VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

MODIFIKACE UPÍNACÍHO SYSTÉMU DISKŮ PRO SIMULÁTOR ELASTOHYDRODYNAMICKÉHO KONTAKTU
DESIGN OF THE CLAMPING SYSTEM FOR ELASTOHYDRODYNAMIC CONTACT SIMULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Michal Repatý**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. David Koštál, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	**Michal Repatý**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. David Košťál, Ph.D.**
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Modifikace upínacího systému disků pro simulátor elastohydrodynamického kontaktu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh konstrukčních úprav tribologického simulátoru kontaktu, které zajistí odstranění jeho dvou nedostatků. Prvním je házení disku způsobené jeho nepřesným upínáním a druhým je jeho obtížné vyjmutí po měření. Jedná se o modifikaci existujícího zařízení.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Koncepční řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení
Typ práce: konstrukční
Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).
Zásady pro vypracování práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2016.pdf
Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam literatury:

Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2010). Konstruování strojních součástí. Brno: VUTIUM.

Stachowiak, G. W. Batchelor, A. W. Stachowiak, G. B. (2004). Experimental Methods in Tribology. 1st edition. Amsterdam: Elsevier B.V., 354 p. ISBN 0-444-51589-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh a konštrukcia upínacieho systému skleneného disku, ktorý bude použitý na simulátor elastohydrodynamického kontaktu. Upínací systém musí centrovať, vyhadzovať a zároveň rýchlo a pevne upnúť disk. Pri návrhu musia byť zdôraznené zvýšené nároky na presnosť a tuhosť sústavy keďže ide o laboratórny merací prístroj. Výstupom práce je sprievodná správa, výkresy súčastí a výkres zostavenia.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

EHD, Upínací systém, centrovač, vyhadzovač

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design and construct a clamping system for glass disc used in elastohydrodynamic contact simulator. The clamping system must be able to center, eject and at the same time quickly and securely fasten the disc. Increased demands on accuracy and rigidity of the system are stressed as it is a laboratory measuring instrument. The thesis contains an accompanying report, drawings of components and assembly drawings.

KEY WORDS

disc clamping system, centring device, ejector

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

REPATÝ, M. *Konstrukce upínacího systému disků pro simulátor elastohydrodynamického kontaktu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 40s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Košťál, Ph.D.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu „Konstrukce upínacího systému disků pro simulátor elastohydrodynamického kontaktu“ vypracoval samostatne s pomocou vedúceho bakalárskej práce Ing. Davida Košťála, Ph.D. Taktiež prehlasujem že som neporušil autorské práva v zmysle zákona č. 121/2000 Sb. O práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským.

....

Dátum Podpis

OBSAH

ÚVOD **11**

2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA **12**

2.1 Simulátor elastohydrodynamického kontaktu 12

2.2 Meranie na Simulátore 12

2.3 Strediace systémy 14

2.3.1 Kónické stredenie 15

2.3.2 Skľučovadlo 15

2.4 Vyhadzovacie mechanizmy 16

2.4.1 Vyhadzovací mechanizmus foriem 16

2.4.2 Vyhadzovanie vo ventile na vedenie stlačeného vzduchu 16

2.5 Upínacie mechanizmy 17

2.5.1 Bajonetové upínanie 17

2.5.2 Rýchloupínač 18

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE **19**

3.1 Problém 19

4 Koncepčné riešenie **21**

4.1 Centrovanie 21

4.1.1 Varianta A 21

4.1.2 Varianta B 22

4.2 Vyhadzovanie 23

4.2.1 Varianta A 24

4.2.2 Varianta B 24

4.2.3 Varianta C 24

4.3 Upínanie 25

5 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE **27**

5.1 Hriadeľ 27

5.2 Upínač 27

5.3 Poistka 28

5.4 Centrovač 29

5.5 Centrovací tŕň 30

5.6 Krúžok 31

5.7 Vyhadzovacia pružina 32

5.8 Kolík a páka 33

5.9 Voľba materiálu 33

5.9.1 Hriadeľ 34

5.9.2 Upínač, poistka, krúžok a centrovací tŕň 34

5.9.3 Centrovač 34

6 DISKUSIA **35**

7 ZÁVER **36**

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV **37**

9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV **38**

9.1 Zoznam použitých symbolov a veličín 38

9.2 Zoznam použitých skratiek 38

10 ZOZNAM OBRÁZKOV **39**

11 **ZOZNAM PRÍLOH** **40**
11.1 Výkresová dokumentácia 40
11.2 Ostatné 40

ÚVOD

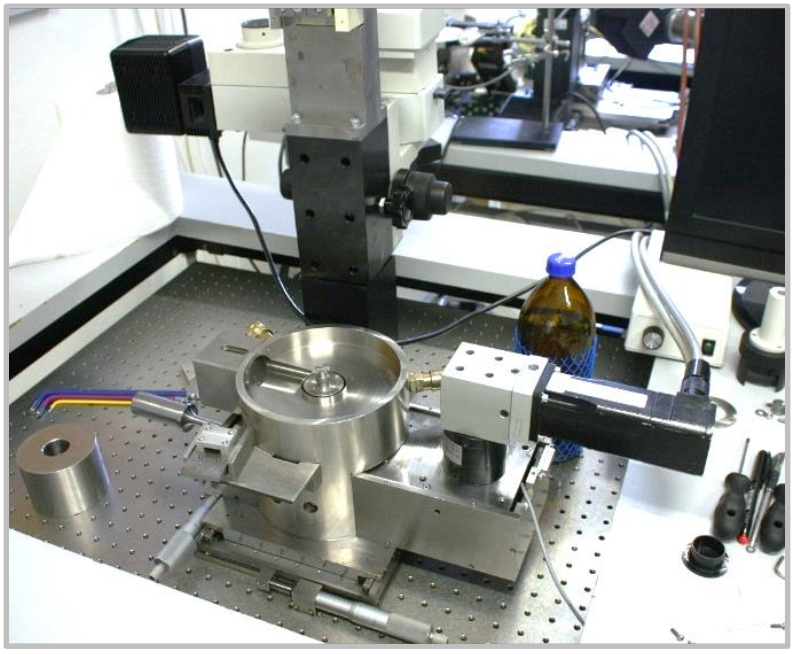
Pri navrhovaní strojárenských výrobkov je čoraz častejšie potrebné zvoliť vhodné mazanie. Mazivá napomáhajú znížiť trenie, opotrebenie a zahrievanie telies v relatívnom pohybe [1]. Vedný obor zaoberajúci sa vzájomným pôsobením povrchov sa nazýva tribológia. Pri výskume mazív sa využívajú ako teoretické znalosti oboru tak aj mnohé meracie prístroje. Táto práca sa bude venovať konštrukčným úpravám simulátoru elastohydrodynamického kontaktu. Ten využíva optickú kontrolu stykového miesta rotujúceho skleneného disku a jednooso voľne sa odvaľovanej oceľovej leštenej gule. Kontaktná plocha tohto styku má bežne plochu 0,07 mm^2 a hrúbku menšiu než 1 μm [6]. Z týchto dôvodov sú kladené zvýšené nároky na presnosť a tuhosť sústavy. Rotujúci disk je vyrobený zo skla alebo zafíru, aby bola dosiahnutá transparentnosť vo vhodnom spektre, optická kvalita a tvrdosť stykového povrchu.

2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Simulátor elastohydrodynamického kontaktu

Jedná sa o laboratórny prístroj využívaný pri určovaní tlakovo-viskózneho koeficientu skúmanej látky pri modelovom elastohydrodynamickom kontakte. Skúmanými veličinami sú hrúbka mazacieho filmu ale aj silové pôsobenie a teplota v kontaktnej oblasti. Priamym výstupom merania je videozáznam skúmanej oblasti vo vhodnom spektre, ktorý sa ďalej spracúva [2].

Prístroj pozostáva so simulátora kontaktu a pozorovacieho aparátu. Medzi súčasti na pozorovanie patrí mikroskop a kamera s optikou upevnené na stojane s dvoma stupňami voľnosti (nastaviteľná výška a možnosť otáčania, čím odkloníme zariadenie mimo meranú oblasť pri vkladaní a upínaní disku) a rôznych snímačov (zaznamenáva sa niekoľko teplôt, otáčky disku, sily pôsobiace v mieste kontaktu a iné). Simulátor kontaktu pozostáva s pohonného ústrojenstva, chladiaceho a výhrevného okruhu, regulátora styčného tlaku disku a odvaľovanej gule a ustavovacích mechanizmov [6].

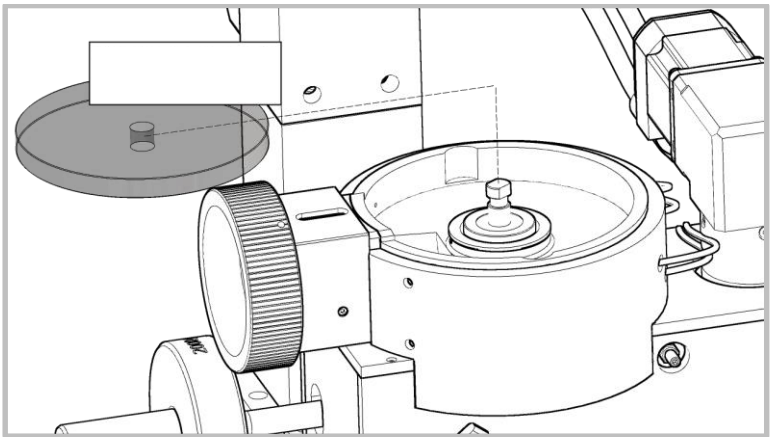


Obr. 1 EHD simulátor

2.2 Meranie na Simulátore

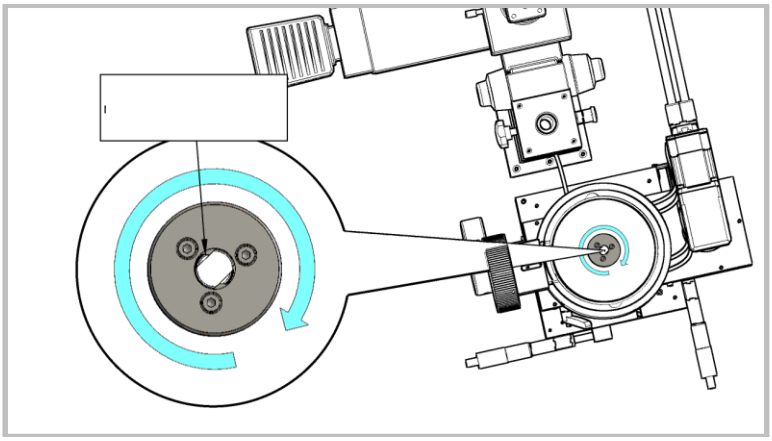
Pred meraním je nutné disk do prístroja vložiť. Na upnutie disku slúži hriadeľ rozdelený na niekoľko častí. Časť na prenos krútiaceho momentu od motora pomocou remenice, časť uloženia v dvoch guličkových ložiskách a časť na upnutie disku. Časť na upnutie disku pozostáva zo spodnej styčnej plochy a vyčnievajúceho zakončenia hriadeľa na upnutie mechanizmu upínača. Toto zakončenie má v reze tvar kružnice zrezanej z dvoch protiľahlých strán (obr. 2). Priemer je o 2 mm menší ako otvor na disku čo nám umožní pohodlné nasadenie disku (obr. 3).

