

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí leštící aparatury pro doleštění kulovitých těles, která se nachází v laboratořích Ústavu konstruování VUT v Brně.

V první části bakalářské práce je uveden stručný přehled doposud zkonstruovaných leštících aparatur pro leštění kulovitých těles, včetně popsání jejich základního principu. V dalších bodech je pojednáno o leštění, ložiskových kuličkách, pohonech pro tato zařízení a struktuře povrchu.

Druhá část je věnována několika konstrukčním návrhům rekonstrukce leštící aparatury. Poslední část práce se zabývá výběrem optimální varianty, která nejvíce vyhovuje požadavkům na funkčnost, účinnost a výrobní nenáročnost.

KLÍČOVÁ SLOVA

Leštění, ložiskové kuličky, servomotor, drsnost povrchu, převodovka

ABSTRACT

This thesis is focused on a reconstruction of polishing machine for sphere objects which is located in laboratories of Institute of Machine Design Brno University of technology. The first part of the thesis contains a brief summary of existing polishing machines with description of their basic principles. The other sections discuss polishing, bearing balls, drives for this machines and surface roughness.

The second part is dedicated to construction designs for reconstruction of the polishing machine. In the final part is chosen optimal variant which is well suited for requirements on functionality, efficiency and production simplicity.

KEY WORDS

Polishing, bearing balls, servo-motor, surface roughness, transmission

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOTIZA, T. *Rekonstrukce leštící aparatury*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Rekonstrukce leštící aparatury* vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů a za odborné pomoci vedoucího bakalářské práce Ing. Petra Svobody, Ph.D.

V Brně, dne 17. května 2013

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za jeho ochotu, odborné vedení a užitečné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Leštící zařízení	14
1.1.1 Zařízení na leštění kovových kuliček	14
1.1.2 Zařízení na leštění kulovitých těles	14
1.1.3 Zařízení na broušení a leštění vysoce přesných kuliček	15
1.1.4 Leštění v miskách	16
1.1.5 Zařízení na leštění biliardových koulí	16
1.2 Leštění	17
1.2.1 Druhy leštění	18
1.2.2 Leštící nástroje	18
1.2.3 Leštící prostředky	19
1.2.4 Druhy diamantů	20
1.3 Ložiskové kuličky	20
1.3.1 Výroba ložiskových kuliček	20
1.3.2 Materiál ložiskových kuliček	21
1.3.3 Stupně přesností a tolerance	22
1.4 Elektrické pohony	22
1.4.1 Definice elektrického pohonu	22
1.4.2 Dělení pohonů	22
1.4.3 Servomotory	23
1.5 Struktura povrchu	23
1.5.1 Parametry drsnosti povrchu	24
1.5.2 Měření drsnosti povrchu	25
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	27
3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	28
3.1 Varianty konstrukčních řešení zvýšení krouticího momentu	28
3.1.1 První varianta zvýšení krouticího momentu	28
3.1.2 Druhá varianta zvýšení krouticího momentu	29
3.2 Návrh konstrukce krycího víčka satelitu	31
3.2.1 První varianta krycího víčka satelitu	32
3.2.2 Druhá varianta krycího víčka satelitu	33
4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	34
4.1 Optimální varianta zvýšení krouticího momentu	34
4.2 Optimální varianta krycího víčka satelitu	34
4.3 Použitý servomotor	34
4.4 Výpočet krouticího momentu	35
4.5 Výběr planetové převodovky	36
4.6 Konstrukční řešení leštící aparatury	37
4.7 Leštěné kuličky	39
4.8 Výběr leštícího plátna	39
4.9 Výběr leštící suspenze	39
5 DISKUZE	40
6 ZÁVĚR	41
7 BIBLIOGRAFIE	42
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	44

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	45
10 SEZNAM TABULEK	46
11 SEZNAM PŘÍLOH	47

ÚVOD

V běžném životě se každý z nás může denně setkat s předměty, které jsou leštěné. Mezi takové předměty můžeme zařadit např. vodovodní baterie a koupelnové příslušenství. Jejich povrchová úprava chromováním jim dodává lesk a odolnost proti korozi. Před samotným chromováním musí být povrchy nejdříve broušeny a leštěny k dosažení malé drsnosti povrchu a dobrého estetického vzhledu. Následné pomědění a konečné chromování by totiž nezakryly větší nedokonalosti povrchu, mezi které patří např. rýhy pozůstalé po předchozím zpracování. Po chromování jsou tyto předměty v poslední fázi přeštěny do vysokého lesku. Dalšími leštěnými předměty jsou např. nerezové hrnce, kování dveří, nerezové prvky ve stavebnictví atd. U těchto druhů předmětů se požaduje dobrý estetický vzhled. Ne vždy je leštění voleno ze vzhledového hlediska. Ve strojírenském odvětví je to spíše z hlediska funkčního. V určitých případech je požadována velmi malá drsnost povrchu. Ovšem broušením nelze vždy tak malou drsnost povrchu zajistit. Proto následuje leštění, které zmenší drsnost povrchu alepší povrchové vlastnosti. Např. u lopatek turbín jsou leštěné povrchy příznivé ke zmenšení odporu při obtékání kapaliny, s ním související zvětšení účinnosti a odolnosti povrchu proti korozi. U valivých elementů valivých ložisek (např. kuličkových ložisek) mají povrchy s malou drsností povrchu příznivý vliv na nižší opotřebení a na utváření mazacího filmu. A právě s leštěním valivých elementů ložisek souvisí tato práce. Výroba ložiskových kuliček je komplikovaný a náročný proces co se týče požadovaných geometrických a rozměrových přesností. Nicméně popis jejich výroby je zahrnut v této práci. Jednou z jejich mnoha výrobních operací je leštění. Jelikož se jedná o sférický (kulovitý) tvar, jeho rovnoměrné vyleštění je problematické. Do současné doby byla zkonstruována řada strojů určených pro leštění sférických těles. Jak pro velkosériové použití pro ložiskové kuličky, tak pro malosériové použití například pro bowlingové nebo biliardové koule. Avšak u těchto strojů chybí větší univerzálnost a jsou spíše jednoúčelové.

Tato bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí leštící aparatury pro doleštění kulovitých těles. Nachází se v tribologické laboratoři Ústavu konstruování FSI VUT v Brně. Leštící aparatura byla navržena a zkonstruována pro potřeby experimentálního studia chování mazacích filmů probíhajících při nestacionárních provozních podmínkách. Zjednodušeně si pod tím lze představit zkoumání mazacího filmu utvářejícího se například u valivých ložisek nebo u ozubených soukolí. Studium je prováděno na běžně dostupných kuličkách z ložiskové oceli. Je nutné dosažení menší drsnosti povrchu, než kterou mají kuličky v okamžiku dodání. Po doleštění jsou vzorky připraveny pro experimentální použití. Z tohoto důvodu byla aparatura zkonstruována.

Současný stav leštící aparatury vyhovuje původnímu účelu použití. Nicméně při jejím používání se zjistilo několik nedostatků. Nejsou sice tak závažné, aby znemožňovaly správné fungování aparatury, ale přinášejí s sebou několik nepříznivých vlivů. Tyto nedostatky se pokusím v konstrukční části blíže popsat a vhodně vyřešit.

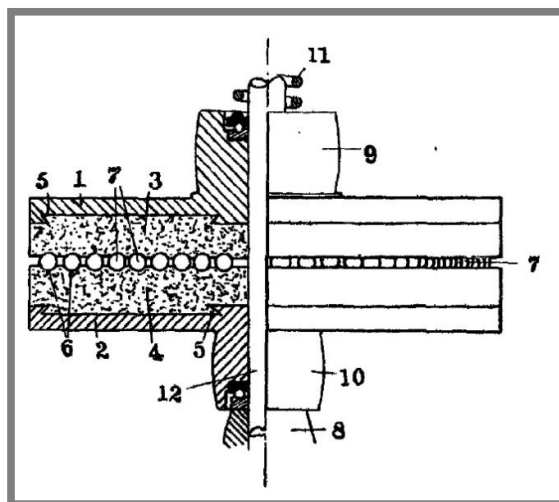
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Leštící zařízení

V úvodu rešerše jsem se zaměřil na leštící zařízení. Tyto zařízení byly zkonstruovány pro leštění kulovitých těles. Uvedená zařízení jsou registrovány v patentových databázích. Pro stručnost zde uvedu jen malý výčet z existujících zařízení a uvedu principy, na kterých pracují.

1.1.1 Zařízení na leštění kovových kuliček

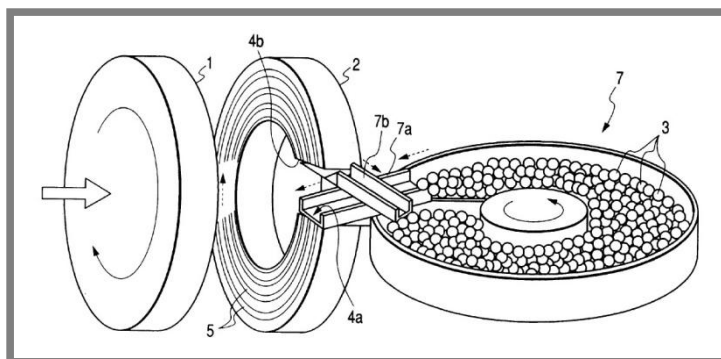
Princip tohoto zařízení [1] je možno vidět na obr. 1-1. Zařízení se skládá ze dvou relativně otáčejících se kotoučů. Na kotoučích je nalisovaná leštící hmota (dřevitý cement). Do této hmoty (3) jsou vytvořeny žlábký (6), ve kterých se kuličky (7) odvalují a leští. Pro vytvoření většího přitlaku na kuličky je horní kotouč (1) podle potřeby přitlačován pružinou (11) nebo závažím. Pod spodním kotoučem (2) je axiální ložisko, které zachycuje axiální síly od tíhy zařízení a od přitlaku působícího na horní kotouč. Oba kotouče jsou poháněny libovolnými pohony. Horní kotouč má otáčky 80 min^{-1} , spodní kotouč 45 min^{-1} s opačným směrem otáčení.



Obr. 1-1 Zařízení na leštění kovových kuliček [1]

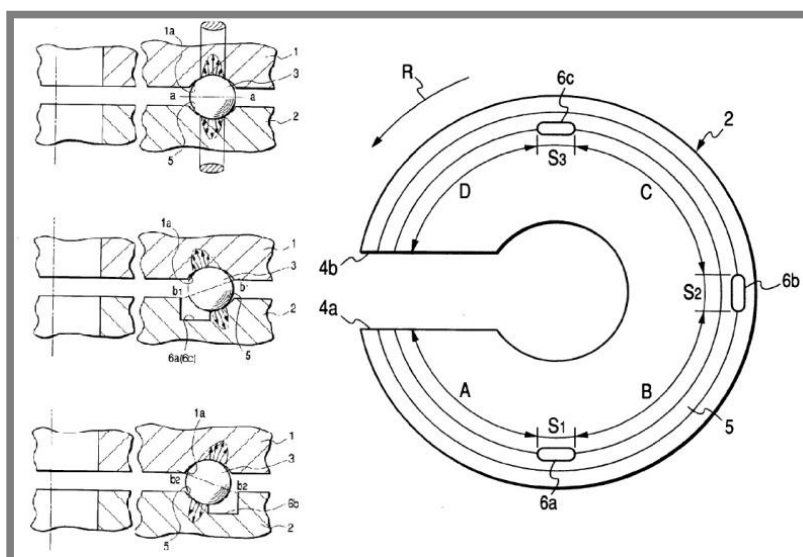
1.1.2 Zařízení na leštění kulovitých těles

Zařízení [2] zobrazené na obr. 1-2, ve kterém jsou obrobky ložiskové kuličky (3), je tvořeno stacionární deskou (2), rotační deskou (1) a rotačním zásobníkem (7). Ve stacionární desce jsou vodící drážky (5) a výřez (4a, 4b). Tímto výřezem kuličky vcházejí a odchází z jednoho leštícího cyklu. Rotační deska je rovněž opatřena po celém svém obvodu vodícími drážkami, ve kterých se odvalují kuličky. Zároveň na tuto desku působí z vnějšku zatížení, které způsobuje větší přitlak na kuličky. Třetí hlavní částí zařízení je rotační zásobník. V něm se shromažďují kuličky, které opustí jeden leštící cyklus a jsou přiváděny do dalšího.



