jednozavitove-prave>
25. Moderní konstrukční řešení CNC strojů [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<http://www.uh.cz/szegsm/files/sblizovani/pdf/mod-konstr-cnc.pdf>
26. Lineární vedení [online]. 2019. Dostupné z WWW:
<http://www.monorail.cz/9-monorail-mr-valeckove-vedeni.html>
27. Pogumovaná kontaktní kola pro brusky [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<https://www.agtzlin.cz/pogumovany-valec-se-sikmym-drazkovanim/>
28. Pogumovaná kontaktní kola pro brusky [online]. 2018. Dostupné z WWW:
<http://www.kvalitnidilna.cz/product/pasova-bruska-na-kov-rd-1800/prislusenstvi/kontakti-kolo-wr-200/73>
29. Pogumovaná kontaktní kola pro brusky [online]. 2018. Dostupné z WWW:

<https://www.pasovebrusky.com/variant/pasova-bruska-h01/----prislusenstvi-k-h01-50/kontaktni-kolo-drazkovane-h01/607/607/473>

30. Ruční rychloupínáky [online]. 2019. Dostupné z WWW:

<https://velkoobchod.conrad.cz/rychloupinak-bessey-stc-ihh25.k826474>

31. Ruční rychloupínáky [online]. 2019. Dostupné z WWW:

<https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ov1%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Rychloup%C3%ADna%C4%8De-pneumatick%C3%A9-rychloup%C3%ADna%C4%8De/Up%C3%ADna%C4%8D-s-posuvnou-ty%C4%8D%C3%AD-mini.html>

32. Zájmové stránky o robotice [online]. 2018. Dostupné z WWW:

<http://www.robotnik.cz/>

33. 360° kola [online]. 2019. Dostupné z WWW:

<https://www.robotsystem.cz/cs/vsesmerove-kolo/p-6/>

34. 360° kola [online]. 2019. Dostupné z WWW:

<https://robu.in/product/127mm-double-aluminium-omni-wheel-wbearing-rollers/>

35. 360° kola [online]. 2019. Dostupné z WWW:

<https://int.rsdelivers.com/product/interroll/2570/interroll-spindle-mounted-48mm-ball-transfer-unit/0408542>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Nástroje na ruční broušení.</i>	14
<i>Obr. 2 Broušení pásem, osa válce je rovnoběžná s osou pásu, pro malé průměry.</i>	15
<i>Obr. 3 Broušení pásem na větších průměrech, osa válce je kolmá na osu pásu.</i>	16
<i>Obr. 4 Volba brousícího stroje podle velikosti válce.</i>	17
<i>Obr. 5 Ukázka povrchu po broušení.</i>	17
<i>Obr. 6 Broušení pásem, stroj ve vertikální poloze (3D model a skutečný stroj).</i>	18
<i>Obr. 7 Ukázka stroje s odsáváním a řízením.</i>	19
<i>Obr. 8 Střechovitost u válce po svaření pláště.</i>	20
<i>Obr. 9 Volba brousícího stroje podle velikosti.</i>	21
<i>Obr. 10 Broušení s hlavou na teleskopickém rameni.</i>	21
<i>Obr. 11 Stroj na úkosování před svařením pláště.</i>	22
<i>Obr. 12 Broucí hlava (bez brusného pásu).</i>	22
<i>Obr. 13 Možnost broušení klenutého dna.</i>	23
<i>Obr. 14 Stroj s výsuvným ramenem v ose válce.</i>	23
<i>Obr. 15 Broušení rotující bombírované příruby.</i>	24
<i>Obr. 16 Klasické vnitřní broušení s rotací po vnějším plášti.</i>	24
<i>Obr. 17 Brusné roboty - celý skládací systém (měřicí, brousící, odsávací).</i>	25
<i>Obr. 18 Brousící modul pouze na odstraňování nečistot a koroze.</i>	25
<i>Obr. 19 Měřicí modul.</i>	26
<i>Obr. 20 Brusné roboty od průměru 80 mm do 200 mm.</i>	26
<i>Obr. 21 Brusný robot průměru 300 mm.</i>	27
<i>Obr. 22 Koncept částečně ručního broušení trubek.</i>	27
<i>Obr. 23 Opracovávání robotickým ramenem.</i>	28
<i>Obr. 24 Portálový robot.</i>	29
<i>Obr. 25 Robot s tlumenou leštící hlavou.</i>	29
<i>Obr. 26 Robot s tlumenou leštící hlavou.</i>	30
<i>Obr. 27 Řešení pojezdů (zde pro svařovací robot, použitelného ale i pro broušení).</i>	30
<i>Obr. 28 Řešení pojezdů (zde pro svařovací robot, použitelného ale i pro broušení).</i>	31
<i>Obr. 29 Možnost měření kamerou.</i>	31
<i>Obr. 30 Elektromechanické dotykové čidlo na měření.</i>	32
<i>Obr. 31 brousící stroj "motorka" používaný ve firmě Streicher.</i>	35
<i>Obr. 32 Protokol po měření válcové komory.</i>	36