Obr. 2 Upínací tŕň

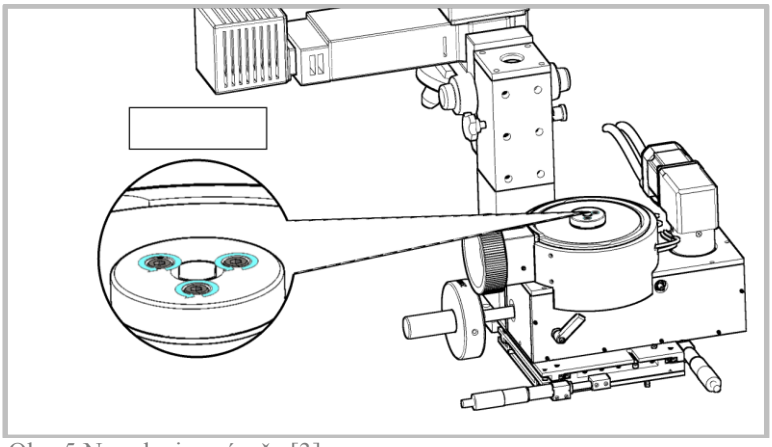


Obr. 3 Nasadenie disku [3]

Upínač sa skladá z dvoch častí, ktoré sú od seba odtlačované pomocou trojice skrutiek. Otvor v spodnej časti upínača kopíruje tvar ukončenia hriadeľa. Na upnutie je nutné upínač nasadiť a pootočiť o 90 ° (obr. 4). Po vložení disku upínač zaistíme pomocou skrutiek, ktoré pritlačia styčnú plochu upínača o disk (obr. 5).



Obr. 4 Nasadenie upínača [3]



Obr. 5 Nasadenie upínača [3]

Styčné plochy by mali mať takú plochu a materiál, aby pri danom dotiahnutí umožnili prenos krútiaceho momentu medzi diskom a hriadeľom. Po dokončení merania je nutné disk vybrať a vyčistiť. Uvolnenie disku prebieha opačne ako upínanie. Disk je po uvoľnení nutné vytiahnuť z vane meracej časti stroja. Pri meraniach zaznamenávaných kamerou vo viditeľnom spektre sa používajú sklenené disky ø150×12 a pri plánovaných záznamoch v IR spektre budú použité disky ø130×5. Dané materiály boli zvolené pre svoje mechanické vlastnosti a pre svoju transparentnosť v danom spektre.

Obr. 6 Aparatúra pripravená k meraniu

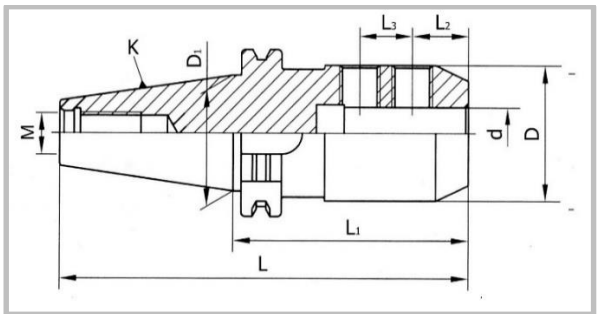
2.3 Strediace systémy

Centrovaním rozumieme snahu umiestniť ťažisko rotujúceho objektu čo najbližšie k osi rotácie. Vycentrovaný objekt tak pri rotácii nenamáha uloženie sústavy a nevnáša do nej neželané vibrácie. Centrovaníe rotačných súčastí je v mnohých aplikáciach nutnosťou, hlavne pri vysokých obvodových rýchlostiach a ťažkých rotoroch.

2.3.1 Kónické stredenie

Kónický (kužeľovitý) tvar sa často využíva na ustavenie súčasti do presnej polohy. Je nutné, aby bola súčasť pripravená na kónické upnutie a tvar jej upínacej plochy musí korešpondovať s tvarom upínača. Takéto upínanie sa využíva majoritne pri obrábacích strojoch, kde existuje široká škála systémov upínania využívajúcich kužeľ, ako napríklad: ISO, MAS BT, BIG- PLUS, Morse [12]. S kónickým stredením sa stretneme aj pri upínaní kolies automobilov na vyvažovací prístroj v pneuservisoch, kde je centrácia dôležitá pre správne výsledky merania.

PLUSY: rýchle a jednoduché použitie, vysoká presnosť upnutia
MÍNUSY: pasívne centrovanie voči vnútornej ploche nevhodné na použitie v EHD simulátore



Obr. 7 Kónický upínač nástroja [7]

2.3.2 Skľučovadlo

Skľučovadlo je upínací systém slúžiaci na upínanie prevažne radiálne symetrických súčastí. Pri upínaní je súčasť zároveň vycentrovaná voči stredu skľučovadla. Upínanie zabezpečuje sada (troch a viac) čeľustí pohybujúcich sa radiálne symetricky ku stredu skľučovadla. Pohyb čeľustí je realizovaný hydraulicky, pomocou pohybových závitov alebo pohybom kužeľa, tangenciálnych tyčí (skľučovadlo na vrták). Čeľuste bývajú často ozubené pre pevnejšie upnutie súčasti. To však môže negatívne ovplyvniť presnosť centrovania a povrch súčasti.

PLUSY: centrovanie aj ku vonkajším plochám súčasti
MÍNUSY: nedostatočná presnosť centrácie, zložitý a objemný mechanizmus pohybu čeľustí

Obr. 8 Sústružnícke sklučovadlo [8]

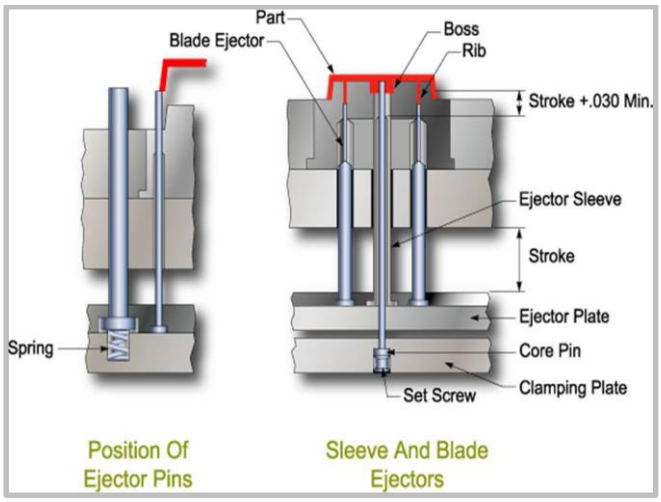
2.4 Vyhadzovacie mechanizmy

Vyhadzovacími mechanizmami sú všetky mechanizmy slúžiace na pohyb telesa za účelom zmeny polohy kvôli jednoduchšej manipulácií, odstráneniu obrobku z funkčnej časti stroja po výrobnej operácií, atď. Vyhadzovanie sa využíva najmä vo výrobných strojoch. Pohyb vyhadzovača môže byť realizovaný mnohými spôsobmi, napríklad: mechanicky, pneumaticky, hydraulicky alebo elektromagneticky.

2.4.1 Vyhadzovací mechanizmus foriem

Na výrobu plastových dielov aj voskových modelov sa v dnešnej dobe majoritne využíva systém vstrekovania do foriem. Po vstreku materiálu sa forma otvorí a je nutné takto vyrobení výlisok vytlačiť alebo vysunúť, aby bolo možné jeho odobratie. Na to je potrebné využiť pôsobenie tlaku rovnomerne na správnych miestach a v správnom smere (väčšinou kolmo k deliacej rovine formy). Formy preto často disponujú systémom vyhadzovania. Tento systém sa skladá z vyhadzovacích kolíkov ukotvených vo vyhadzovacej doske. Tá zabezpečí rovnomerný priebeh vyhadzovania a zároveň pri spätnom pohybe ustaví všetky vyhadzovacie kolíky do správnej polohy, čím sa zabezpečí správny tvar odstreku pri ďalšom vstrekovaní. Vyhadzovacie kolíky môžu mať rôzny tvar hlavy (obvykle kruhový) a delíme ich podľa tvaru ich drieku na valcové, prizmatické a rúrkové [9].

PLUSY: variabilný zdvih vyhadzovania, možnosť prenosu veľkých síl
MÍNUSY: zložitý mechanizmus zaberajúci veľa miesta



Obr. 9 Vyhadzovač formy [9]

2.4.2 Vyhadzovanie vo ventile na vedenie stlačeného vzduchu

Na pripájanie zariadení využívajúcich externý prívod stlačeného vzduchu k rozvodovému systému vzduchu je používaná „rýchlospojka“. Pri uvoľňovaní spojenia je potrebné posunúť poistný krúžok, ktorý spojenie rozpojí a uvoľní stlačený vzduch v odpojenom rozvode čo spôsobí silové oddelenie spájaných súčastí. Môžeme tak pojednávať o druhu vyhadzovania, aj keď nechceného, využívajúceho prebytok tlaku v systéme na uvoľnenie spojenia.

2.5 Upínacie mechanizmy

Upínanie je veľmi obšírny pojem spájaný so širokou škálou použití. Môžeme upínať rotačné aj nerotačné súčasti, trvalo aj dočasne, pomocou zložitých mechanizmov alebo len za využitia tepelnej rozťažnosti materiálov. Zamerajme sa preto na upínanie často obmieňaných súčastí, ako je aj sklenený disk v EHD simulátore. Ide o rotačnú súčasť upínanú za účelom prenosu momentu, axiálnych aj radiálnych síl.

2.5.1 Bajonetové upínanie

Systém bajonetového upnutia je veľmi jednoduchý na výrobu aj obsluhu. Upínací mechanizmus pozostáva z dvoch do seba zapadajúcich prvkov: bajonetovej základne a bajonetovej matice. Pri upínaní sa tieto členy navzájom vystredia avšak výsledná presnosť záleží od vôle bajonetového mechanizmu potrebnej na upínanie. S bajonetovým druhom upnutia sa často stretneme pri komerčnom použití v rôznych zariadeniach. Napríklad pripojenie požiarnych hadíc a systém vymeniteľných objektívov pri jednookých zrkadlovkách aj mirrorless fotoaparátoch. Objektív disponujúci bajonetovou maticou jednoducho zasunieme do tela fotoaparátu, ktoré je osadené bajonetovou základňou a pootočením objektívu mechanizmus zaaretujeme v správnej polohe. Pri demontáži objektívu je nutné povoliť bezpečnostnú západku a po pootočení v opačnom smere môžeme objektív z tela vytiahnuť.