Obr. 1-2 Zařízení na leštění kulovitých těles [2]

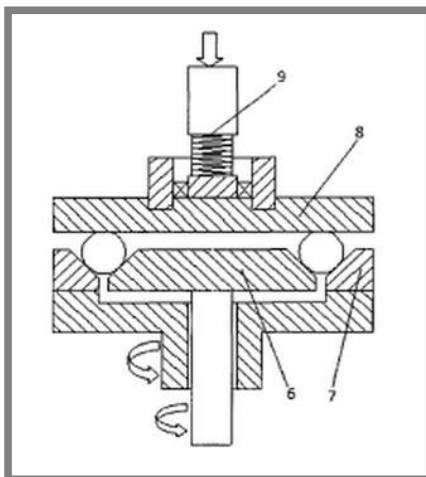
Aby bylo dosaženo co největší vyleštěné plochy během jednoho lešticího cyklu, na stacionární desce viz obr. 1-3, jsou ve vodících drážkách vytvořeny speciální krátké drážky (6a, 6b, 6c). Při odvalování kuličky těmito drážkami se mění úhel natočení osy kuličky. To způsobí vyleštění odlišné plochy kuličky než při klasickém odvalování v drážce a celkově se zvětší vyleštěná plocha kuličky při jednom průchodu zařízením. Zařízení je určené pro použití ve velkosériové výrobě ocelových kuliček do valivých ložisek.



Obr. 1-3 Zobrazení změny natočení kuličky [2]

1.1.3 Zařízení na broušení a leštění vysoce přesných kuliček

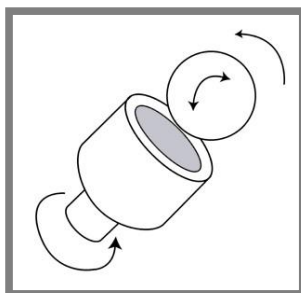
V zařízení [3] viz obr. 1-4, jsou kuličky uloženy v kruhové drážce s V profilem. Vnitřní stěna drážky patří otočnému lešticímu kotouči (6) a vnější stěna otočné lešticí desce (7). Z vrchu na kuličky doléhá pevný lešticí kotouč (8), který může být podle potřeby zatížen. Kuličky se během leštění odvalují v kruhové drážce s V profilem [3]. Nevýhodou popsaného zařízení je, že nezajišťuje rovnoměrné vyleštění celého povrchu kuličky a navíc vyžaduje přizpůsobení podstatné části zařízení pro jiný průměr kuličky.



Obr. 1-4 Zařízení na broušení a leštění vysoce přesných kuliček [3]

1.1.4 Leštění v miskách

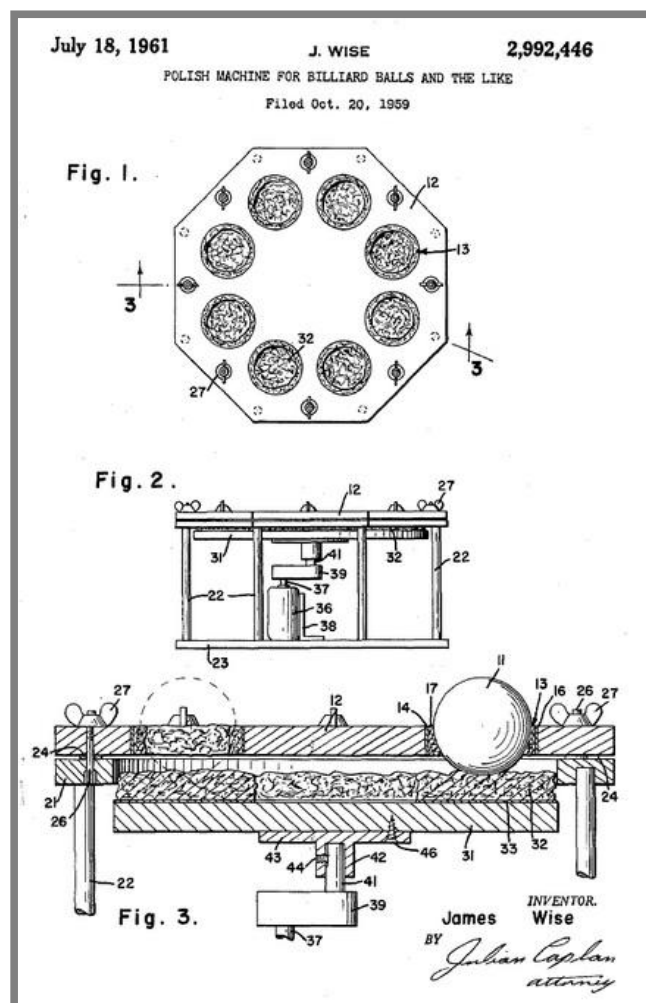
Tento způsob leštění kulovitých těles [4] je podobný jako při výrobě optických čoček. Princip (zobrazený na obr. 1-5) je založený na tření mezi kulovitým tělesem, miskou a leštící suspenzí. Miska má menší průměr než leštěné kulovité těleso. Je naplněna leštící suspenzí, ve které se brodí kulovité těleso. Je možno sestavit stroj, kde bude umístěno více těchto misek pro zvýšení jeho produktivity. Tato metoda je vhodná pro leštění velmi kvalitních a přesných kulovitých těles, avšak není vhodná pro velkosériové použití.



Obr. 1-5 Leštění v misce [4]

1.1.5 Zařízení na leštění biliardových koulí

Na obr. 1-6 je zařízení, které je určeno pro leštění biliardových koulí [5]. Principem je trochu podobný mnou rekonstruovanému zařízení. Shoduje se použitím distanční šablony (12) mezi leštěnými koulemi (11). Zajišťuje rovnoměrné rozložení leštěných koulí v zařízení. Spodní poháněný kotouč (31) má na povrchu přilepenou leštící tkaninu (32). Taktéž i otvory v distanční šabloně jsou jí potaženy. Koule jsou uváděny do pohybu spodním kotoučem a vzájemným kontaktem s distanční šablonou a spodním kotoučem jsou leštěny. Současně je použita leštící pasta aplikovaná na spodní kotouč nebo přímo na koule. Bohužel na tomto typu zařízení nelze zajistit potřebný přítlak na leštěné koule. Ten je u tohoto zařízení způsoben pouze vlastní tíhou koule.



Obr. 1-6 Zařízení na leštění biliardových koulí [5]

1.2 Leštění

Jedním z úkolů této bakalářské práce je dosažení velmi malé drsnosti povrchu, konkrétně $0,012 \mu\text{m}$. Z běžně používaných druhů dokončovacích operací nám bude nejlépe vyhovovat leštění. Při leštění nastává deformace vrcholků povrchové drsnosti vedoucí ke snížení drsnosti povrchu [6]. Díky němu se také zdokonaluje vzhled povrchu až na zrcadlový lesk.

Leštění se používá například v následujících aplikacích:

- leštění metalografických vzorků,
- příprava povrchu před povrchovými úpravami (chromování, niklování),
- aplikace, kde je požadován primárně vysoký až zrcadlový lesk,
- z důvodu dobrého estetického vzhledu (obr. 1-7).



Obr. 1-7 Leštěný motor [8]

1.2.1 Druhy leštění

Mezi nejpoužívanější druhy leštění patří:

- **mechanické leštění** - Tento druh leštění spočívá v nanesení leštícího prostředku na rotující leštící nástroj a působením přitlaku mezi leštěným předmětem a leštícím nástrojem dochází k leštění [6].
- **chemické leštění** - Provádí se pouhým ponořením leštěného předmětu do speciálních leštících lázní bez použití elektrického proudu [7].
- **elektrochemické leštění** - Základem elektrochemického leštění je anodické rozpouštění kovů; které přechází ve vhodných elektrolytech a za vhodných podmínek v leštění. Od chemického leštění se liší tím, že k dosažení lesklého povrchu vyžaduje působení stejnosměrného proudu a že se leštění provádí v lázních jiného složení [7]. Podle materiálu leštěného předmětu a požadované jakosti se používají různé elektrolyty.

1.2.2 Leštící nástroje

Leštících nástrojů používaných při leštění existuje mnoho druhů. Vhodnost určitého nástroje je závislá na leštěném materiálu, tvaru leštěného předmětu, stavu povrchu před leštěním a požadovaná kvalita po leštění. *Leštící kotouč* je rotační nástroj, vyrobený z tkanin, určený zejména k leštění výrobků, případně k jejich broušení, k dosažení hladkého a lesklého povrchu [9]. Přesné rozdělení kotoučů uvádí norma ČSN 22 4807 [9]. Mezi nejvíce používané leštící nástroje patří:

- **kotouče** - hadrové,
 - molitanové,
 - filcové (plstěné).
- **kartáče** - tvořené vlákny z umělých hmot
- **plátna** - používají se při leštění metalografických vzorků. Lze s nimi dosáhnout velmi nízkých drsností povrchu při současném použití diamantových past nebo leštících suspenzí. Plátna (sukna) rozlišujeme podle druhu leštěného materiálu a druhu leštění (mechanické, chemicko-mechanické). Materiály leštících pláten jsou např. tkané, netkané textilie, tkaniny s vlasem viz obr 1-8. Plátna lze fixovat k pevné leštící desce magneticky nebo přilepením [10].



Obr. 1-8 Leštící plátno [10]

1.2.3 Leštící prostředky

1.2.3

K dosažení co nejmenší drsnosti povrchu je nutné použít spolu s leštícím nástrojem leštící prostředek. Jeho velmi malé brusné částice v řádech mikrometrů v přímém kontaktu s leštícím nástrojem a leštěným předmětem snižují námi požadovanou hodnotu drsnosti povrchu. Jelikož můžeme leštit širokou škálu různých materiálů a tvarů předmětů, pro každý konkrétní technologický postup jsou vhodné různé druhy leštících prostředků. Jsou to např.:

- **tuhé leštící pasty** - pro leštění všech kovů a plastů,
- **tekuté leštící pasty** - vhodné pro leštění laků autokarosérií,
- **diamantové pasty** - používají se k leštění vysoce tvrdých materiálů s tvrdostí větší než 55 HRC. Zpravidla se skládají z diamantových prášků různých zrnitostí (viz obr. 1-9) a pojiv, které mají mazací účinky. Jsou omyvatelné vodou nebo organickými rozpouštědly (líh, benzín).



Obr. 1-9 Diamantové pasty [12]

- **leštící suspenze** (obr. 1-10) - je to směs, která se skládá z diamantů a smáčedla [10]. Odpadá nutnost správného dávkování diamantů. Rozlišujeme je podle toho, zda je materiál citlivý na vodu či ne. Pokud ano, suspenze je na bázi alkoholu. Pro ostatní materiály se používají na bázi vody.



Obr. 1-10 Suspenze DiaPro [10]

1.2.4 Druhy diamantů

Diamanty používané v leštících prostředcích jsou dostupné ve velikostech od 0,25 do 45 μm . Pro metalografické leštění se používají buď polykrystalické (zn.:P) nebo monokrystalické diamanty (zn.:M) [10]. Polykrystalické jsou vhodné pro nejvyšší nároky na drsnost díky velmi velkému počtu malých řezných hran. Monokrystalické jsou vhodné pro univerzální použití, protože jsou větší a mají menší počet řezných hran.