<i>Obr. 33 Brusné nástroje.....</i>	39
<i>Obr. 34 Ukázka velkého brusného pásu.</i>	39
<i>Obr. 35 Skica koncepce A.</i>	43
<i>Obr. 36 Skica koncepce B.</i>	45
<i>Obr. 37 Skica koncepce C.....</i>	46
<i>Obr. 38 Skica rozvinuté koncepce A1.</i>	48
<i>Obr. 39 Základní 3D model rozvinuté koncepce A1.</i>	49
<i>Obr. 40 Skica rozvinuté koncepce A2.</i>	51
<i>Obr. 41 Skica rozvinuté koncepce A3.</i>	52
<i>Obr. 42 Skica rozvinuté koncepce A4.</i>	54
<i>Obr. 43 Půdorysné uspořádání rozvinuté koncepce A4.</i>	54
<i>Obr. 44 Koncepce A4 s rozpěrným rámem.</i>	55
<i>Obr. 45 3D model rozvinuté koncepce A4 – uspořádání 1.</i>	55
<i>Obr. 46 3D model rozvinuté koncepce A4 – uspořádání 2.</i>	56
<i>Obr. 47 3D model rozvinuté koncepce A4 – uspořádání 3.</i>	56
<i>Obr. 48 3D model rozvinuté koncepce A5.</i>	58
<i>Obr. 49 3D model v řezu rozvinuté koncepce A5.</i>	59
<i>Obr. 50 3D model rozvinuté koncepce A5.</i>	59
<i>Obr. 51 Ruční napínák na traktorce ve firmě Streicher – pohled z boku.</i>	60
<i>Obr. 52 Ruční napínák na traktorce ve firmě Streicher – pohled shora.</i>	60
<i>Obr. 53 Skice principu fungování napínáku a uložení posuvného členu.</i>	61
<i>Obr. 54 Kupované ruční napínáky od firmy Kipp.</i>	61
<i>Obr. 55 Skici možných způsobů řízení posuvu brusného kola.</i>	62
<i>Obr. 56 3D model rozvinuté koncepce A6.</i>	63
<i>Obr. 57 Skice možného způsobu řízení otočných koleček.</i>	63
<i>Obr. 58 Dřevěný rám používaný pro různé reálné simulace a dva typy koleček.</i>	64
<i>Obr. 59 3D model rozvinuté koncepce A7.</i>	65
<i>Obr. 60 3D model rozvinuté koncepce A7.</i>	65
<i>Obr. 61 3D model rozvinuté koncepce A7.</i>	66
<i>Obr. 62 3D model rozvinuté koncepce A7 rozšířené o napínací kolečko.</i>	68
<i>Obr. 63 360° komerčně nabízená kolečka.</i>	69
<i>Obr. 64 3D model rozvinuté koncepce A8.</i>	69
<i>Obr. 65 3D model rozvinuté koncepce A8 – nárys a bokorys.</i>	70

<i>Obr. 66 Excentrické napínací zařízení na jednom z bočních kol.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 67 Kostra náčrtů výrobního 3D modelu.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 68 Náčrt hnaného brusného kola, hřídele a její uložení v rámu.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 69 Model pouzdra uložení hlavní hřídele (zvýrazněny přesné plochy ložisek).....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 70 Stažený díl pružné spojky ROTEX od firmy KTR.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 71 Sestava opracovaného svařence hlavního rámu brusného stroje.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 72 Kompletní ostrojená sestava brusného stroje.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 73 Hlavní hřídel, hnané kolo, spojka a elektromotor.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 74 Detail uložení horního napínacího kola.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 75 Výsuvná noha řešená dvěma profily zajižďujícími do sebe.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 76 Sestava brusného stroje s ochrannými kryty – přední pohled.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 77 Sestava brusného stroje s ochrannými kryty – zadní pohled.....</i>	<i>82</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	92753	Brusný stroj – sestava, vizualizace
Příloha 2	92753 kusovník	Kusovník sestavy brusného stroje
Příloha 3	92753-01	Výkres rámu brusného stroje
Příloha 4	92753-01 kusovník	Kusovník rámu brusného stroje