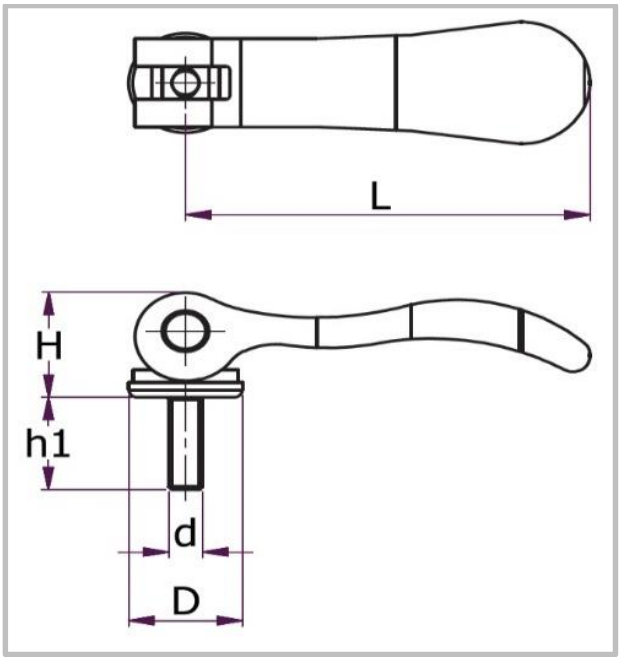
PLUSY: rýchlosť upnutia, axiálna pevnosť
MÍNUSY: nevhodné na prenos momentu

Obr. 10 Bajonetová základňa

Obr. 11 Bajonetová matica

2.5.2 Rýchloupínač

Mechanizmus využívajúci princíp vačky k prevodu rotačného pohybu upínacej páčky na priamočiary axiálny pohyb. Upnutie je realizované približovaním sa styčných plôch upínača. Tie sú dve, z toho jedna pevná a druhá pohyblivá. Pohyblivá styčná plocha je vedená v axiálnom smere oskou upínača na ktorej je často nasadená pružinka odtláčajúca upínač po povolení. Sila upnutia záleží od momentu pôsobiaceho na upínaciu páčku, tvaru vačky a trenia mechanizmu.



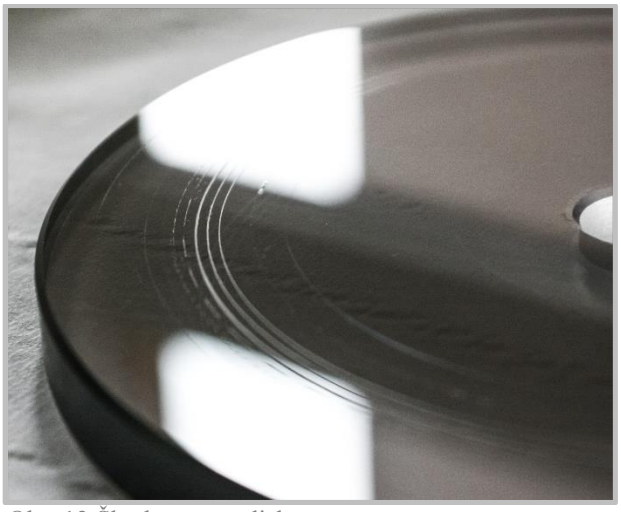
Obr. 12 Schéma rýchloupínača [10]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

Obsluha EHD simulátora zistila pri dlhšom používaní niekoľko komplikácií sprevádzajúcich meranie a obsluhu stroja. Tieto problémy sa rozhodli odstrániť zadaním tejto témy bakalárskej práce konštrukčného zamerania.

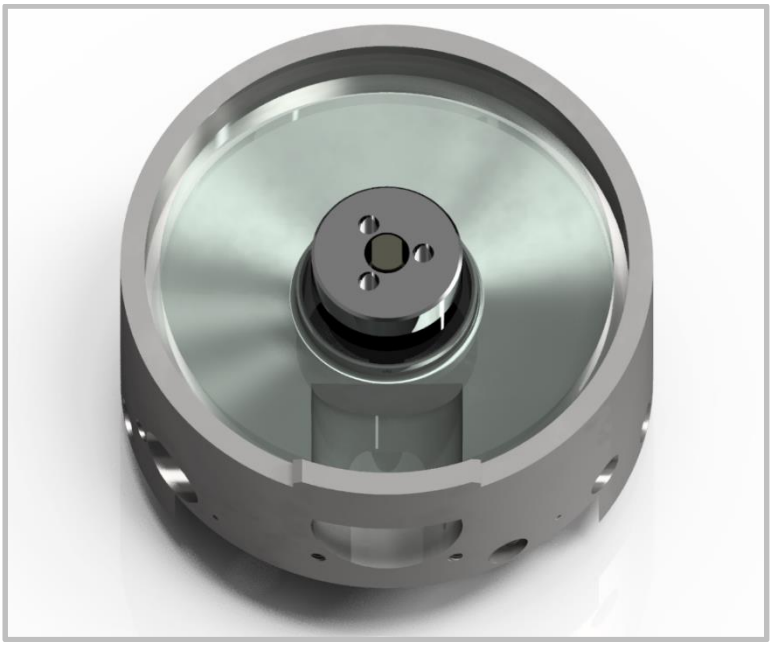
3.1 Problém

Prvý problém vzniká pri upínaní disku. Zafírové disky dodávané k meraniu nedosahujú dostatočnej geometrickej presnosti súosovosti obvodovej valcovej plochy a upínacieho otvoru. Upínací otvor taktiež svojim priemerom vytvára vôľu medzi diskom a upínacím hriadeľom. Tak je disk pri každom meraní upnutý rozdielne a jeho ťažisko má rôznu polohu voči hlavnej ose rotácie. Tak vznikajú pri rotácii disku nežiadúce vibrácie. Taktiež pri meraní dochádza časom ku poškriabaniu funkčnej plochy disku a tieto kruhové škrabance sa pri každom ďalšom upnutí a meraní tvoria so stredom vždy v inom mieste. Tým vznikajú na funkčnej ploche disku miesta, kde sa kružnice pretínajú a tie negatívne ovplyvňujú optickú viditeľnosť miesta styku funkčných plôch prístroja, čím vznikajú nepresnosti vo výsledkoch merania. Nepriamo tak predražujú prevádzku stroja, keďže treba drahý disk častejšie obmieňať a vibrácie by mohli skracovať životnosť uloženia hriadeľa. Problém sa dá odstrániť centrovaním disku. Ak bude disk upnutý vždy so stredom v jednom bode, škrabance sa nebudú krížiť a vibrácie by nemali vznikať. Tak zvýšime presnosť merania a značne predĺžime životnosť disku, čo priaznivo ovplyvní náklady na prevádzku stroja.



Obr. 13 Škrabance na disku

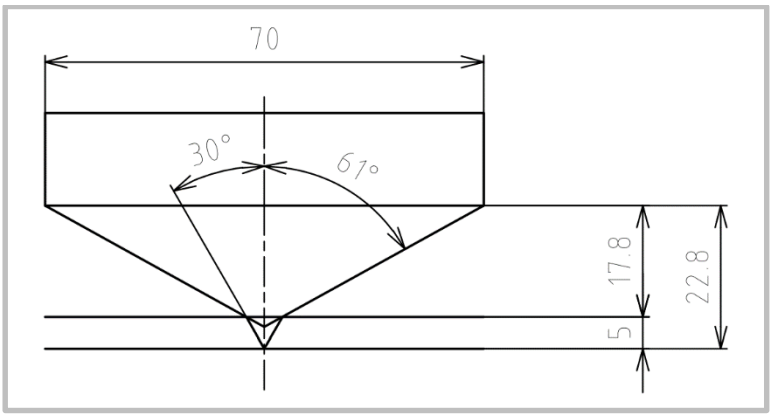
Druhý problém vzniká po dokončení merania. Disk je nutné zo stroja vybrať a pripraviť na ďalšie použitie. Po uvoľnení upínača však disk zostáva zapustený vo vani stroja. Medzi okrajom disku a vaňou je vôľa len 5 mm. Vonkajšia hrana vane siaha voči čelnej ploche hriadeľa do výšky 17 mm. Manipulácia s diskom je pomocou rúk v tomto prípade nemožná. Obsluha používala na vytiahnutie disku rôzne náradie. To predlžuje čas potrebný na odobratie disku a znižuje efektivitu aj pohodlie pri obsluhe stroja. Zároveň vzniká riziko poškodenia disku poškriabaním alebo pádom pri takejto manipulácií. Budem sa preto tiež venovať možnostiam zlepšenia odoberania disku po dokončení merania.



Obr. 14 Medzera pri nasadenom disku

Tretí problém sa vyskytol v priebehu riešenia pôvodného zadania bakalárskej práce. Vznikla požiadavka používať pri meraniach termokameru. Model *Flir SC5000,* ktorý bol na tento účel zvolený a zakúpený disponuje 5 × micro objektívom s krátkym a fixným ohniskom vo vzdialenosti 19,4 mm. Ohnisková vzdialenosť bude tiež ovplyvnená samotným zafírovým diskom. Pre index lomu zafíru ($n = 1{,}75$) a vrcholový uhol kužeľa ($2\alpha = 122\,°$) bol pomocou rovnice (1) spočítaný uhol zlomeného lúča ($\beta = 30\,°$). Celková ohnisková vzdialenosť bola spočítaná na 22,8 mm. Táto kamera by však v pracovnej polohe kolidovala s doteraz používaným upínačom. Bude pre to treba nielen nanovo skonštruovať systém upínania spĺňajúci primárnu požiadavku na čo najnižší profil po upnutí, ale aj upraviť už navrhnutý centrovač konštruovaný na pôvodný upínač.

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \Rightarrow \beta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{\sin 61°}{1{,}75}\right) = 30\,° \qquad (1)$$



Obr. 15 Geometria lomu optického kužeľa v zafírovom disku

4 KONCEPČNÉ RIEŠENIE

4

Pri návrhu koncepčného riešenia problémov vznikajúcich pri používaní stroja dostávame analýzou viacero varianta, často veľmi odlišných. Pre výber najvhodnejšieho variantu je dôležité správne definovať nároky na funkciu, výrobu a obsluhu jednotlivých elementov modifikovaného upínacieho systému disku. Je potrebné zohľadniť základné konštruktérske zásady a využiť znalosti získané v kapitole venujúcej sa súčasnému stavu poznania.

4.1 Centrovanie

4.1

Centrovanie má prebiehať rýchlo a jednoducho. Vibrácie vznikajú, ak ťažisko rotujúceho objektu neleží na ose rotácie sústavy. A keďže vieme, že množstvo hmoty v disku je priamo úmerné vzdialenosti od osy rotácie, je logické centrovať disk ku vonkajšiemu obvodu a nie ku upínaciemu otvoru. Disk by mal vždy pri osadení zaujať rovnakú polohu. To docielime dosadacími plochami alebo konzolou viazanou k ose rotácie hriadeľa. Pri meraní musí byť disk voľne pohyblivý a centrovač nemôže prekážať v časti merania. Plochy ustavujúce disk do správnej polohy musia byť teda aktívne pohyblivé. Musia sa dať odstrániť alebo odsunúť po upnutí, pred začatím merania. Ich radiálna vzdialenosť voči ose rotácie však musí byť čo najpresnejšia. K dosiahnutiu najväčšej presnosti sa vyhýbam komplikovanejším mechanizmom a snažím sa návrh čo najviac zjednodušiť. Iba tak sa odstránia vôle a zbytočné náklady na výrobu. Taktiež vieme, že na ustavenie telesa do presnej polohy je treba aspoň tri body. Tieto body by mali byť umiestnené na kružnici, pokiaľ nám priestor dovoľuje, s vzájomným rozstupom 120 °. Tieto poznatky sme využili ku vytvoreniu viacerých návrhových variantov centrovača.