Na obr. 1-11 je možno vidět jakých drsností povrchu je možné přibližně dosáhnout při určité zrnitosti diamantu.

R_a				Zrnitost	
				FEPA	ČSN
0,020 0,040	0,032 0,063	0,063 0,100	0,100 0,160	D 0,7	1/0 μm
				D 2	3/2 μm
				D 3	5/3 μm
				D 6	7/5 μm
				D 7	10/7 μm
				D 10	14/10 μm
				D 15	20/14 μm
				D 20	28/20 μm
				D 27	40/28 μm

Obr. 1-11 Přehled dosažitelné drsnosti [11]

Je nutno podotknout, že v závislosti na materiálu, který se má leštit a na požadované drsnosti povrchu, se musí zvolit vhodný leštící nástroj s vhodným leštícím prostředkem. Pravidla, podle kterých se tyto aspekty volí, nám nabízejí výrobci k dispozici v příručkách a katalogích.

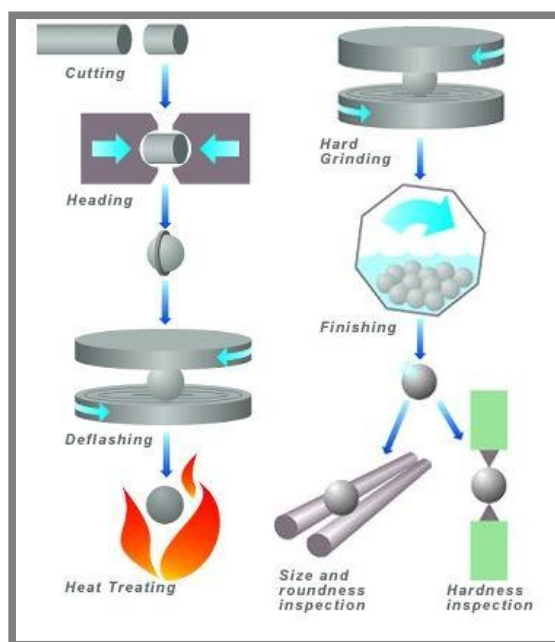
1.3 Ložiskové kuličky

Jak už napovídá znění zadání, leštěnými tělesy jsou kuličky z ložiskové oceli. Proto je dobré znát jejich výrobní postup, chemické složení a mechanické vlastnosti.

1.3.1 Výroba ložiskových kuliček

Výroba ložiskových kuliček nepatří k těm jednodušším výrobním postupům. Skládá se z mnoha důležitých operací (obr. 1-12), které jsou důležité pro výrobu přesných kuliček používaných např. v kuličkových ložiscích, což jsou jedny z nejvíce používaných strojních součástí v současnosti.

V první operaci výrobního postupu [13] je válcovaný ocelový drát protažen přes průvlak, kde se narovná a je tak dosaženo jeho přesného rozměru vhodného pro kování. Následuje stříhání drátu na malé kousky, které lis za studena vykova do kulovitěho tvaru. Kuličky větších průměrů jsou předkovány za tepla. Ve válcovacím stroji jsou vykovačky kuliček válcovány, čímž se zpevní jejich povrch a dosáhne stejných rozměrů kuliček. Pro zvýšení jejich mechanických vlastností musí být tepelně zpracovány. Provádí se cementování (nizkouglikové oceli), kalení a popouštění. Kuličkováním se odstraní stopy po tepelném zpracování a zvýší jejich trvanlivost. Následným broušením, lapováním a leštěním (tyto stroje jsou velmi podobné konstrukce) je dosažena jejich požadovaná přesnost a kvalita. Na konci výrobního cyklu jsou kuličky podrobeny kontrole tvrdosti a rozměrů.



Obr. 1-12 Cyklus výroby ocelové kuličky [13]

1.3.2 Materiál ložiskových kuliček

1.3.2

Chromová ocel

Ocel je za tepla dobře tvářitelná a je vhodná k přímému kalení, ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobitelná [14]. Je vhodná na součásti s velmi tvrdým povrchem odolným proti opotřebení, jako jsou např. přesné kuličky do ložisek. Takovéto použití požaduje materiály s vynikajícími povrchovými vlastnostmi, kterými tato ocel vyniká. Značení chromové oceli v různých zahraničních normách je uvedeno v tab. 1-1.

Tab. 1-1 Porovnání značení chromové oceli dle různých norem [14,15]:

Norma	ČSN	EN	DIN	AISI	ISO
Značení	14 109	100Cr6	17230-80	52100	683/17-73

Chemické složení:

Tab. 1-2 Chemické složení [14]:

C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Ni+Cu (%)	P (%)	S (%)
0,9-1,1	0,3-0,5	0,15-0,35	1,3-1,65	≤0,3	≤0,25	≤0,5	≤0,027	≤0,03

Mechanické vlastnosti:

Kuličky z chromové oceli se vyznačují vysokou odolností vůči opotřebení a zatížení, proto jsou tepelně kalené v celém svém průměru [15]. Tvrdost kuliček se zmenšuje se zvětšováním jejich velikosti. Vybrané mechanické vlastnosti chromové oceli jsou uvedené v tab. 1-3.

Tab. 1-3 Mechanické vlastnosti [14]:

Mez pevnosti (MPa)	Mez kluzu (Mpa)	Tažnost (%)	Hustota (kg.m ³)	Tvrдость (HB)
608-726	441	18	7830	≤120

1.3.3 Stupně přesností a tolerance

Požadavky na vyrobené ocelové kuličky pro valivá ložiska stanovuje mezinárodní norma ČSN ISO 3290-1 [16]. Obr. 1-13 zobrazuje přehled jednotlivých stupňů přesnosti a jejich vliv na různá toleranční kritéria.

Tolerance v mikronech						
Stupeň	Kruhovitost	Rozptyl průměru koule	Tolerance průměru	Toleranční odchylky	Drsnost povrchu	Rozptyl dráhy
3	0.08	0.08	-5,...-0,5, 0, +0,5,...+5	0.5	0.012	0.13
5	0.13	0.13	-5,...-1, 0, +1,... +5	1	0.020	0.25
10	0.25	0.25	-9,... -1, 0, +1,... +9	1	0.025	0.5
16	0.4	0.4	-10,...-2, 0, +2,... +10	2	0.030	0.8
20	0.5	0,5	-10,... -2, 0, +2,... +10	2	0,040	1
28	0.7	0.7	-12,... -2, 0, +2... +12	2	0.050	1.4
40	1	1	-16,... -4, 0, +4,... +16	4	0.080	2
100	2.5	2.5	-40,... -10, 0, +10,...+40	10	0.125	5
200	5	5	-60,... -15, 0, +15,... +60	15	0.200	10
500	13	13	-60,... -15, 0, +15,... +60	15	N/A	25
1000	25	25	N/A	25	N/A	50

Obr. 1-13 Stupně přesnosti a jejich tolerance [15]

1.4 Elektrické pohony

Stroje a zařízení konstruujeme většinou za účelem ulehčení lidské práce. V našem případě potřebujeme mechanickou práci, kterou lze jednoduše získat transformací elektrické energie pomocí elektromotorů čili elektrických pohonů.

1.4.1 Definice elektrického pohonu

Je to elektrické zařízení přeměňující elektrickou energii na mechanickou práci resp. na mechanický pohyb-rotací pohyb (rotací motor) nebo na lineární pohyb (lineární motor) [17].

1.4.2 Dělení pohonů

Z hlediska druhu pohybu dělíme pohony na:

- točivé,
- netočivé (např. lineární).

Z hlediska druhu napájení dělíme pohony na:

- stejnosměrné (se stejnosměrnými motory-DC),
- střídavé (se střídavými motory-AC),
- krokové.

Stejnoseměrné elektromotory

Používají se v aplikacích, kde potřebujeme v širším rozsahu regulovat otáčky (obráběcí stroje, lokomotivy), nebo velký záběrový moment (pohony výtahů).

Střídavé elektromotory

U rekonstruovaného zařízení je a pravděpodobně bude použit střídavý servomotor. Je výhodný díky svým malým rozměrům, má možnost širokého regulačního rozsahu otáček za použití frekvenčního měniče a je hojně používaný pro pohony obráběcích strojů.

1.4.3 Servomotory

1.4.3

Střídavé třífázové synchronní servomotory s permanentními magnety (obr. 1-14) jsou určeny pro moderní elektronicky řízené elektropohony. Mají široký regulační rozsah otáček a vysokou přesnost, kterou uplatňuje v oblasti mechanizace a automatizace výroby. Ve statoru mají rozložené trojfázové vinutí a na rotoru permanentní magnety[18]. Vinutí je navrženo pro sinusové průběhy proudu a napětí. Tenká vrstva magnetů ze vzácných zemin (neodym/železo/bór) je umístěna na povrchu rotorové hřídele, čímž je zaručen malý moment setrvačnosti motoru.



Obr. 1-14 Servomotor [19]

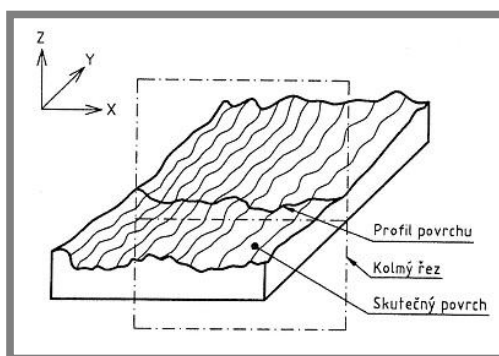
1.5 Struktura povrchu

1.5

Struktura povrchu je velmi důležitým parametrem pro správné fungování strojních součástí. Na plochách součástí proto bývají předepsány různé drsnosti povrchu v závislosti na funkci dané plochy. Není třeba předepisovat malou drsnost na plochy, které nemají vliv na funkci součástí. Naopak na těsnící, kluzné a funkční plochy je třeba předepisovat malou drsnost. Zde je důležitá přesnost, co nejmenší opotřebení při vysokých tlacích a např. únavová pevnost.

Struktura povrchu jsou opakované nebo náhodné úchyly od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu (obr. 1-15) [20].

Pro účely měření a vyhodnocování struktury povrchu je zavedena profilová metoda hodnocení. Profil povrchu vzniká jako průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu [20]. Profil povrchu je základním zdrojem informací pro posuzování struktury povrchu. Z profilu povrchu se pomocí přístrojů odvodí profil drsnosti (R-profil), profil vlnitosti (W-profil) a profil základního profilu (P-profil). Pro nás bude důležitý profil drsnosti, ze kterého se získají parametry profilu drsnosti povrchu (složka s nejmenší roztečí nerovností).

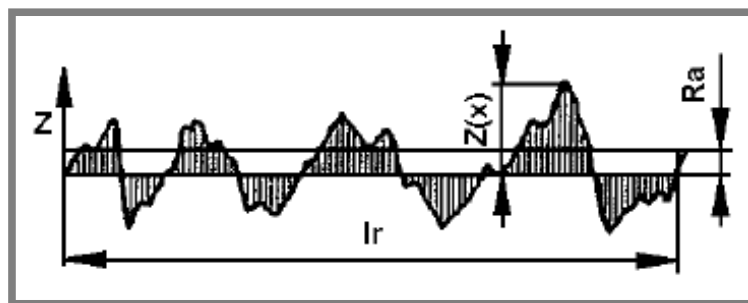


Obr. 1-15 Profil povrchu [20]

1.5.1 Parametry drsnosti povrchu

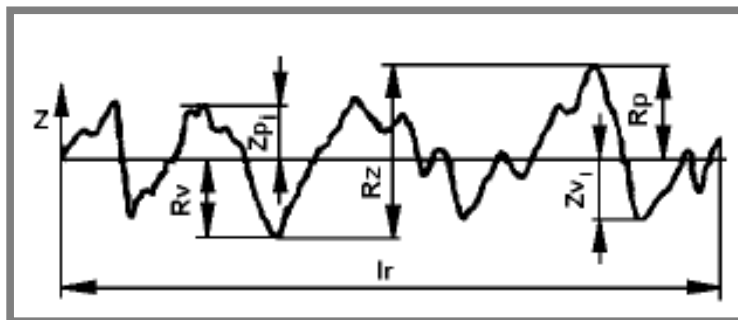
Pro různé povrchy je potřeba rozlišovat jejich funkčnost. Vezměme si pro porovnání nejdříve plochy kluzných ložisek. Ty mají mít vysokou únosnost. Jako druhý příklad lze zmínit např. rádius na klikové hřídeli spalovacího motoru. Její zatížení je dynamické a nesmí mít na povrchu trhliny. Pro tyto dva uvedené příklady je vhodné při hodnocení struktury povrchu použít rozdílné parametry povrchu a drsnosti. Je to z důvodu rozdílného použití součástí. Mezi nejpoužívanější patří následující dva parametry:

- **průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu R_a** (obr. 1-16) - je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r [20]. Tento parametr je výrobou ověřený a pro současnou praxi rozhodující.