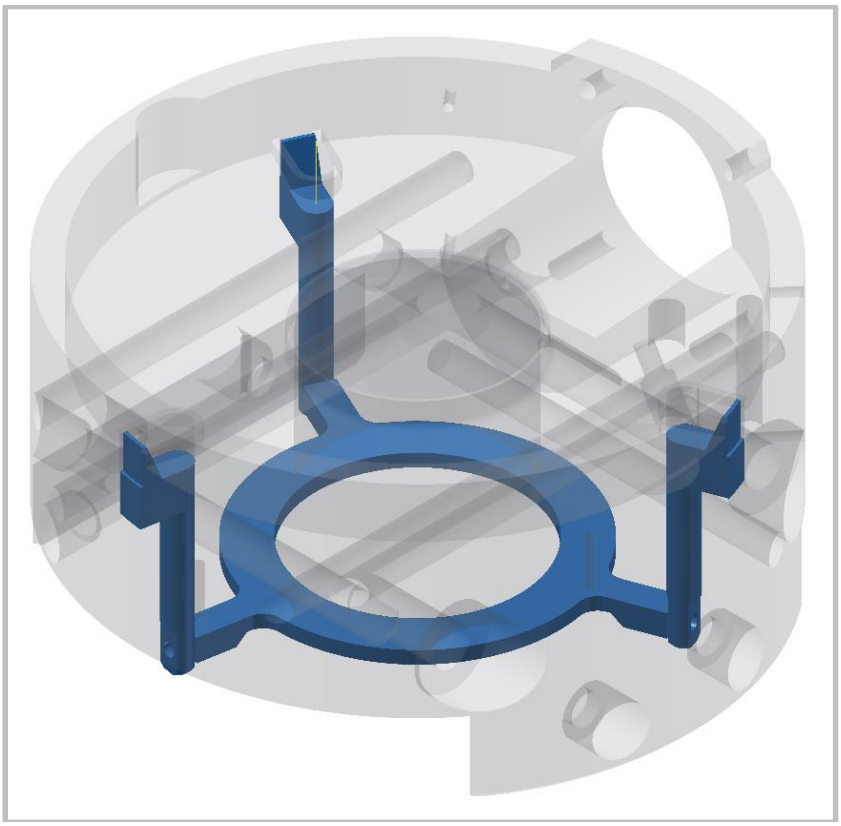
4.1.1 Variant A

4.1.1

Tento návrh využíva voľného miesta v priestore vane pod diskom. Trojica centrovacích hlavičiek, pohyblivo uchytených o vaňu stroja, je posuvná v smere osy rotácie. Tak sa docieli vyššia presnosť ako v prípade radiálneho posuvu. Treba však zaistiť utesnenie hlavičiek v rovine spodnej plochy vane, pretože vaňa slúži na zachytávanie meranej kvapaliny ktorá môže byť pri meraní rozstrekovaná a je nežiaduce, aby kvapalina odtekala mimo vaňu. To by malo dopad na presnosť a funkčnosť centrovača, nehovoriac o nutnosti čistenia stroja po každom meraní. Tesnenie pozostáva z dvoch prvkov. Hlavným je vytvorenie zvýšeného okraja okolo hlavičky, čo zabráni zatekaniu už odkvapnutej tekutiny a druhé je použitie zvýšených presností uloženia diera/hriadeľ ktoré zabráni zatečeniu kvapaliny do mechanizmu centrovača vo vnútri vane. Hlavička je vytvarovaná k jednoduchšiemu vkladaniu disku a k jeho ustaveniu do správnej polohy. Tak však vzniká závislosť výšky vysunutia hlavičky a presnej radiálnej polohy centrovacieho bodu voči ose. Je preto nutné zaručiť, aby sa všetky tri hlavičky vysunuli rovnako vysoko, čoho je docielené pevným spojením týchto hlavičiek trojcípou konzolou vo vani stroja. Hlavičky sa posúvajú v presnom kruhovom vedení. Pri vkladaní disku sú hlavičky vytlačené konzolou do hornej úvrate, ktorá vymedzí ich presnú radiálnu aj axiálnu polohu v priestore. Disk sa pri vložení skĺzne po hrane hlavičky a pri dosadnutí na plochu na hriadeli je jeho ťažisko v ose rotácie. Povolením konzoly hlavičky klesnú späť do

vane. Aby nedochádzalo k zaseknutiu hlavičiek v centrovacej polohe, sú súčasťou mechanizmu pružinky, ktoré silovým pôsobením dopomôžu zasunúť hlavičky.
Pri návrhu bol zvolený rozsah pohybu medzi hornou a dolnou úvraťou 10,5 mm. To je na funkčnosť stroja dostatočné a eliminuje to nároky na priestor vo vani stroja.

PLUSY: automatickosť, úspora priestoru aj času
MÍNUSY: komplikovanosť, menšia presnosť



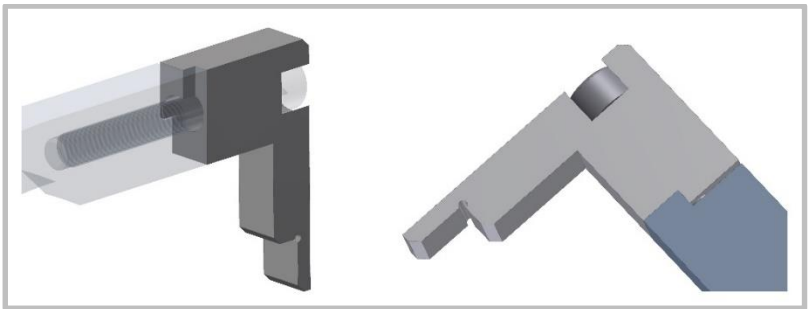
Obr. 16 Spodný centračný mechanizmus

4.1.2 **Variant B**

V snahe minimalizovať počet členov sústavy a tým aj vzniku odchylok a vôlí bol vytvorený návrh pasívnej konštrukcie centrovača. Toto riešenie ale neplní predpoklad automatického centrovania a to preto, lebo ho musíme nasadiť a odobrať ručne. Konštrukcia pozostáva z troch hlavičiek pevne viazaných ku konzole. Tá sa nasadí až po upínači disku a jej poloha je viazaná ku presnej diere v centrovači. Uloženie diera/hriadeľ je prevedené s presnosťou H7/h7. Po nasadení ustaví disk na miesto a otvory v jeho konštrukcii dovolia dotiahnuť pôvodný upínač. Po upnutí konzolu ručne odstránime, čím uvoľníme priestor pre pohyb disku a optický aparát stroja.

PLUSY: presnosť, cena
MÍNUSY: komplikuje upínanie, nutnosť skladovať ďalší diel stroja

Obr. 17 Vrchný centračný mechanizmus



Obr. 18 Detail vymeniteľnej hlavičky centrovača

4.2 **Vyhadzovanie**

Vyhadzovanie disku po dokončení merania je dôležitou funkciou upínacieho mechanizmu. Vyhadzovač bude často používaný a jeho mechanizmus by nemal ovplyvňovať funkčnosť a presnosť stroja. Styk vyhadzovača a disku by mal byť realizovaný v nefunkčnej časti disku. Smer vyhadzovania je rovnobežný s hlavnou osou rotácie v smere preč od vane stroja, takže smerom nahor. Preto volíme na styk vyhadzovača a disku nefunkčnú oblasť na spodnej strane disku v blízkosti osi rotácie alebo po obvode disku v oblasti styku centrovača.

Vyhadzovanie prebieha až po meraní a preto presnosť ani iné vlastnosti vyhadzovača nemajú vplyv na výsledky merania. Výnimka však môže nastať, ak je mechanizmus vyhadzovača umiestnený v hriadeli, ktorý rotuje. Vtedy by sa prípadná asymetria mechanizmu vyhadzovača odzrkadlila na tvorbe nežiaducich vibrácií. Zdvih vyhadzovača, teda rozdiel vzdialenosti disku od vane stroja pred a po vyhodení, by mal byť dostatočný na pohodlné a bezpečné uchopenie a odstránenie disku z meracej časti stroja. Experimentálne bolo zistené, že je nutný úchop na celej výške obvodovej valcovej plochy. Po modifikácii vane stroja v nej boli po vnútornom obvode vytvorené vybrania na prsty, čo uľahčí vyťahovanie a zmenší nutnú výšku vyhadzovania disku.

4.2.1 **Variant A**

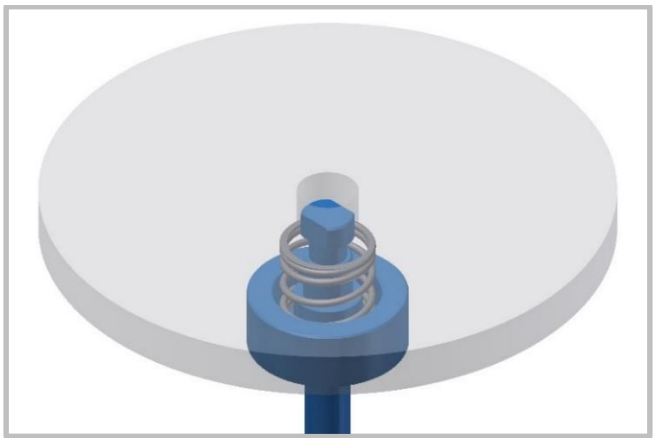
Konštruktér by sa mal pri návrhu snažiť minimalizovať počet výrobných operácií a pohyblivých častí stroja. Tak sa znížia výrobné náklady, čím bude stroj jednoduchší a spoľahlivejší. Tak vznikol návrh implementovať funkciu vyhadzovania do mechanizmu centrovača (variant A), ktorý spĺňa predpoklad pohybu v axiálnom smere osy rotácie a tiež využíva styk v nefunkčnej ploche disku. Tento variant by vyžadoval predĺženie chodu hlavičiek centrovača.

PLUSY: minimalizácia, úspora miesta
MÍNUSY: dlhší chod hlavičiek centrovača zvyšuje priestorové nároky na mechanizmus centrovača

4.2.2 **Variant B**

V tomto variante je na vyhodenie disku využitá jednoduchá špirálová tlačná pružina umiestnená v kruhovej drážke na styčnej ploche hriadeľa. Špirálová tlačná (prípadne kužeľová) vinutá pružina je na toto použitie vhodná. Tieto druhy pružín umožnia dosiahnuť dostatočný zdvih pri vyhodení a zároveň nepožadujú hlbokú drážku do ktorej sú stlačené pri upnutom disku. Tuhosť pružín musí byť dostatočná na vydvihnutie disku do požadovanej výšky a zároveň nie príliš veľká aby nekomplikovala proces centrovania a upínania. Pružina by mala mať na styku s diskom obrobený uzavretý koniec tvaru D. Tak umožníme disku kĺzať po pružine pri centrovaní bez vzniku nechcených ohybov v pružine a dosiahneme vodorovnú stabilnú polohu disku na pružine po vyhodení a zabránime tým poškodeniu disku poškriabaním spôsobeným pružinou.