Obr. 1-16 Parametr drsnosti R_a [21]

- **největší výška profilu R_z** (obr. 1-17) - je součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky l_r [20].

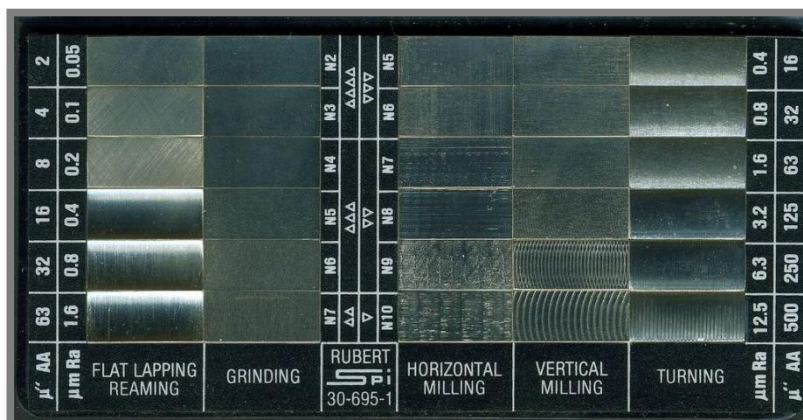
Obr. 1-17 Parametry drsnosti R_z , R_v , R_p [21]

1.5.2 Měření drsnosti povrchu

Pro správné vyhodnocení drsnosti povrchu a jejich parametrů je nutné měření. Použití konkrétní metody měření je závislé na požadovaných parametrech drsnosti povrchu a na jejich přesnosti vyhodnocení. V praxi se nejvíce používají následující metody měření.

Porovnávání drsnosti povrchu součásti se vzorky (etalony)

Jedná se o nejjednodušší způsob měření drsnosti povrchu. Slouží spíše k orientačnímu zjišťování drsnosti povrchu. Střídavým přejížděním po zkoušené součásti a porovnávacího etalonu nehem a pohledem můžeme při určité zkušenosti přibližně určit drsnost povrchu [22]. Zkoušená součást se musí porovnávat s etalonem určeným pro operaci, kterou byl povrch součásti dosáhnout. Etalony (obr. 1-18) existují např. pro soustružení, frézování, broušení, lapování atd.

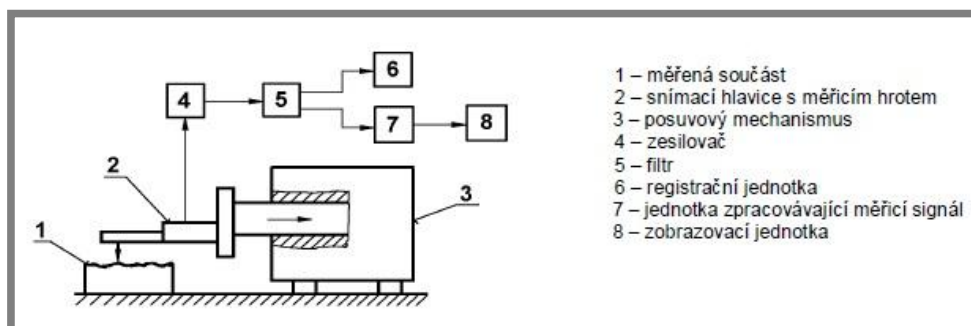


Obr. 1-18 Porovnávací etalony [23]

Měření drsnosti povrchu kontaktním profilovým měřicím přístrojem

V případech, kde nám etalonové měřky nevystačí a potřebujeme získat konkrétní a přesné hodnoty různých parametrů drsnosti povrchu, je možno použít profilové měřicí přístroje označované jako drsnoměry či dotykové profilometry. Základní charakteristiky dotykových přístrojů pro měření parametrů uvádí norma ČSN ISO 3274 [24]. Přístroje se vyrábí v různých specifikacích. Dílenské přenosné drsnoměry vyhodnocují většinou dva základní parametry drsnosti Ra a Rz. Přikládají se přímo na měřenou plochu bez nutnosti použití stativu. Laboratorní drsnoměry jsou schopny vyhodnocovat mnohem více parametrů drsnosti povrchu. Je možné je připojit k počítači pro evidenci výsledků či tisku naměřených profilů. U nich se zpravidla měří ze stativu.

Laboratorní drsnoměry se skládají z mechanické a elektronické části [21]. Rameno se snímacím hrotem (obr. 1-19) se pohybuje konstantní rychlostí po měřeném povrchu a snímací hrot snímá nerovnosti povrchu. Poté je mechanický signál od snímacího hrotu transformován na elektrický signál, který se zpracovává buď na číselnou hodnotu zvoleného parametru drsnosti, nebo na grafický záznam profilu povrchu. Měření ovlivňuje mnoho aspektů jako poloměr zaoblení snímacího hrotu (2 μm , 5 μm), vrcholový úhel snímacího hrotu (60°, 90°), přítlačná síla (cca 0,00075 N) atd.



Obr. 1-19 Princip měření dotykovým profilometrem [21]

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Současný stav leštící aparatury není zcela vyhovující. Je proto vhodná její rekonstrukce a odstranění problémů, které jsou nežádoucí.

Prvním problémem se zdá být velikost krouticího momentu působícího na hřídeli servomotoru, jenž je nutný překonat k uvedení aparatury do provozního stavu. Vzniká vyvinutím přtlaku na víko aparatury (dosedající na leštěné kuličky) pomocí tří šroubů s tlačnými pružinami. Vyvozením přtlaku vzroste hodnota krouticího momentu na hřídeli servomotoru, kterou není schopen servomotor překonat při rozběhu aparatury a za jeho současného nastavení na provozní otáčky. Dochází k přetížení servomotoru a neuvedení aparatury do pohybu. Krouticí moment bude představovat jeden z důležitých parametrů při návrhu, vhodnosti a výběru konstrukčních variant. Varianty konstrukčních řešení by měly vést ke zvětšení krouticího momentu.

Druhým diskutovaným problémem je řešení zakrytí satelitů. V nich jsou leštící kuličky a leštící suspenze. Na současné leštící aparatuře nevyhovuje stávající víčko ze dvou důvodů. Dochází k rozstříkávání leštící suspenze vlivem otáčení satelitů a následnému znečištění vnitřní oblasti leštící aparatury, což je velice nepraktické pro nutnost následného čištění. Druhým důvodem je nevhodnost uchycení víčka. V něm jsou tři kuželově zahlubené otvory umístěné po 120°. Víčko je položeno na leštěné kuličky, rovněž rozmístěné v satelitu po 120°. Kuličky zapadají do otvorů ve víčku a vystupují nad ním. Při provozu dochází k nadzvedávání víčka a následnému drhnutí o leštící plátno. To lze přisuzovat absenci axiálního pojištění víčka. V konstrukčních řešeních se zaměřím na minimalizování nadzvedávání víčka se současným zamezením rozstříkávání leštící suspenze.

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh modifikované leštící aparatury pro doleštění kulovitých těles. Leštěnými tělesy jsou kuličky z ložiskové oceli 100Cr6, jejichž průměr je 25,4 mm a požadovaná drsnost povrchu je 0.012 μm . Požaduje se návrh vhodných konstrukčních variant, které výše popsané nedostatky odstraní. Výstupem této práce budou 3D modely leštící aparatury v programu Autodesk Inventor Professional 2013 a 2D výkresy modifikovaných součástí a výkres sestavení leštící aparatury v programu AutoCad Mechanical 2010.

3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

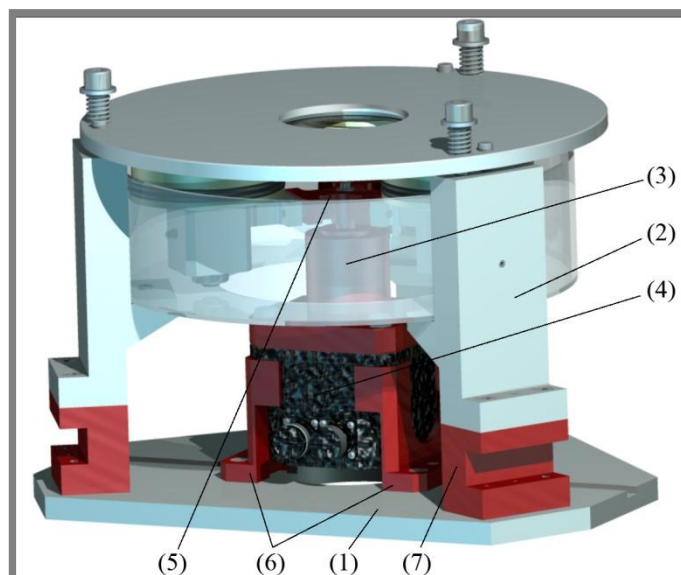
3.1 Varianty konstrukčních řešení zvýšení krouticího momentu

3.1.1 První varianta zvýšení krouticího momentu

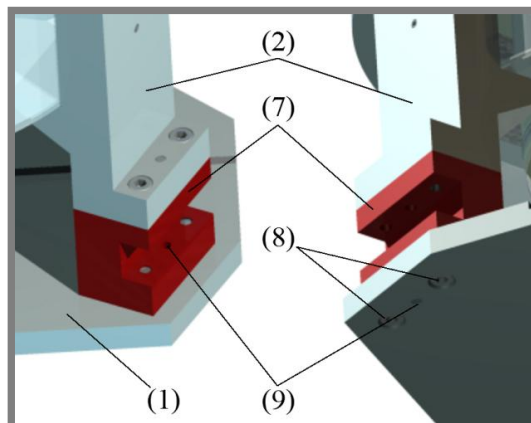
První varianta (obr. 3-1) je založena na ponechání stávající lešticí aparatury, co se týče principu pohonu zařízení a mechanismu leštění kuliček. Taktéž jsem se rozhodl pro ponechání základní desky (1) a stojin (2) v nezměněném stavu.

Jako jedna z variant pro zvýšení krouticího momentu potřebného pro uvedení aparatury do pohybu, je použití přídavné převodovky. V tomto případě se jeví jako nejvhodnější převodovka přímá planetová. Převodovka (3) se přidá na výstupní hřídel servomotoru (4). Výstupní hřídel převodovky je spojen s držákem satelitů (5) v místě, kde byl původně umístěn hřídel servomotoru. Původní nohy (6) je možné zkrátit a dojde ke snížení celkové výšky aparatury. Musí se zde však počítat s nutnou montáží přívodních kabelů k servomotoru od frekvenčního měniče.

Přidáním převodovky dojde ke zvýšení celé zástavby aparatury. K vymezení výškového rozdílu jsou pod původní stojiny přidány podložky (7) viz obr. 3-2. Jsou přišroubovány k základní desce (1), přičemž šrouby (8) jsou umístěné zespodu. Přesná pozice podložky je zajištěna kolíkem (9) naklepnutým v základní desce a distanční podložce. Tento typ spojení je realizován i mezi distanční podložkou a původní stojinou (2), jak lze vidět na obr. 3-2.



Obr. 3-1 Připojení převodovky k servomotoru
1-základní deska, 2-stojina, 3-převodovka, 4-servomotor,
5-držák satelitů, 6-nohy, 7-distanční podložky



Obr. 3-2 Distanční podložka
1-základní deska, 2-stojina, 7-distanční podložky,
8-šrouby, 9-kolík,

Výhody:

- velké zvětšení krouticího momentu
- vysoká účinnost a přesnost převodu
- zachování většiny součástí v nezměněné podobě
- jednoduchá obsluha

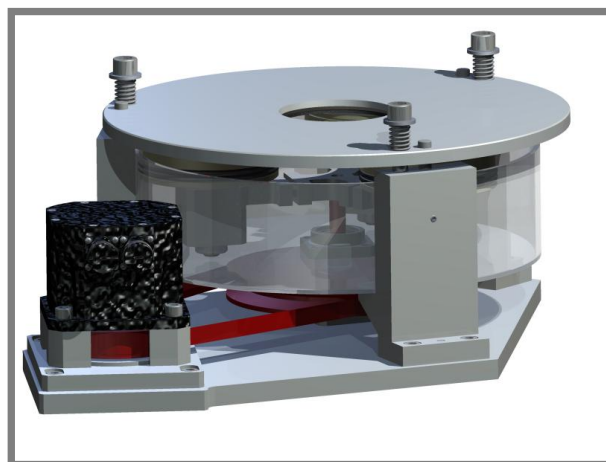
Nevýhody:

- zvýšení leštící aparatury
- vymezení výšky pomocí nových dílů a úpravou dílů stávajících
- rozdílné připojovací rozměry servomotoru a převodovky

3.1.2 Druhá varianta zvýšení krouticího momentu

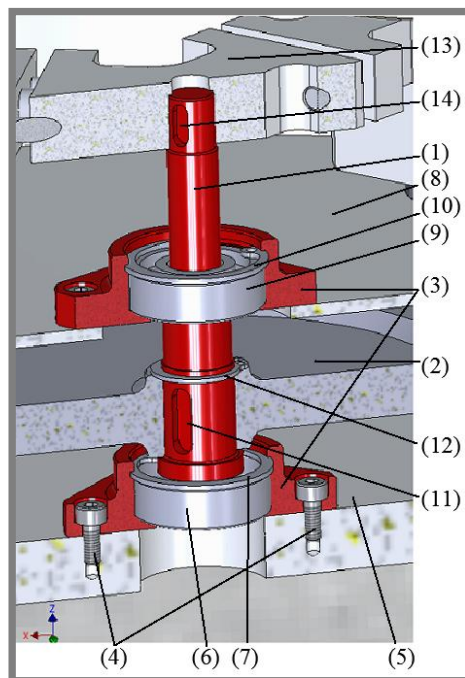
V této variantě jsem se snažil najít jiný způsob zvětšení krouticího momentu. Je zde použit alternativní řemenový převod s úzkým klínovým řemenem. Vzhledem ke konstrukci řemenového převodu, normalizovaným délkám řemene a průměrům řemenic, je servomotor umístěn mimo leštící aparaturu. To lze vidět na obr. 3-3. Aby leštící aparatura nebyla tak vysoká jak je u první varianty, servomotor je umístěn výstupní hřídelí směrem dolů. Sníží se tím i těžiště a stabilita aparatury, což lze v tomto případě považovat za vhodné, poněvadž jsou zde rotující součásti v horní oblasti aparatury.

3.1.2



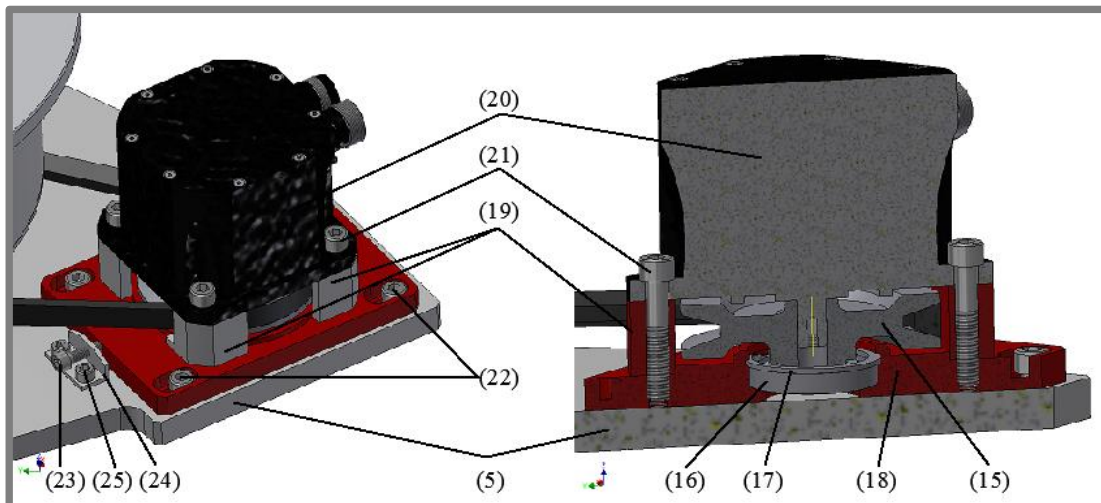
Obr. 3-3 Převod klínovým řemenem

Uložení hnané hřídele (1) procházející hnanou řemenicí (2) je provedeno ve dvou ložiskových domečcích (3) viz obr. 3-4. Spodní domeček je upevněn šrouby (4) k základní desce (5). V něm je nalisované kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (6) zajištěné pojistným kroužkem (7) stejným jako v horním domečku. Horní domeček je připevněn na desce (8) uvnitř aparatury. V něm je kuličkové ložisko (9) pojištěné pojistným kroužkem (10). Spojení hřídele s hnanou řemenicí je pomocí drážky s těsným perem (11). Axiální posuv řemenice po hřídeli je zajištěn pojistným kroužkem (12). Držák satelitů (13) je spojen s hnanou hřídelí pomocí drážky s těsným perem (14).



Obr. 3-4 Uložení hnané hřídele
 1-hřídel, 2-hnaná řemenice, 3-ložiskové domečky, 4-šrouby, 5-základní deska, 6-kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, 7-pojistný kroužek, 8-deska, 9-kuličkové ložisko, 10-pojistný kroužek, 11-drážka s těsným perem, 12-pojistný kroužek, 13-držák satelitů, 14-drážka s těsným perem

Na obr. 3-5 je zobrazeno uložení servomotoru s hnanou řemenicí a napínání řemenového převodu. Ze spodní strany hnací řemenice (15) je osazení, na kterém je uloženo kuličkové ložisko (16) a pojištěno pojistným kroužkem (17). Vnější kroužek ložiska je uložen v osazení upínací desky servomotoru (18). Uložení servomotoru je provedeno přes distanční podložky (19), které vymezují prostor hnací řemenice a klínového řemenu. Skrz připojovací otvory v servomotoru (20) a otvory v distančních podložkách je pomocí šroubů (21) připevněn servomotor k upínací desce servomotoru. V té jsou vyfrézovány vodící drážky pro šrouby (22), skrz které se upínací deska přišroubuje k základní desce (5). V rozsahu délky drážky lze provádět její posun při napínání klínového řemene.



Obr. 3-5 Uložení servomotoru a napínací mechanismus

5-základní deska, 15-hnací řemenice, 16-kuličkové ložisko, 17-pojistný kroužek 18-upínací deska servomotoru, 19-distanční podložky, 20-servomotor, 21-šrouby, 22-šrouby, 23-napínací šroub, 24-napínák, 25-šrouby

Napínání klínového řemene je řešeno pomocí napínacího šroubu (23), zašroubovaného do napínáku (24), jenž je přišroubován dvěma šrouby (25) k základní desce (5). Napínací šroub se opírá o dno otvoru, který je v upínací desce servomotoru (18). Povolněním šroubů (22) přidržujících upínací desku servomotoru k základní desce (5) a následnému zašroubování či vyšroubování napínacího šroubu lze provést dle potřeby napnutí či povolnění klínového řemenu. Po požadovaném nastavení je nutné utáhnout šrouby v upínací desce servomotoru.

Výhody:

- nízká výška aparatury
- možnost prokluzu řemenu při přetížení

Nevýhody:

- nutnost kontroly napnutí řemene
- výroba velkého množství nových dílů
- není dosaženo velkého zvětšení krouticího momentu
- zabírá velkou plochu

3.2 Návrh konstrukce krycího víčka satelitu

Před návrhem variant konstrukce víčka se navrhlo, že by bylo vyhovující, kdyby se krycí víčko satelitu otáčelo v závislosti na pohybu kuliček v satelitu. Zjednodušeně řečeno by se krycí víčko mohlo otáčet nezávisle na otáčení satelitu. Docházelo by k lepším podmínkám pro leštění kuliček.

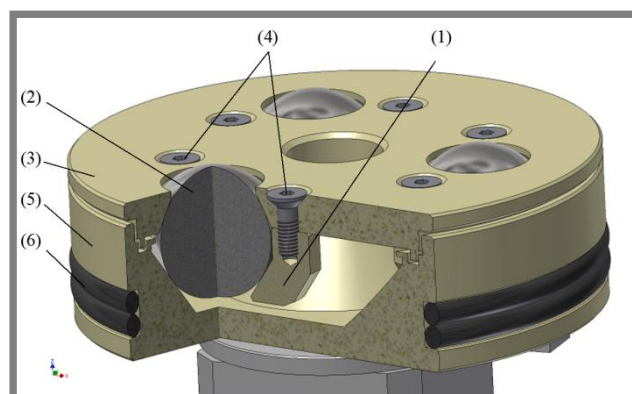
3.2.1 První varianta krycího víčka satelitu

U této varianty (obr. 3-6) jsem zavedl uvedenou vhodnost nezávislého otáčení víčka. Modifikací současného víčka a zajištěním znemožňujícím jeho nadzvedání by bylo optimální variantou. Zamezení nadzvedávání jsem docílil dvojicí držáků (1) na obr. 3-7, které přidržují každou kuličku (2) v otvorech víčka (3). Skrz otvory vystupují kuličky, na které je shora přitlačováno víko s leštícím plátnem. Mezi kuličkou a držáky je malá vůle pro zajištění jejího volného otáčení a prostupu leštící suspenze. Držáky jsou umístěné na spodní straně víčka a z vrchu jsou k němu přišroubovány zápustnými šrouby (4). Materiál držáků, satelitů a víček je totožný. Použitý materiál je polyamid (silon) s označením PA 6. Jednotný materiál jsem zvolil k zajištění stejného kontaktu mezi kuličkou a ostatními komponenty (držák, satelit, víčko) s kterými je v přímém kontaktu při leštění.



Obr. 3-6 První varianta krycího víčka

K zamezení či omezení rozstříkávající leštící suspenze ze satelitu bylo nutné navrhnout konstrukční řešení, které by zároveň neomezovalo nezávislé otáčení víčka. Použitím principu labyrintového těsnění jsem zajistil možnost nezávislého otáčení víčka vůči satelitu a současně i zamezení rozstříkávání leštící suspenze. V satelitu (5), na vrcholku vnějšího kužele je vytvořeno osazení pro částečné zadržení leštící suspenze. Dále je na místě původní dosedací plochy mezi víčkem a satelitem vytvořena drážka. Ve víčku je vytvořeno osazení zapadající do této drážky. Mezi víčkem a satelitem je uložení s velkou vůlí, k dosažení jejich nezávislého otáčení.