PLUSY: bezúdržbovosť, cena
MÍNUSY: malá stabilita disku po vyhodení, oslabenie hriadeľa



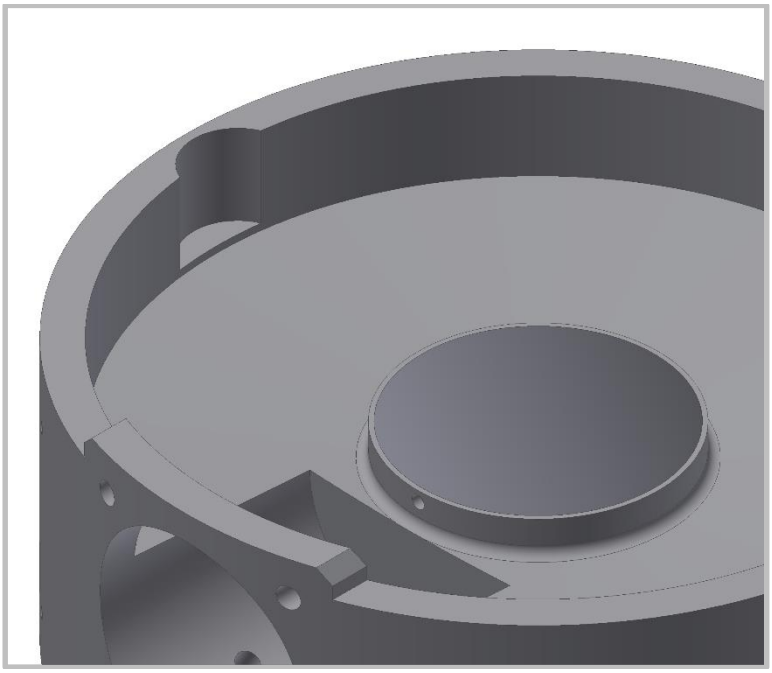
Obr. 19 Pružinový vyhadzovač po odopnutí

4.2.3 **Variant C**

Tento variant pojednáva o potrebe vyhadzovania disku a daný problém rieši lepším prístupom k disku pomocou modifikácie vane stroja. Prehĺbením vybraní na prsty, ktoré pribudli po predošlej modifikácií vane umožníme rovnako pevné a isté uchopenie disku ako po jeho vyhodení. Vybrania musia byť vhodne umiestnené voči

meranej oblasti, aby sme minimalizovali zanášanie meranou tekutinou, ktorá je rozstrekovaná pri meraní z disku do vane. Umiestnime ich preto oproti sebe a čo najďalej od meranej oblasti v smere rotácie. *Toto riešenie bolo už na stroj aplikované, avšak pri používaní nenahrádza aktívne systémy vyhadzovania.*

PLUSY: jednoduchosť
MÍNUSY: nedostatočný a nepohodlný úchop disku, zachytáva rozstrekovanú kvapalinu



Obr. 20 Vybranie na vani stroja

4.3 Upínanie

Zadaním je návrh konštrukcie upínacieho mechanizmu. To zahŕňa celú sústavu hriadele, disku a upínača. Aj keď sa problémy pri obsluhe EHD simulátora týkajú centrovania a vyhadzovania, rozhodol som sa zamyslieť sa aj nad alternatívnymi možnosťami samotného upínania. Upínač by mal spĺňať niekoľko kritérií:

- Rýchle upnutie
- Maximálna výška a priemer
- Prenos momentu
- Jednoduchá konštrukcia

Nutnosť rýchlo upnúť disk vyplýva z potreby skrátenia času prípravy merania. V strojárenstve je dôležité dbať na efektivitu práce, pretože tak znížime náklady a nutnosť školenia obsluhy na zložité úkony pri obsluhe. Montáž upínača by mala byť intuitívna a mala by prebiehať v čo najmenšom počte krokov.
Pri návrhu sa snažíme predísť nutnosti používať pri upínaní ďalšie nástroje akými sú skrutkovače, kľúče, kliešte a iné. Poznáme niekoľko všeobecne používaných druhov upínačov rotujúcich súčastí. Ako príklad uvedieme upnutie maticou v osi rotácie súčasti alebo upnutie rýchloupínacím mechanizmom na nezávislej statickej osi (koleso na bicykli – nie je vhodné na prenos momentu). Dotiahnutie upínača je

možné realizovať viacerými spôsobmi. Závit, mechanizmus alebo pomocou tlaku privedeného do upínača z externého zdroja.
Hľadáme riešenie čo najjednoduchšie a najuniverzálnejšie. Preto je ideálne použitie závitu, vďaka jednoduchej premene rotačného na priamočiary pohyb bez nutnosti ďalších prvkov. Avšak spôsob dotiahnutia by mal byť nezávislý od rotácie a pôsobenia krútiaceho momentu, aby pri prevádzke nedošlo vplyvom vibrácií a rotácie ku jeho povoleniu a nehode. To by bolo veľmi nebezpečné, keďže disk o hmotnosti 450 g rotuje rýchlosťou až 4500 otáčok za minútu. Mali by sme sa preto vyhnúť spôsobu doťahovania pomocou matice v hlavnej osi rotácie, čo je riešenie najjednoduchšie, ale bez poistného prvku (ktorý by mohol zvýšiť výšku upínača nad horným krytom stanovené maximum) nebezpečné. Ak však uvažujeme o presune závitu mimo osu rotácie, spôsobí to nevyváženosť upínača a iniciáciu ďalších vibrácií. Musíme zachovať symetrickosť prvkov a zároveň vhodné rozloženie pôsobiacich síl od upínača na disk. Ideálne použiť otvory tri, rovnomerne rozložené po obvode upínača s uhlovým rozostupom 120 °.

Obr. 21 Súčasný upínač disku

5 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

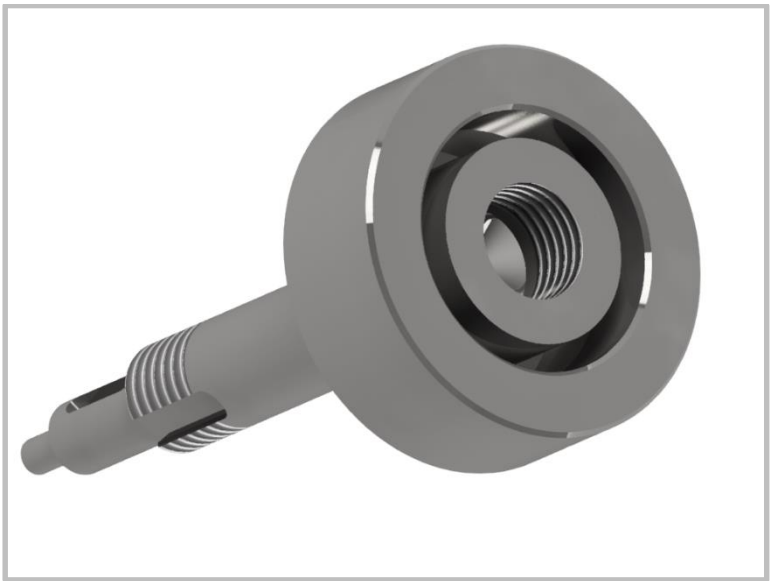
Konštrukčné riešenie je obsiahla úloha úzko prepojená s koncepčným riešením, pretože konštruktér musí zohľadňovať množstvo kritérií už od prvých krokov návrhu. Pri konštrukcií však už musí nielen zohľadniť, ale aj aplikovať a spočítať všetky návrhové kritéria. Pri konštruovaní upínacieho systému pre EHD simulátor kladieme prioritu na presnosť a použiteľnosť pred nákladmi a dobou výroby. Jedná sa totiž o malosériovú výrobu, pri ktorej je výrobná cena v pomere ku dĺžke a nárokom použitia menej podstatná.

5.1 **Hriadeľ**

(BP-100-01)

Hlavný rotačný prvok poháňanej časti stroja. Pôvodný hriadeľ treba upraviť a namiesto vytŕčajúceho tŕňa vyvŕtať dieru, narezať závit M14×1,5 a vysústružiť axiálny zápich šírky 3 mm. Tieto úpravy by bolo teoreticky možné aplikovať na pôvodný hriadeľ, avšak ten je povrchovo nitridovaný na vysokú tvrdosť, čo by veľmi komplikovalo obrábanie. To nie je z dôvodu použitých vysokých presností tvaru a geometrie prípustné. Hriadeľ je preto nutné vyrobiť nový.

Drážka na pružinu je najmenšej jednoduchp vyrobiteľnej šírky. Závit s malým stúpaním bol zvolený na citlivejšie doťahovanie a zároveň na dosiahnutie lepšej súosovosti, ktorá ovplyvní celé centrovanie.



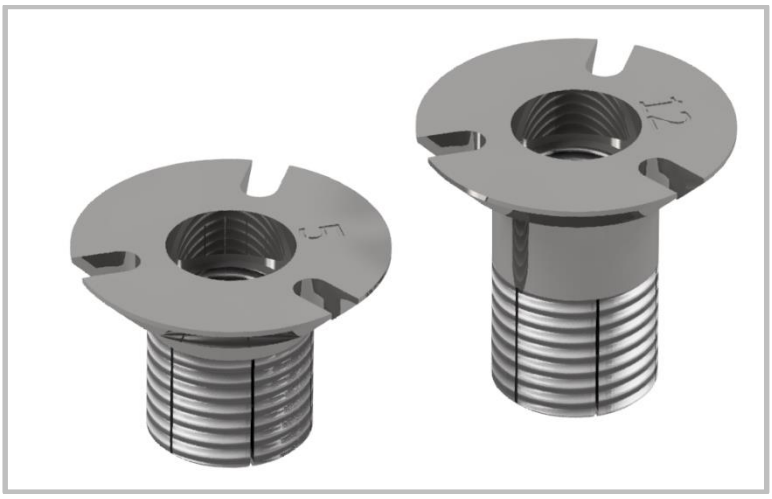
Obr. 22 upínacia časť hriadele

5.2 **Upínač**

(BP-130-01, BP-150-01)

Súčasť podobná dutej skrutke slúži na priame upnutie. Časť vonkajšieho závitu M14×1,5 je rozrezaná v 3 rovinách (zvierajúcich vzájomné uhly 120 °), čo umožní radiálne rozovretie závitu pri pôsobení tlaku od aretačnej poistky. Tento diel je nutné vyrobiť v dvoch prevedeniach. Každý slúži na upnutie rôznych diskov, ktoré sa pri meraní používajú. Názvy súčastí v súčastí priložených výkresov sú označené podľa hrúbky daných diskov. Tento údaj je pre jednoduchšiu obsluhu stroja značený aj na čele upínača.