Obr. 3-7 Zobrazení víčka s packou
1-držák, 2-kulička, 3-víčko satelitu, 4-šrouby, 5-satelit,
6-třecí kroužky

Výhody:

- nezávislé otáčení víčka vůči satelitu
- pravděpodobně lepší vyleštění kuličky než při použití pevného víčka

Nevýhody:

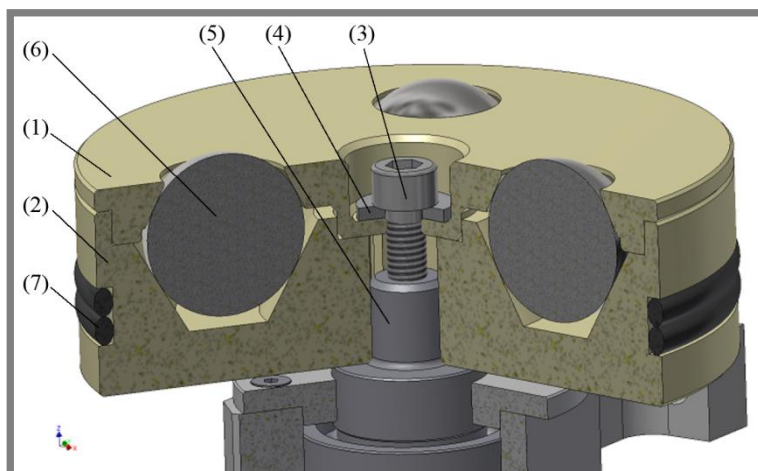
- pracnější montáž víčka před začátkem leštění
- tvarově složitější součásti na výrobu
- výroba nových víček a satelitů

3.2.2 Druhá varianta krycího víčka satelitu

3.2.2

V této konstrukční variantě jsem upustil od možnosti nezávislého otáčení víčka a satelitu. Víčko je pevně spojeno se satelitem. Jak lze vidět na obr. 3-8, víčko (1) zapadá do osazení v satelitu (2). Uchycení víčka a satelitu je zajištěno pomocí šroubu (3) s podložkou (4) zašroubovaného do hřídele (5). K zajištění volného otáčení kuliček (6) je mezi nimi a otvory ve víčku malá vůle.

Z hlediska utěsnění rozstříkávající suspenze nebude v této variantě nutné použití těsnícího prvku. Samotná konstrukce upevnění víčka dokonale utěsní prostor mezi satelitem a víčkem, ve kterém dříve docházelo k rozstříkávání lešticí suspenze.



Obr. 3-8 Zobrazení víčka s těsněním
1-víčko satelitu, 2-satelit, 3-šroub, 4-podložka, 5-hřídel, 6-kulička,
7-třecí kroužky

Výhody:

- dokonalé zajištění víčka proti zvedání
- výroba pouze nových víček
- jednoduché řešení

Nevýhody:

- chybí možnost nezávislého otáčení víčka

4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Optimální varianta zvýšení krouticího momentu

První varianta konstrukčního řešení zvýšení krouticího momentu je z hlediska rozsahu rekonstrukce vhodnější. Není nutno vyrábět a modifikovat tolik součástí jako by bylo nutné u druhé varianty. Z hlediska schopnosti vyvinout potřebný krouticí moment je také vhodnější první varianta. Planetová převodovka je schopná vyvinout mnohem větší krouticí moment než řemenový převod v druhé variantě. U první varianty odpadá nutnost kontroly napnutí řemenového převodu, což je pro údržbu vhodnější a je dosažen téměř bezúdržbový provoz pohonu. Po dohodě s vedoucím práce jsme shledali první variantu jako vyhovující a byla vybrána jako optimální.

4.2 Optimální varianta krycího víčka satelitu

Jak už bylo na počátku konstrukčních řešení víčka řečeno, bylo by vhodnější zajistit nezávislé otáčení víčka a satelitu. První varianta tuto možnost splňuje, druhá nikoliv. Obě varianty zamezují nadzvedávání víčka. Zamezení rozstříkávání leštící suspenze u první varianty je provedeno na principu labyrintového těsnění, u druhé varianty díky tvarovému styku víčka a satelitu. Výrobně je první varianta složitější, nicméně z hlediska funkčního je varianta vhodnější než druhá. Proto po domluvě s vedoucím práce volím první variantu krycího víčka jako optimální.

4.3 Použitý servomotor

U stávající leštící aparatury je použit střídavý servomotor firmy *VUES Brno s.r.o.* [19] s označením **F504D-0** (Obr. 4-1). Jeho parametry (tab. 4-1) jsou dostačující pro budoucí použití s kombinací planetové převodovky a bude plnit vhodnou variantu pohonu leštící aparatury. Detailní parametry a rozměry servomotoru jsou uvedené v katalogu umístěného v příloze této práce na CD v pdf formátu.

Tab. 4-1 Základní parametry servomotoru [19]:

	M_N (Nm)	n_N (min^{-1})	P_N (W)	F_A (N)	F_R (N)	m (kg)
F504D-0	0,8	4000	383	123	335	2,5

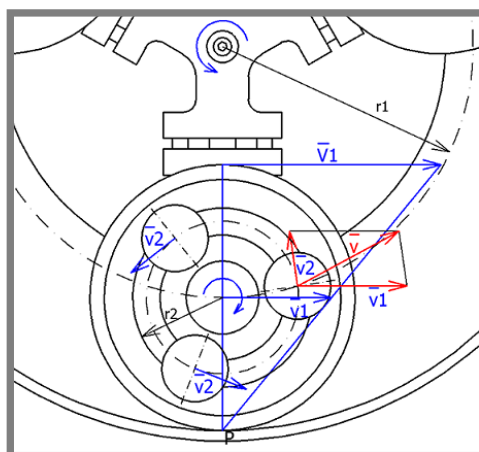


Obr. 4-1 Servomotor F504D-0 [22]

4.4 Výpočet krouticího momentu

Velikost krouticího momentu se každý leštící cyklus liší. Nejsme totiž schopni zajistit pokaždé stejný přítlak od šroubů s pružinami. Sílu, kterou vyvozují, by bylo možné experimentálně zjistit. Neznáme ale další parametry, které nám ovlivňují velikost krouticího momentu, jako součinitel tření mezi kuličkou-satelitem a také mezi kuličkou-leštícím plátnem. Dále je velice problematické určení silových výslednic působících na kuličky z důsledku jejich rozdílných a neustále se měnících poloměrů otáčení vůči ose hřídele servomotoru. Rychlost otáčení hřídele servomotoru se také mnohdy liší v závislosti na konkrétním nastavení. Většinou se však pohybuje do maximálně 70 min^{-1} .

Po dohodě s vedoucím práce jsem zavedl velká zjednodušení. Není úkolem této práce zjišťovat přesný výpočet krouticího momentu. Hlavním původcem krouticího momentu je tíha víka působící z vrchu na kuličky a přítlak šroubů s pružinami působících na víko. Tato síla se v drážce satelitu rozloží na normálové složky síly. Normálová síla způsobuje v závislosti na součiniteli tření mezi povrchy třecí sílu (1). Z důvodů neznámých parametrů, které jsem už zde zmínil, nebude tento výpočet přesný. Pro odhad krouticího momentu použiji jako sílu působící z vrchu na kuličky maximální axiální zatížení hřídele servomotoru F_A . Jeho hodnota je uvedena v parametrech servomotoru [19]. Dle další úvahy bude síla působit na poloměru otáčení satelitu. Dochází zde ke skluzu kuličky. Vektor rychlosti kuličky a vektor rychlosti satelitu jsou na sebe kolmé. Vektory rychlostí pohybujících se částí je možno vidět na obr. 4-2. Z toho vyplývá, že v tomto místě působí největší třecí síly. K dosažení určité bezpečnosti zajištěné při použití konečného výpočtu krouticího momentu při výběru převodovky, použiji součinitel tření pro ocel-ocel v nemazaném stavu. Výpočet krouticího momentu (2) beru pouze jako orientační hodnotu při výběru převodovky.



Obr. 4-2 Vektory rychlostí

Zadané a zvolené vstupní hodnoty

$$F_N = F_A = 123 \text{ N}, r_1 = 0,096 \text{ m}, f = 0,8$$

kde:

F_N [N] - normálová síla

F_A [N] - maximální axiální síla na hřídeli servomotoru

r_1 [m] - poloměr otáčení satelitu

f [1] - součinitel tření

Výpočet třecí síly

$$F_t = F_N f = 123 \text{ N} \cdot 0,8 = 98,4 \text{ N} \quad (1)$$

kde:

 F_N [N]- normálová síla

f [1]- součinitel tření

Výpočet krouticího momentu

$$M_k = F_t r_1 = 98,4 \text{ N} \cdot 0,096 \text{ m} = 9,45 \text{ Nm} \quad (2)$$

kde:

 F_t [N]- třecí síla r_1 [m]- poloměr otáčení satelitu**4.5 Výběr planetové převodovky**

Nabídka planetových převodovek je velice rozsáhlá. Nicméně každý výrobce převodovek má jejich specifické rozměry a parametry různé a ne vždy je každá vhodná. Jako nejvhodnější varianta planetové převodovky se nabízela od firmy *Bonfiglioli Tecnoigranaggi* [25]. Převodovka (obr. 4-3) je ze série označené LC s vybranými charakteristickými vlastnostmi, mezi které patří nízká vůle, plynulý bezhlučný chod a snadná montáž motoru. Pro výběr převodovky jsem vzal v úvahu vypočítaný krouticí moment. Přesné označení převodovky je **LC 050 1 3 STD FM CD 11 KE**. Vybrána byla varianta bez příruby určené k připojení servomotoru, protože pro náš použitý servomotor nebyla v jejich nabídce. Proto bude nutná výroba této příruby přizpůsobené připojovacím rozměrům použitého servomotoru a převodovky. V tab. 4-2 jsou uvedené základní parametry vybrané převodovky. Další údaje a rozměry převodovky je možné najít v katalogu převodovky (pdf formát) v příloze této práce.

Tab. 4-2 Parametry převodovky [25]:

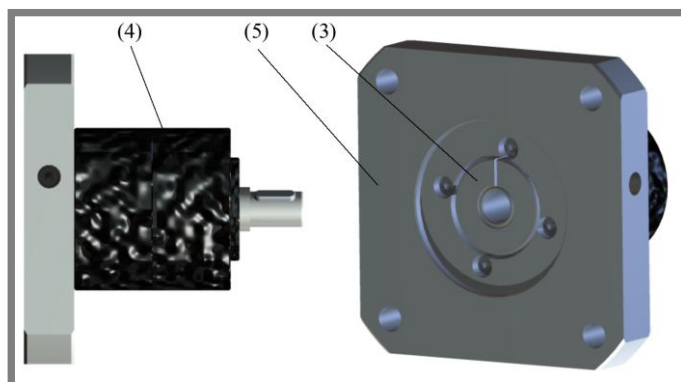
	d_{input} (mm)	d_{out} (mm)	i (1)	M_{N2} (Nm)	R_2 (N)	A_2 (N)	m (kg)
LC 050	11	12	3	10	500	600	1,1



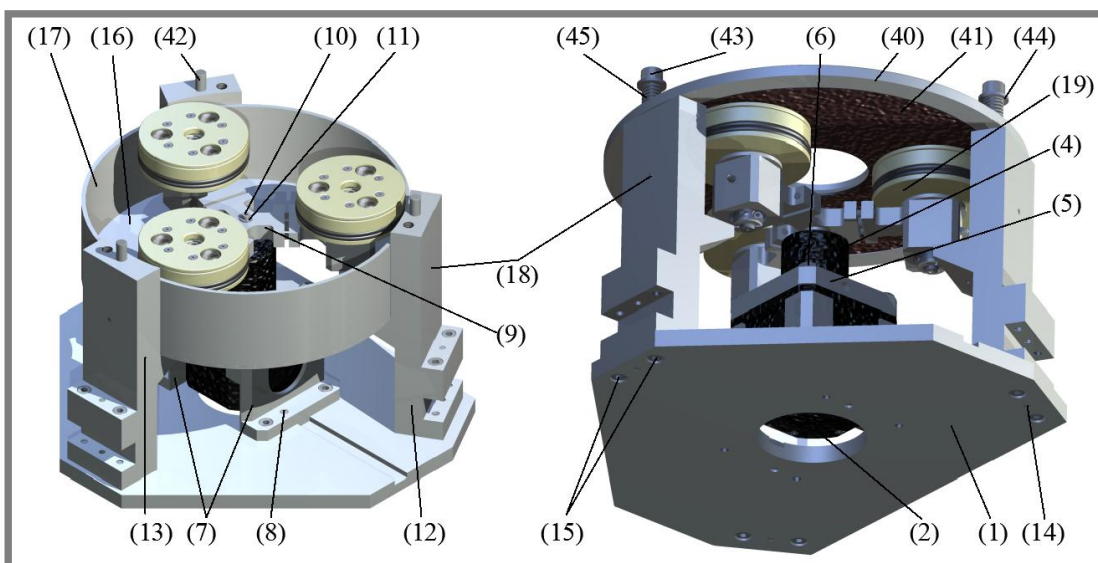
Obr. 4-3 Planetová převodovka Tecnoigranaggi [25]

4.6 Konstrukční řešení leštící aparatury

Po výběru optimálních konstrukčních variant zde uvedu detailní konstrukční řešení celé leštící aparatury zobrazené a popsané na obrázcích 4-4, 4-5 a 4-6. Hlavní částí aparatury je základna (1). V jejím středu se nachází servomotor (2), výstupní hřídelí směřující nahoru. Na ní je nasunuta a upevněna pomocí objímky (3) převodovka (4) s přírubou (5). K převodovce je na vstupu přišroubována příruba vymežující rozdíl připojovacích rozměrů převodovky a servomotoru. Příruba s převodovkou a servomotorem jsou přišroubovány speciálně vyráběnými šrouby (6) k nohám (7). Kvůli snížení aparatury jsou nižší a je nutno vyrobít nové. Přesto jsou přišroubovány k základní desce a ustaveny do přesné polohy vůči středu základní desky pomocí kolíků (8) a drážky. Na hřídel převodovky s drážkou a perem je nasunut modifikovaný držák satelitů (9). Modifikace je z důvodu většího výstupního průměru hřídele převodovky, než je u servomotoru. Axiálně je pojištěn pomocí šroubu (10) s podložkou (11) zašroubovaným do výstupní hřídele převodovky.



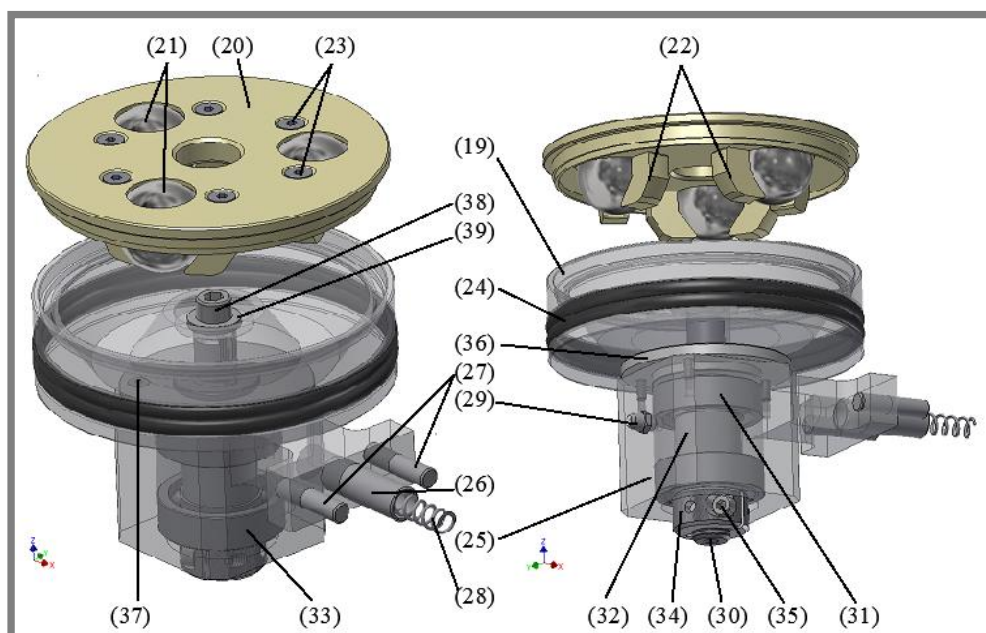
Obr. 4-4 Přebodovka s přírubou
3-objímka, 4-přebodovka, 5-příruba



Obr. 4-5 Horní a dolní pohled

1-základna, 2-servomotor, 4-přebodovka, 5-příruba, 6-šroub, 7-nohy, 8-kolíky, 9-držák satelitů, 10-šroub, 11-podložka, 12-distanční podložka, 13-stojina, 14-kolíky, 15-šrouby, 16-kruhová deska, 17-kruhová obruč, 18-stavěcí šrouby, 19- satelit, 40-víko, 41-leštící plátno, 42-kolíky, 43-šroub, 44-podložka, 45-pružina

Distanční podložky (12) pod stojinami (13) jsou přesně ustavené pomocí kolíků (14) a přišroubované k základní desce. Šrouby (15) jsou umístěné zesponu základní desky z důvodu montáže a možnosti dotažení imbusovým klíčem. Proto je nutné zesponu základní desky provést zahloubení pro hlavy šroubů uchycujících distanční podložky. Původní stojiny jsou přišroubované a přesně ustavené pomocí kolíků k distančním podložkám. Do prostoru stojin je vložena kruhová deska (16). Šrouby se zápusnou hlavou je přišroubována ke stojinám, ale mezi ní a stojinami jsou přidány kruhové podložky pro vyvýšení desky vůči základní desce. Dále je vložena na desku a mezi stojiny kruhová obruč (17), která je po obvodu zajištěna proti pohybu v každé stojině stavěcími šrouby (18).



Obr. 4-6 Uchycení satelitu a víčka

19-satelit, 20-víčko, 21-kuličky, 22-držáky, 23-zápusné šrouby, 24-třecí kroužky, 25-objímka satelitu, 26-vodící trubička, 27-kolíky, 28-pružina, 29-mazací zátka, 30-hřídel satelitu, 31-horní ložisko, 32-kroužek, 33-sponní ložisko, 34-pojistná matice, 35-pojistný šroub, 36-ucpávka, 37-šrouby se zápusnou hlavou, 38-šroub, 39-podložka

Satelity (19) jsou řešeny dle vybrané optimální konstrukční varianty následovně. Do otvorů krycího víčka (20) jsou vloženy leštěné kuličky (21). Zajištěné jsou držáky (22), které jsou přišroubované zápusnými šrouby (23) do víčka. Tento celek, tzn. víčko s kuličkami pojištěnými držáky, je vloženo v satelitu. Kuličky dosedají do V-drážky satelitu. V tomto okamžiku je možné volně otáčet satelitem i víčkem a nezávisle na sobě se budou otáčet. Kuličky se odvalují v drážce satelitu. Na vnějším obvodu satelitu je drážka, v které jsou nasazené třecí kroužky (24) zajišťující dokonalé odvalování satelitu po vnitřním obvodu obruče. Objímka satelitu (25) je posuvně spojena s držákem satelitu pomocí vodící trubičky (26) a vystředěna pomocí dvou kolíků (27). Uvnitř vodící trubičky je umístěna tlačná pružina (28), která přitlačuje satelit k obruči. Z boku objímky je našroubována mazací zátka (29). Na hřídeli satelitu (30) je zesponu nalisováno ložisko (31), kroužek (32), druhé ložisko (33) a nakonec vše pojištěno proti pohybu pojistnou maticí (34) s pojistným šroubem (35). Hřídel s těmito součástmi je nalisována do objímky satelitu. Na vrch objímky je přišroubována ucpávka (36) šrouby se zápusnou hlavou (37).

Satelit má ve svém středu otvor s drážkou pro těsné pero, kterým je nasazen na hřídel satelitu s drážkou a těsným perem. Nakonec je satelit pojištěn proti axiálnímu pohybu šroubem (38) s podložkou (39) zašroubovaným do hřídele satelitu.

Z vrchu na leštěné kuličky dosedá víko (40) s nalepeným leštícím plátnem (41). Víko je nasazeno na kolíky (42) nalisované ve stojinách. Přítlak na víko a kuličky je zajištěn šrouby (43), opatřenými podložkami (44) a tlačnými pružinami (45), zašroubovanými podle potřeby ve stojinách.

4.7 Leštěné kuličky

4.7

Leštěnými tělesy jsou ocelové kuličky z ložiskové oceli 100Cr6. Jedná se o běžně dodávané ložiskové kuličky bez zvláštního požadavku na přesnost. V jednom leštícím cyklu bude použito 9 kuliček. Rozměry a hmotnost jsou uvedené v tab. 4-3.

Tab. 4-3 Rozměry leštěných kuliček [15]

Průměr (mm)	Průměr (in)	Hmotnost (100ks 1kg ⁻¹)
25,4	1"	6,736

4.8 Výběr leštícího plátna

4.8

Na základě předchozí spolupráce a odběrů produktů od firmy Struers [10] do tribologické laboratoře ÚK jsem navrhl také jejich produkty. Dle nabídky a doporučení pro různé materiály by mělo být určeno pro náš materiál ložiskových kuliček následující leštící plátno, které vhodné pro konečné leštění všech materiálů.

Označení: **DP-Nap** (krátká syntetická plst')
 Průměr plátna: 300 mm
 Abrazivo: Diamant
 Velikost zrna diamantu: $\leq 1 \mu\text{m}$

4.9 Výběr leštící suspenze

4.9

Pro náš způsob leštění budou nejvhodnější leštící suspenze. Jsou v nich již ve správném poměru namíchány diamanty a smáčedlo. Dodavatelem leštící suspenze se nám nabízí také firma Struers [10] Zabývá se již dlouhou dobu metalografií, kde je kvalita leštění velice důležitou součástí. Nabídka leštících suspenzí je velká, nicméně dle jejich kritérií pro naše vybrané leštící plátno DP-Nap a tvrdé materiály se nám nabízejí dvě varianty:

- **DiaPro Nap B 1 μm** - pro leštění tvrdých materiálů (>150 HV)
- **DiaPro Nap 0,25 μm**

Dodávají se v baleních o objemu 500 ml nebo 5 l. Pokud by nevyhovovala první varianta s velikostí diamantu 1 μm z hlediska drsnosti povrchu po leštění kuličky, bylo by nutné použít druhou leštící suspenzi s velikostí zrna 0,25 μm .

5 DISKUZE

Při výpočtu krouticího momentu bylo zavedeno mnoho předpokladů a zjednodušení. Mohly by vést k příliš velkému zvýšení vypočteného krouticího momentu. Vzhledem k tomu, že krouticí moment vyšel kolem 9,45 Nm a dostupné planetové převodovky od různých výrobců mají nejnižší krouticí momenty pohybující se okolo 10 Nm, výběr převodovky s menším krouticím momentem by nejspíše nebyl možný. Hodnota vypočítaného krouticího momentu může být ve skutečnosti mnohem menší. Použití převodu klínovým řemenem by se tedy také jevilo jako vhodná varianta zvýšení krouticího momentu. V jeho konstrukčním návrhu jsem použil návrhový modul pro řemenové převody v programu Autodesk Inventor Professional 2013. Po nastavení vstupních parametrů jako jsou: krouticí moment na hnací řemenici - 0,8 Nm (jmenovitý moment servomotoru), počet otáček hnací řemenice - 130 min^{-1} (při požadavku otáček na výstupní řemenici - 70 min^{-1}) a rozměry řemenic a řemenu zohledněné k rozměrům leštící aparatury, se zvýšil krouticí moment na hnané hřídeli z 0,8 Nm na hodnotu 1,394 Nm. Hodnota krouticího momentu je mnohem menší v porovnání s vypočítanou, ale možná by byla dostačující.