Dutina obsahuje presné uloženie ø11H7 hĺbky 5 mm na osadenie tŕňa centrovača, závit M10×1 a kužeľové plochy slúžiace na pretvorenie pohybu axiálneho, od poistky, na radiálny, potrebný k aretácií závitu. Na prenos doťahovacieho momentu z centrovacieho tŕňa su po obvode (3 × 120 °) upínača vyfrézované tri drážky šírky 3,2 mm, do ktorých pri centrácii a upínaní zapadnú kolíky ø3m6 osadené v centrovacom tŕni. Kontaktná kužeľová plocha v styku upínača a krúžku má úkos 45 °, čím dosiahneme ideálny kompromis medzi dostatočnou tuhosťou a vhodným prenosom síl pri upínaní.

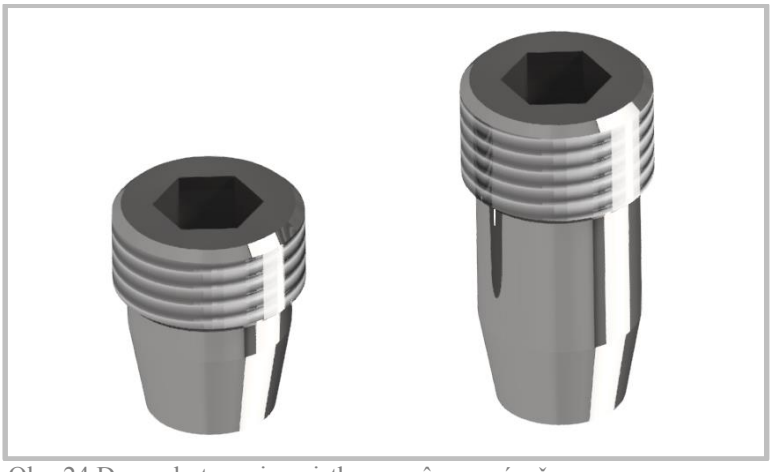


Obr. 23 Dve vyhotovenia upínača pre rôzne hrubé disky

5.3 **Poistka**

(BP-130-02, BP-150-02)

Súčasť zabraňujúca uvoľneniu závitu vplyvom vibrácii alebo momentu. Môžeme ju rozdeliť na hlavu, driek a kužeľ. Pomocou hlavy vybavenej závitom M10×1 sa poistka skrutkuje do upínača. Musí k tomu dôjsť ešte pred upínaním samotným, pretože zároveň vystužuje závit upínača. Driek má priemer 8,5 mm a dĺžku podľa verzie vyhotovenia. Kužeľ je funkčná plocha poistky a práve ním premeníme axiálnu silu na radiálnu. Kužeľ má úkos 10 °.



Obr. 24 Dve vyhotovenia poistky pre rôzne upínače

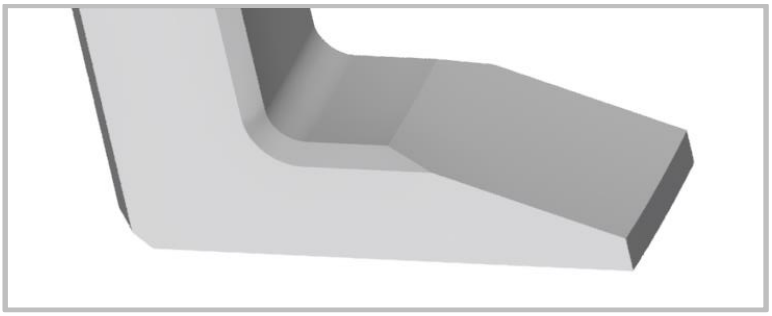
5.4 **Centrovač**

(BP-130-03, BP-150-03)

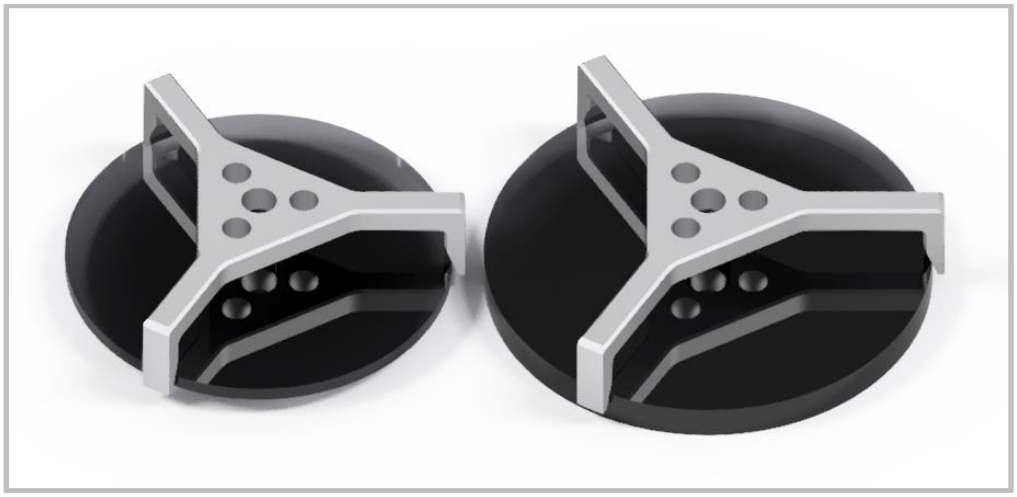
Jedna z hlavných súčastí, na ktoré sa táto práca zameriava. Ako konštrukčný návrh centrovača bol zvolený **variant B**. Tento návrh je v praxi značne jednoduchší na realizáciu a umožňuje centrovať s vysokou presnosťou. Pri jeho konštrukcii sa prešlo od návrhu pozostávajúceho z centrálnej „hviezdice“ a vymeniteľných hlavičiek (obr. 18) k jednodielnej konštrukcii. Hlavnými dôvodmi boli presnosť, jednoduchšia a rýchlejšia výroba a odstránenie nutnosti obmieňať hlavičky centrovača.
Hlavnými kritériami návrhu boli:

- Čo možno najväčšia geometrická presnosť súosovosti stredového centračného otvoru voči funkčným kužeľovým plochám na hlavičkách centrovača
- Centrácia vonkajšej hrany disku k ose rotácie hriadeľa
- Vyrobiteľnosť pomocou základných a dostupných výrobných technológií
- Jednoduchá obsluha centrovača
- Dostatočná pevnosť zabezpečujúca spoľahlivé centrovanie aj pri hrubšom zaobchádzaní s centrovačom

Centrovač musí centrovať dva rôzne priemery diskov a to 130 mm a 150 mm, a tak volím centrovače dva. Ako polotovar na výrobu bol zvolený 32 mm dlhý odrezok z kruhovej tyče priemeru 140/160 mm. Na jedno upnutie sa tak na sústruhu obrobia funkčné plochy, čo zaručí požadovanú geometrickú presnosť. Výsledný tvar hviezdice získame elektroerozívnym drôtovým rezaním.
Priemer obrobku je 138/158 mm, čím dosiahneme maximálnu pevnosť centrovacích hlavičiek pri zachovaní malej, ale dostatočnej vôle voči vani stroja. Kužeľ tvoriaci funkčné plochy hlavičiek bol zvolený s úkosom 20 °, čo umožní ustavenie disku pri nasadení centrovača a zároveň vytvorí určitý rozsah priemerov vhodných k centrácii. Ramená centrovača boli po konzultácii navrhnuté mohutnejšie, čo zaručí odolnosť voči hrubému zaobchádzaniu. Ide predsa o odoberateľný prvok stroja, s ktorým bude ručne manipulované aj mimo pracovného stola, čo zvyšuje riziko poškodenia pádom. Hlavný centračný otvor bolo potrebné navrhnúť čo najväčší. To zabezpečí presnú, stabilnú a kolmú polohu pri centrovaní a ponechá len dva požadované stupne voľnosti. Centrovač disponuje trojicou otvorov pre lepšie uchopenie a odľahčenie. Trojramenný tvar centrovača vychádza z predpokladu, že sú potrebné práve tri body na ustavenie do presnej polohy a zároveň zaručuje dobrú ergonómiu pri používaní. Taktiež skosené hrany a rohy spríjemňujú použitie a znižujú riziko úrazu, poškodenia stroja aj centrovača pri páde. Centrovač umožní centrovať disky v rozsahu priemerov 124÷134 mm a 144÷154 mm.



Obr. 25 Detail kužeľovej plochy centrovača



Obr. 26 Dve varianty centrovača v prevádzkovej polohe voči disku

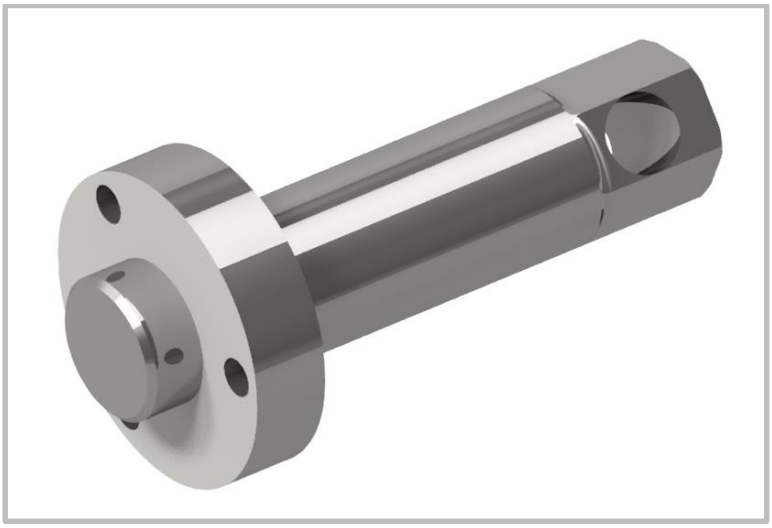
5.5 **Centrovací tŕň**

(BP-100-03)

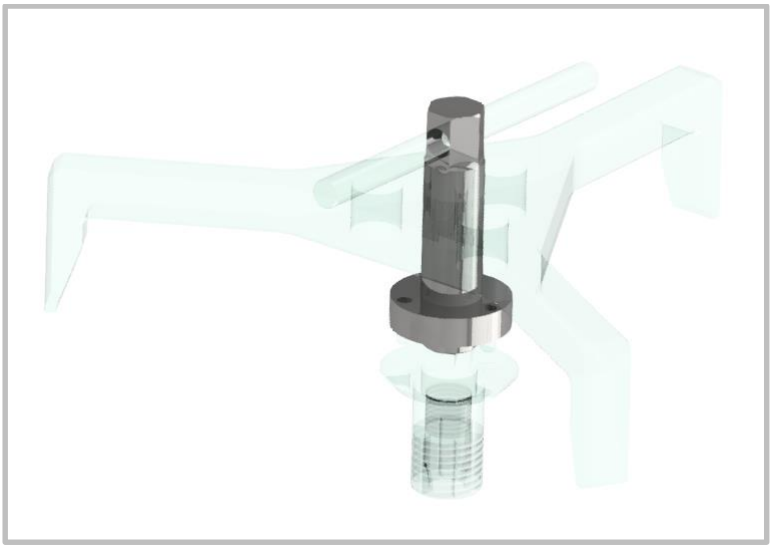
Je to geometricky presná valcová súčasť, ktorá nie je súčasťou stroja počas merania. Má dve hlavné využitia.