U první varianty konstrukce víčka s nezávislým otáčením vůči satelitu nebude pravděpodobně úplné zamezení nadzvedávání víčka. Mezi kuličkou, otvorem ve víčku a mezi držáky je malá vůle z důvodu snadného otáčení kuličky. O tuto vůli se může víčko při provozu nadzvedávat, nicméně její velikost je ve srovnání mezery mezi víčkem a víkem s leštícím sukнем zanedbatelná.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo nalézt vhodný konstrukční návrh rekonstrukce leštící aparatury pro doleštění kulovitých těles.

Na začátku práce jsem provedl rešerši v oblasti leštících strojů souvisejících se mnou rekonstruovanou leštící aparaturou. Stručně popsal jejich princip a uvedl jejich použití. Dále jsem přiblížil podstatu procesu leštění, jeho dělení, používané leštící prostředky, nástroje, diamanty a dosažitelné drsnosti povrchu. Jelikož leštěnými tělesy jsou kuličky z ložiskové oceli, bylo vhodné objasnit jejich výrobu, uvést materiálové a chemické charakteristiky a stupně přesnosti, ve kterých se vyrábí. Leštěný materiál byl poté zohledněn při výběru leštícího plátna a leštící suspenze v optimálním konstrukčním řešení. Krátce jsem uvedl druhy pohonů. V zadání práce je požadavek určité drsnosti povrchu. Uvedl jsem její teoretický význam, možnosti vyhodnocování vzhledem k jejím různým parametrům a metody měření.

V dalším kroku jsem analyzoval řešené problémy. První problém byl, že servomotor nebyl schopen uvést do provozu leštící aparaturu při jeho počátečním nastavení na provozní otáčky. Proto byly konstrukční varianty zaměřeny na zvýšení krouticího momentu. U první varianty bylo jeho zvýšení dosaženo přidáním převodovky. Druhá ho zvýšila řemenovým převodem s klínovým řemenem. Jako optimální z hlediska jednoduchosti rekonstrukce byla shledána varianta s převodovkou. Druhý problém byl se zakrytím satelitu. Původní volně otáčející víčko se při provozu nadzvedávalo a drhlo o leštící plátno. Také docházelo k rozstříkávání leštící suspenze ze satelitu. Bylo požadováno zachování volně otáčejícího se víčka spolu s kuličkami a zamezení rozstříkávání leštící suspenze. Druhá varianta víčka sice utěsnila prostor, kudy dříve leštící suspenze rozstříkávala, ale víčko bylo pevně spojeno se satelitem. Naopak první varianta splňovala kromě utěsnění i možnost volně se otáčejícího víčka. Zajištěno to bylo pomocí držáků držících kuličky v otvorech víčka. Zvedání víčka bylo omezeno na minimum a utěsnění vyřešeno pomocí drážek v satelitu a osazení ve víčku. Proto byla tato varianta konstrukce víčka shledána jako optimální.

Optimálním řešením bylo použití převodovky a nezávisle se otáčejícího víčka. Pro výběr převodovky byl odhadem spočítán krouticí moment působící na hřídel servomotoru po zatížení aparatury. Následně byla vybrána vhodná převodovka a konečná varianta byla podrobně popsána a zobrazena na obrázcích. Na závěr jsem uvedl doporučené použití leštícího plátna a leštící suspenze zohledněné pro materiál kuliček.

Výstupem této bakalářské práce jsou výrobní výkresy součástí potřebných pro rekonstrukci leštící aparatury. Výkres sestavení zobrazuje celou rekonstruovanou leštící aparaturu. V budoucnu bude možné provést výrobu součástí a sestavení leštící aparatury dle vybrané optimální varianty.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] BAUMANN, Albert. *Zařízení k leštění kovových kuliček* [patent]. Patentový spis, 20696. Uděleno 15. září 1926. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/20/20696.pdf>[2]
- [2] TONOOKA, Katsuhisa, Hiroyuki NOJIMA a Takeshi KOBAYASHI. *Sphere polishing machine*[patent]. Japan. Patent, 5913717. Uděleno 22 June 1999.
- [3] YUAN, Julong, Binghai LU, Zhiwei WANG a Hongwei FAN. *High-precise ball highly-efficient grinding and polishing processing method* [patent]. Patent, CN 101579840 B. Uděleno 29 June 2011. Dostupné z: <http://ip.com/pat/CN101579840B>
- [4] What is sphere?. *Bal-tec, Manufacturer of Precision Balls, Ball Bars, and Kinematic Components*[online]. © 1999 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.precisionballs.com/all_wias2.php
- [5] WISE, James. *Polish machine for billiard balls and the like* [patent]. United states. Patent, 2992446. Uděleno July 18, 1961. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?url=www.google.com/patents/US2992446.pdf>
- [6] Leštění. In: *Metalografie I* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/index.htm
- [7] KOPEC, Rudolf et al. *Úprava povrchu broušením a leštěním*. 1. vyd. Praha: Práce, 1952, 291 s.
- [8] *Two stroke motocross* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://twostrokemotocross.com/>
- [9] ČSN 22 4807 (224807). *Leštící kotouče z tkanin - Specifikace*. 2004.
- [10] *Struers* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.struers.com/default.asp?top_id=10&doc_id=312
- [11] *Jimi* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://brusivojimi.com.kenny.netdevelo.cz/>
- [12] Diamantové lapovací pasty. *Dia-Praha* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.diapraha.cz/diamantove-lapovaci-pasty.phpMyAdmin=5g8ygI1axBgg1ZnkWv%2Ch9WmZv25>
- [13] Manufacturing. *Abbott ball company* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.abbottball.com/about-abbott/today/manufacturing.php>
- [14] Ocel 14 109. In: *Ložiskové kuličky* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.kulicky.wbs.cz/Ocel-14-109.html>
- [15] REDHILL. *Ložiskové kuličky a válečky* [online]. ©2005- [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.redhill-balls.cz/>
- [16] ČSN ISO 3290-1 (023680). *Valivá ložiska - Kuličky - Část 1: Ocelové kuličky*. 2009.
- [17] POLIAK, František, Viliam FEDÁK a Ladislav ZBORAY. *Elektrické pohony*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1987, 614 s.
- [18] Synchronní servomotory. *Aveko* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.aveko.com/prumyslova-automatizace/synchronni-servomotory/>
- [19] Servomotory. *VUES Brno* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.vues.cz/cs/produkty/servomotory_a_linearni_motory/servomotory#rada_F

- [20] SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 2., dopl. a přeprac. Brno: CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-584-6.
- [21] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [22] FRISCHNERZ, Adolf, Herbert PIEGLER a Jaromír PRAGAČ. *Technologie zpracování kovů: odborné znalosti*. 4. vyd. Praha: SNTL, 2001, 280 s. ISBN 80-902-6551-0.
- [23] Surface roughness comparison standarts. In: *The Garage Gazette* [online]. 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.thegaragegazette.com/index.php?topic=11817.0>
- [24] ČSN EN ISO 3274. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů*. 1999.
- [25] LC series Low-backlash gearboxes. *Bonfiglioli Tecnoingranaggi* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.tecnoingranaggi.it/lc_uk.html

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

DIN		- německá technická norma
AISI		- (American Iron and Steel Institute) institut pro železo a ocel
ISO		- mezinárodní norma
M_N	[Nm]	- jmenovitý krouticí moment servomotoru
n_N	[min ⁻¹]	- jmenovité otáčky servomotoru
P_N	[W]	- jmenovitý výkon servomotoru
F_A	[N]	- axiální zatížení servomotoru
F_R	[N]	- radiální zatížení servomotoru
m	[kg]	- hmotnost
d_{input}	[mm]	- průměr výstupní hřídele servomotoru
d_{out}	[mm]	- průměr výstupní hřídele převodovky
i	[1]	- převodový poměr převodovky
M_{N2}	[Nm]	- jmenovitý krouticí moment převodovky
A_2	[N]	- axiální zatížení převodovky
R_2	[N]	- radiální zatížení převodovky
F_N	[N]	- normálová síla
r_1	[m]	- poloměr otáčení
f	[1]	- součinitel tření
F_t	[N]	- třecí síla
M_k	[Nm]	- krouticí moment

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Zařízení na leštění kovových kuliček	14
Obr. 1-2 Zařízení na leštění kulovitých těles	15
Obr. 1-3 Zobrazení změny natočení kuličky	15
Obr. 1-4 Zařízení na broušení a leštění vysoce přesných kuliček	16
Obr. 1-5 Leštění v misce	16
Obr. 1-6 Zařízení na leštění biliardových koulí	17
Obr. 1-7 Leštěný motor	18
Obr. 1-8 Leštící plátno	19
Obr. 1-9 Diamantové pasty	19
Obr. 1-10 Suspenze DiaPro	19
Obr. 1-11 Přehled dosažitelné drsnosti	20
Obr. 1-12 Cyklus výroby ocelové kuličky	21
Obr. 1-13 Stupně přesnosti a jejich tolerance	22
Obr. 1-14 Servomotor	23
Obr. 1-15 Profil povrchu	24
Obr. 1-16 Parametr drsnosti Ra	24
Obr. 1-17 Parametry drsnosti Rz, Rv, Rp	25
Obr. 1-18 Porovnávací etalony	25
Obr. 3-1 Připojení převodovky k servomotoru	28
Obr. 3-2 Distanční podložka	29
Obr. 3-3 Převod klínovým řemenem	29
Obr. 3-4 Uložení hnané hřídele	30
Obr. 3-5 Uložení servomotoru a napínací mechanismus	31
Obr. 3-6 První varianta krycího víčka	32
Obr. 3-7 Zobrazení víčka s packou	32
Obr. 3-8 Zobrazení víčka s těsněním	33
Obr. 4-1 Servomotor F504D-0	34
Obr. 4-2 Vektory rychlostí	35
Obr. 4-3 Planetová převodovka Tecnoigranaggi	36
Obr. 4-4 Převodovka s přírubou	37
Obr. 4-5 Horní a dolní pohled	37
Obr. 4-6 Uchycení satelitu a víčka	38

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Porovnání značení chromové oceli dle různých norem	21
Tab. 1-2 Chemické složení	21
Tab. 1-3 Mechanické vlastnosti	22
Tab. 4-1 Základní parametry servomotoru	34
Tab. 4-2 Parametry převodovky	36
Tab. 4-3 Rozměry leštěných kuliček	39

11 SEZNAM PŘÍLOH

Katalogy v pdf formátu přiložené na CD:

- Katalog servomotoru Vues
- Katalog planetové převodovky Tecnoingranaggi
- Montážní katalog planetové převodovky Tecnoingranaggi
- Leštící plátna Struers
- Leštící suspenze Struers

Seznam výkresů:

Výkres	Název	Číslo výkresu
Sestavy	Leštící aparatura	BP-VUT-01/00
Výrobní	Základna	BP-VUT-01/01
Výrobní	Noha	BP-VUT-01/02
Výrobní	Distanční podložka	BP-VUT-01/03
Výrobní	Příruba	BP-VUT-01/04
Výrobní	Držák satelitů	BP-VUT-01/05
Výrobní	Satelit	BP-VUT-01/06
Výrobní	Víčko	BP-VUT-01/07
Výrobní	Držák kuličky	BP-VUT-01/08
Výrobní	Šroub	BP-VUT-01/09