- Upínací nástroj (kľúč)
- Kolík (predlžujúci presnú os rotácie)

Osadenie tŕňu do upínačej skrutky je realizované uložením ø11H7/h6 a zároveň na dosiahnutie najväčšej možnej súosovosti sa opiera aj čelnou plochou osadenia na prenos momentu. To má priemer ø24 a dĺžku 6 mm zvolenú tak, aby dostatočne pevne uchytila kolíky ale zároveň neobmedzila reálny pracovný chod centrovača. Diery na kolíky sú vŕtané a výstružníkom dokončené na presný rozmer ø3H7. Najdlhšie osadenie na tŕni má dĺžku 28,5 mm a pohybuje sa po ňom centrovač. Priemer v tejto časti by mal byť dostatočný na presné ustavenie centrovača na osu rotácie nielen polohou ale aj geometriou súososti. Bolo zvolené šmykové uloženie ø12H7/h6 ktoré je vhodné na presné vedenia ktoré sa majú po sebe ľahko posúvať [11]. Centrovací tŕň je zakončený šesťhranom štandardného rozmeru 10 mm s dierou na páku. Obsluha má tak možnosť použiť na upínanie aj momentový kľúč a tak experimentálne optimalizovať upínací moment. Celková dĺžka tŕňa je 50 mm. Ide o univerzálnu súčasť ktorá kooperuje s centrovačmi aj upínačmi na oba rozmery upínaných diskov.



Obr. 27 Centrovací tŕň



Obr. 28 Centrovací tŕň v symbolickom zobrazení pri používaní

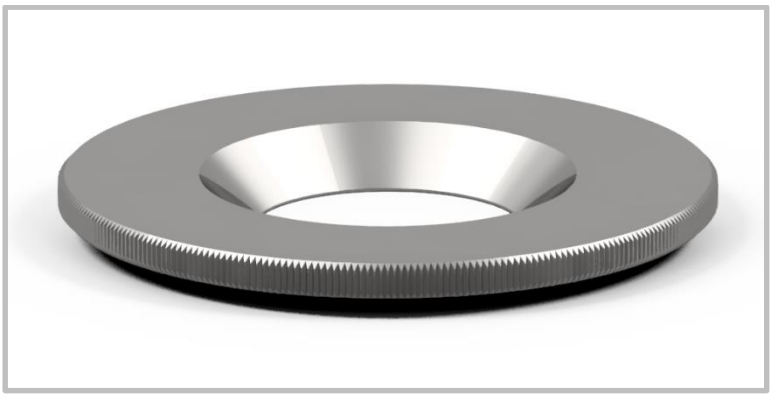
5.6 **Krúžok**

(BP-100-02)

Súčasť prenášajúca upínacie sily na disk. Jej konštrukcia je kľúčová pre dosiahnutie nízkeho profilu upínača. Krúžok má priemer 49 mm ktorý vychádza z už existujúcich teflónových podložiek podkladaných pod upínač. Teflónové podložky slúžia na lepší prenos momentu a ako pružný člen ktorý je pri upnutí sklenených a zafírových diskov nutnosťou (predovšetkým z dôvodu teplotnej dilatácie). Výška krúžku je 4,3 mm čo po osadení podložky dá absolútnu výšku 4,7 mm. Spolu s diskom hrúbky 5 mm sme dosiahli bezpečnú manipulačnú medzeru 13 mm medzi rotorom a optikou kamery. Simulátor tak môže byť uzavretý tepelne izolačným vekom pre minimalizáciu tepelných strát do okolia.

Krúžok má kuželovú dieru s úkosom 45 ° ktorá zaručuje prenos upínacej sily od upínača. Krúžok je po obvode ryhovaný. Pri doťahovaní skrutky by totiž

dochádzalo k pretáčaniu hriadeľa, čomu dokážeme vhodným pridržaním a pritlačením krúžku zabrániť. Zároveň vznikne určitý druh poistky proti strhnutiu závitu pri doťahovaní príliš veľkým momentom. Medzi ryhovaním a plochou disku je vôľa len 2 mm (teflónová podložka) čo môže viesť ku znečisteniu disku pri upínaní. Obsluha by preto mala s krúžkom manipulovať v textilných rukaviciach.



Obr. 29 Krúžok s ryhovaním pre pridŕžanie počas upínania

5.7 **Vyhadzovacia pružina**

(BP-100-06)

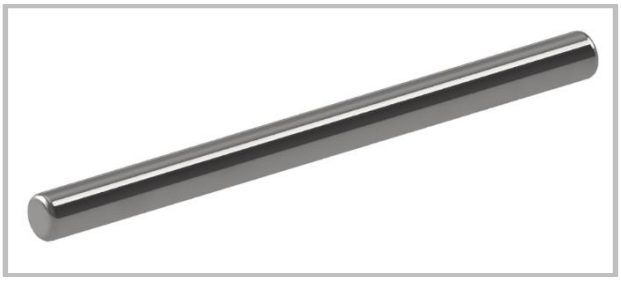
Zo zadaných parametrov vyhadzovača vyplýva ako najvhodnejší **variant B.** Jej konštrukcia je veľmi jednoduchá. Pozostáva z vytvorenia drážky vhodných rozmerov do upínacej plochy hriadeľa a voľby vhodnej pružiny. Priemer pružiny, materiál a hrúbka drôtu boli zvolené tak, aby pružina pri uvoľnení vyzdvihla disk o hmotnosti 450 g (hmotnosť 150 mm disku) do výšky 19,6 mm nad čelnú plochu hriadeľa. Pri upínaní pružina pôsobí silou 9,6 N. Hĺbka drážky je 9 mm čo je kompromis medzi pevnosťou hriadeľa a dostatočnou hĺbkou na schovanie pružiny počas upnutia disku.

Obr. 30 Pružina vyhadzovača

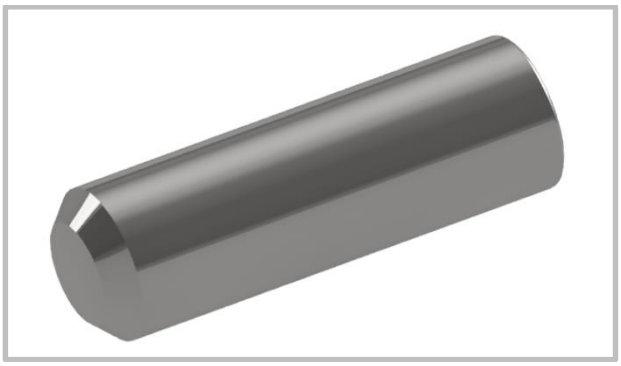
5.8 **Kolík a páka**

(BP-100-05, BP-100-04)

Pomocou páky je vytváraný upínací moment na centrovací tŕň. Tri kolíky slúžia na prenos krútiaceho momentu pri doťahovaní upínacej skurtky pomocou centrovacieho tŕňa. Tieto súčasti je z ekonomického hľadiska najvýhodnejšie vyrobiť z presných valcových kalených kolíkov. V prípade kolíku ide o typ DIN 6325 ø3m6 a v prípade páky DIN 6325 ø6h6. Uloženie páka/tŕň je s vôľou, takže ľahko rozoberateľné, čo zjednoduší výmenu centrovača. Dĺžka páky je 80 mm čím minimalizujeme riziko poškodenia závitu pri upínaní.



Obr. 31 Páka



Obr. 32 Kolík

5.9 **Voľba materiálu**

Pri konštruovaní treba zakaždým dbať na správnu voľbu materiálu. Pri výbere správneho materiálu treba zohľadniť všetky podstatné parametre sprevádzajúce život súčasti.

- Nákupná cena materiálu
- Obrobiteľnosť/odlievateľnosť
- Vhodné pevnostné parametre
- Chemické a mechanické opotrebenie

Netreba však zabúdať ani na dostupnosť materiálu, pretože voľba nedostupného materiálu zdrží výrobu, čo sú často náklady vyššie, ako pri voľbe drahšieho, ale dostupnejšieho materiálu.

5.9.1 **Hriadeľ**

Použitie pôvodného materiálu hriadeľa (17 460) je predimenzované na dané použitie a zaťaženie. Zvolený bol bežnejší materiál **15 142** ktorý sa zušľachtí na **30-35 HRC**.

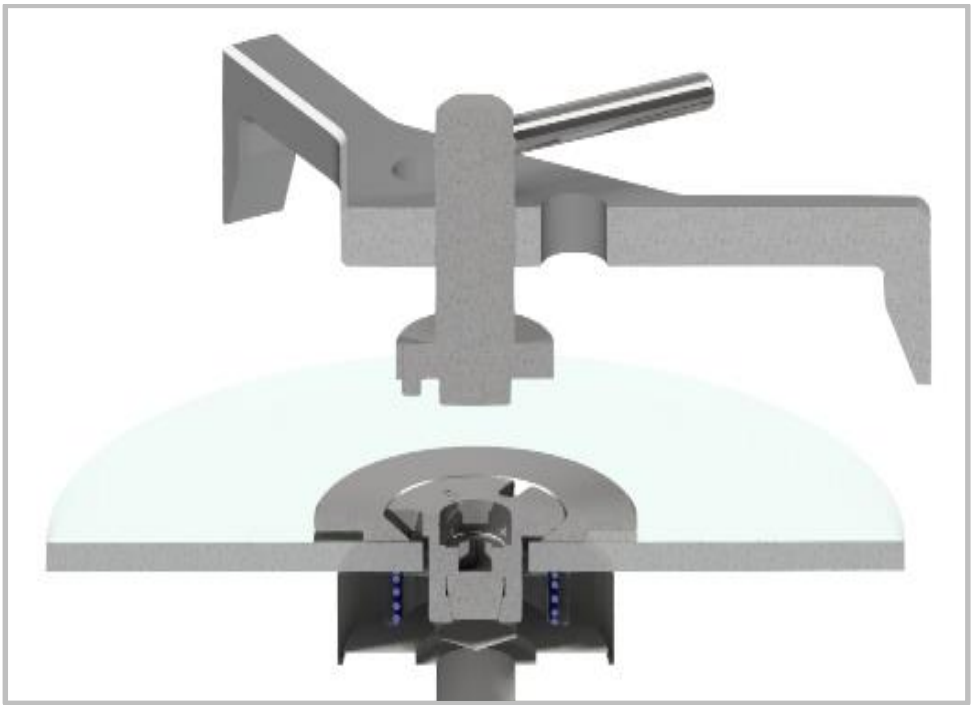
5.9.2 **Upínač, poistka, krúžok a centrovací tŕň**

Na dané súčasti mechanizmu je kladená podmienka korozivzdornosti, ktorá sa dá dosiahnuť povrchovou úpravou alebo voľbou korozivzdorného materiálu. Keďže sa dané súčasti budú vzájomne trieť, bola zvolená najpoužívanejšia antikorózna chrómniklová oceľ **17 240**.

5.9.3 **Centrovač**

Súčasť centrovača je vyrobená z jedného kusu kruhového polotovaru ø160×32. Z rovnice (2) vyplýva, že až 95 % materiálu bude pri obrábaní odstránených. Z ekonomického hľadiska nezohráva cena polotovaru pri kusovej výrobe významnú položku, avšak pri danom rozsahu obrábania sa prejaví vhodný materiál na cene výroby. Bola zvolená tepelne nevytvrditeľná hliníková zliatinu **AlMg4,5Mn**, ktorá je dostupná, ľahká, dobre obrobiteľná a dostatočná na danú aplikáciu [5]. Pri výbere materiálu bol zvažovaný aj vhodný plast a výroba technológiou 3D tlače. Dosiahla by sa tak výrazná úspora ceny výroby, ale centrovač by nedokázal vhodne plniť svoj účel. Dochádzalo by ku opotrebeniu trením o sklenený disk. Zvýšila by sa tiež náchylnosť na tepelnú dilatáciu a znížila odolnosť pri prípadnom páde/náraze súčasti.

$$\eta_o = 100 \cdot \left(1 - \frac{V_C}{V_H}\right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{33593}{643398}\right) = 94{,}78\% \qquad (2)$$



Obr. 33 Celá zostava upínača a centrovača po upnutí a odobraní tŕňa v reze

6 DISKUSIA

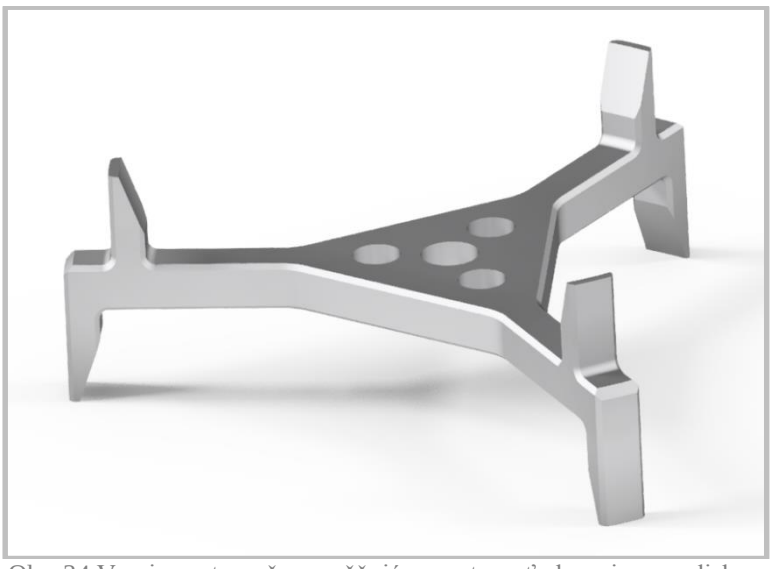
Bakalárska práca mala riešiť reálne problémy súvisiace s používaním EHD simulátora, ku ktorým v priebehu riešenia pribudla požiadavka na použitie IR kamery v kombinácii s ďalším variantom disku (130/5 mm). Z počiatku bola vyhotovená rešerš v oblastiach centrovania, vyhadzovania a upínania, na základe ktorej bolo navrhnutých niekoľko koncepčných možností riešenia. Priradením možných kladov a záporov daných konceptov pri reálnom používaní stroja bolo možné vybrať vhodné riešenia, ktoré boli ďalej upravené do vhodnej podoby. Pri konštruovaní jednotlivých častí bolo nutné z dôvodu vzniku nového problému s maximálnou výškou upínača začať takmer odznova. Konštrukčný návrh, ktorý je vo forme výkresovej dokumentácie výstupom tejto práce obsahuje hriadeľ, upínač s poistkou, krúžok, pružinu, centračný tŕň, centrovač, páku a kolík. To tvorí kompletnú sadu upínania pre oba disky rôznych rozmerov.

Vhodnosť a funkčnosť riešenia ako aj konkrétne hodnoty presnosti po upnutí bude potrebné overiť experimentálne po výrobe a aplikácii návrhu na stroj. Teoreticky by však centrovanie malo zaručiť **súosovosť v ráde desatín mm,** čo je v porovnaní s doterajším necentrovaným upínaním dostatočné na odstránenie problému s krížiacimi sa škrabancami na disku.

Vyhadzovač je ľahko odhadnuteľný a spočítateľný. Vhodná pružina však nebola ponúkaná v žiadnom katalógu normálii. Výroba vhodnej pružiny nepredstavuje v porovnaní so zvyškom zostavy ekonomický ani technický problém. Takáto pružina vydvihne po odopnutí disk do výšky **19,6 mm nad čelo hriadeľa,** čo je dostatočné na bezpečné uloženie disku pred meraním a pohodlné ručné odobratie disku po meraní.

Upínač využíva už používané teflónové podložky, čo je ekonomicky výhodné. Jeho **výška s podložkou je 4,7 mm** čo je oproti používanej verzii menej ako polovica. Pri dosiahnutej výške nehrozí kolízia s kamerou a vznikol ďalší priestor na tepelnú izoláciu.

Ako možné zlepšenie vidím spojenie dvoch centrovačov do jednej, obojstranne využiteľnej súčasti. Tak by bola značne znížená výrobná cena pri zachovaní technických aj ergonomických parametrov.



Obr. 34 Verzia centrovača umožňujúca centrovať oba priemery diskov

7 ZÁVER

Táto práca obsahuje konštrukčné riešenie zadaných problémov pri upínaní disku do simulátoru. Taktiež poskytuje riešenie nového problému s maximálnou výškou upínača a kompatibilitou upínania oboch diskov. Podarilo sa navrhnúť kompletný systém upínania a súčasného presného centrovania. Vyhadzovanie disku do polohy vhodnej na manipuláciu prebieha automaticky po jeho uvoľnení. Návrh sa pokúša vyhovieť aj po stránke ergonómie pri používaní. Reálne dosiahnutá presnosť centrovania a prípadné nedostatky celej zostavy budú experimentálne odskúšané priamo na stroji.

Prebehlo aj nacenenie výroby každej súčasti návrhu, ktoré je k nahliadnutiu v prílohe. Aj napriek snahe minimalizovať výrobné náklady je cena výroby vysoká. Zodpovedá však kusovej výrobe, malej veľkosti jednotlivých súčastí a zvýšeným nárokom na presnosť sústavy. Súčasťou práce je kompletná výkresová dokumentácia.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

[1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

[2] MEDLÍK, J. *Konstrukce optického mikroviskozimetru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. Pojednání ke státní doktorské zkoušce. 27s. Vedoucí práce Prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.

[3] KOŠTÁL, D. Manuál obsluhy elastohydrodynamického simulátoru. Brno, 2015.

[4] KOZEL, L. *Přehled současných metod zjišťování tlaku v mazaném kontaktu třecích povrchů.* Brno, 2007. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Michal Vaverka, Ph.D.

[5] Technické údaje - hliník. *ALU CAD Bohemia* [online]. 2010 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf

[6] KOŠŤÁL, D. *Studium utváření mazacích filmů za podmínek nedostatečného zásobování kontaktu mazivem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 74 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.

[7] Držák nástrojů s válcovou stopkou Weldon DIN1835-B (DM-386/2). *Markagro* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.markagro.cz/drzak-nastroja-s-valcovou-stopkou-weldon-din1835-b-din69871-axd-l1-dm-386-2/

[8] Sklíčidlo soustružnické tříčelisťové. *Markagro* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.markagro.cz/sklicidlo-soustruznicke-tricelistove/

[9] Defining a Mold. *Outlaw Solutions and Concepts* [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: http://www.outlawsolutionsandconcepts.com/manufacturing-development-guide/what-is-a-mold.html

[10] Hliníkový rýchloupínač. *Essentra Components* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: http://www.essentracomponents.sk/hlinikovy-rychloupinac

[11] SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-584-6.

[12] HUŇKA, R. Rešerše nástrojových upínacích rozhraní frézovacích strojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 46s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík

9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

9.1 Zoznam použitých symbolov a veličín

n	[-]	index lomu
α	[°]	polovičný vrcholový uhol ohniskového kužeľu
β	[°]	uhol zlomeného lúča
η_o	[%]	percento odpadu
$V_{Č}$	[mm^3]	čistý objem
V_H	[mm^3]	hrubý objem

9.2 Zoznam použitých skratiek

EHD	Elastohydrodynamický
IR	Infra Red (infračervený)

10 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 EHD simulátor....12
Obr. 2 Upínací tŕň....13
Obr. 3 Nasadenie disku [3]....13
Obr. 4 Nasadenie upínača [3]....13
Obr. 5 Nasadenie upínača [3]....14
Obr. 6 Aparatúra pripravená k meraniu....14
Obr. 7 Kónický upínač nástroja [7]....15
Obr. 8 Sústružnécke sklučovadlo [8]....15
Obr. 9 Vyhadzovač formy [9]....16
Obr. 10 Bajonetová základňa....17
Obr. 11 Bajonetová matica....18
Obr. 12 Schéma rýchloupínača [10]....18
Obr. 13 Škrabance na disku....19
Obr. 14 Medzera pri nasadenom disku....20
Obr. 15 Geometria lomu optického kužeľa v zafírovom disku....20
Obr. 16 Spodný centračný mechanizmus....22
Obr. 17 Vrchný centračný mechanizmus....23
Obr. 18 Detail vymeniteľnej hlavičky centrovača....23
Obr. 19 Pružinový vyhadzovač po odopnutí....24
Obr. 20 Vybranie na vani stroja....25
Obr. 21 Súčasný upínač disku....26
Obr. 22 Upínacia časť hriadeľa....27
Obr. 23 Dve vyhotovenia upínača pre rôzne hrubé disky....28
Obr. 24 Dve vyhotovenia poistky pre rôzne upínače....28
Obr. 25 Detail kužeľovej plochy nožičky centrovača....29
Obr. 26 Dve variantay centrovača v prevádzkovej polohe voči disku....30
Obr. 27 Centrovací tŕň....31
Obr. 28 Centrovací tŕň v symbolickom zobrazení pri používaní....31
Obr. 29 Krúžok s ryhovaním pre pridŕžanie počas upínania....32
Obr. 30 Pružina vyhadzovača....32
Obr. 31 Páka....33
Obr. 32 Kolík....33
Obr. 33 Celá zostava upínača a centrovača po upnutí a odobraní tŕňa v reze....34
Obr. 34 Verzia centrovača umožňujúca centrovať oba priemery diskov....35

11 ZOZNAM PRÍLOH

11.1 Výkresová dokumentácia

BP-100-01 Hriadeľ
BP-100-02 Krúžok
BP-100-03 Centrovací tŕň
BP-100-04 Páka
BP-100-05 Kolík
BP-100-06 Pružina
BP-130-01 Upínač 5mm
BP-150-01 Upínač 12mm
BP-130-02 Poistka 5mm
BP-150-02 Poistka 12mm
BP-130-03 Centrovač 130mm
BP-150-03 Centrovač 150mm
BP-130-00 Upínací systém 130mm
BP-150-00 Upínací systém 150mm

11.2 Ostatné

Cenová ponuka