

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

AUTOREFERÁT DIZERTAČNEJ PRÁCE

Žilina, 2024

Ing. Martin Gažo



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

Ing. Martin Gažo

AUTOREFERÁT DIZERTAČNEJ PRÁCE

Návrh jednoúčelového filtračného zariadenia pre systémy s mazivom vyššej viskozity

Na získanie akademického titulu **d o k t o r**
(„philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v študijnom odbore Strojárstvo
v študijnom programe Časti a mechanizmy strojov

Žilina 2024

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Žilinskej univerzite v Žiline, Strojníckej fakulte, Katedre konštruovania a častí strojov.

Predkladateľ: Ing. Martin Gažo
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra konštruovania a častí strojov

Školiteľ: prof. Ing. Marián Dzimko, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra konštruovania a častí strojov

Oponenti:

1. prof. Ing. Ľuboš Kučera, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra konštruovania a častí strojov
2. doc. Ing. Silvia MALÁKOVÁ , PhD.
Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva
Strojnícka fakulta TU v Košiciach
3. Ing. Bartolomej Janek, PhD.,
Predseda Predstavenstva, CEO
MARTALA Technologies a.s.

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 22. 08.2024 o 13:00 hod. v miestnosti BD004 na SjF, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce schválenou odborovou komisiou v študijnom odbore Strojárstvo, v študijnom programe Časti a mechanizmy strojov, vymenovanou dekanom Strojníckej fakulty, Žilinskej univerzity v Žiline.

S dizertačnou prácou je možné sa oboznámiť na referáte pre vedu a výskum dekanátu SjF, UNIZA, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

prof. Ing. Slavomír Hrček, PhD.
predseda komisie pre obhajobu dizertačnej práce

ÚVOD

Kvalita a hlavne čistota mazacích prostriedkov má veľmi často rozhodujúci vplyv na spoľahlivosť strojov a zariadení, ktorá je zabezpečená prostredníctvom ich úžitkových vlastností, a to vzhľadom na účel ich použitia, pre ktoré boli navrhnuté. Dokonalé mazanie trecích uzlov nie je zabezpečené len správnym výberom maziva, ale aj dodržiavaním určitých zásad pri ich aplikácii a potrebnou starostlivosťou o mazivá počas prevádzky a samotnej manipulácii. Výrobca stroja či zariadenia navrhne spôsob filtrácie, mazania a samotný mazací systém, ktorý zahrňuje niekoľko agregátov, ako sú čerpadlá, potrubia, nádrže, ohrievače, chladiče, rozvádzače, odvzdušňovače, filtre a ďalšie prvky. To všetko predstavuje zložitý systém, ktorý má zabezpečiť správne mazanie strojov a zariadení a vhodnú filtráciu mazacieho systému. Pri výbere vhodného druhu maziva musíme dbať na ich požiadavky a znaky ako sú jeho vhodnosť energetická náročnosť, hospodárnosť a ekologickosť a podobne [1].

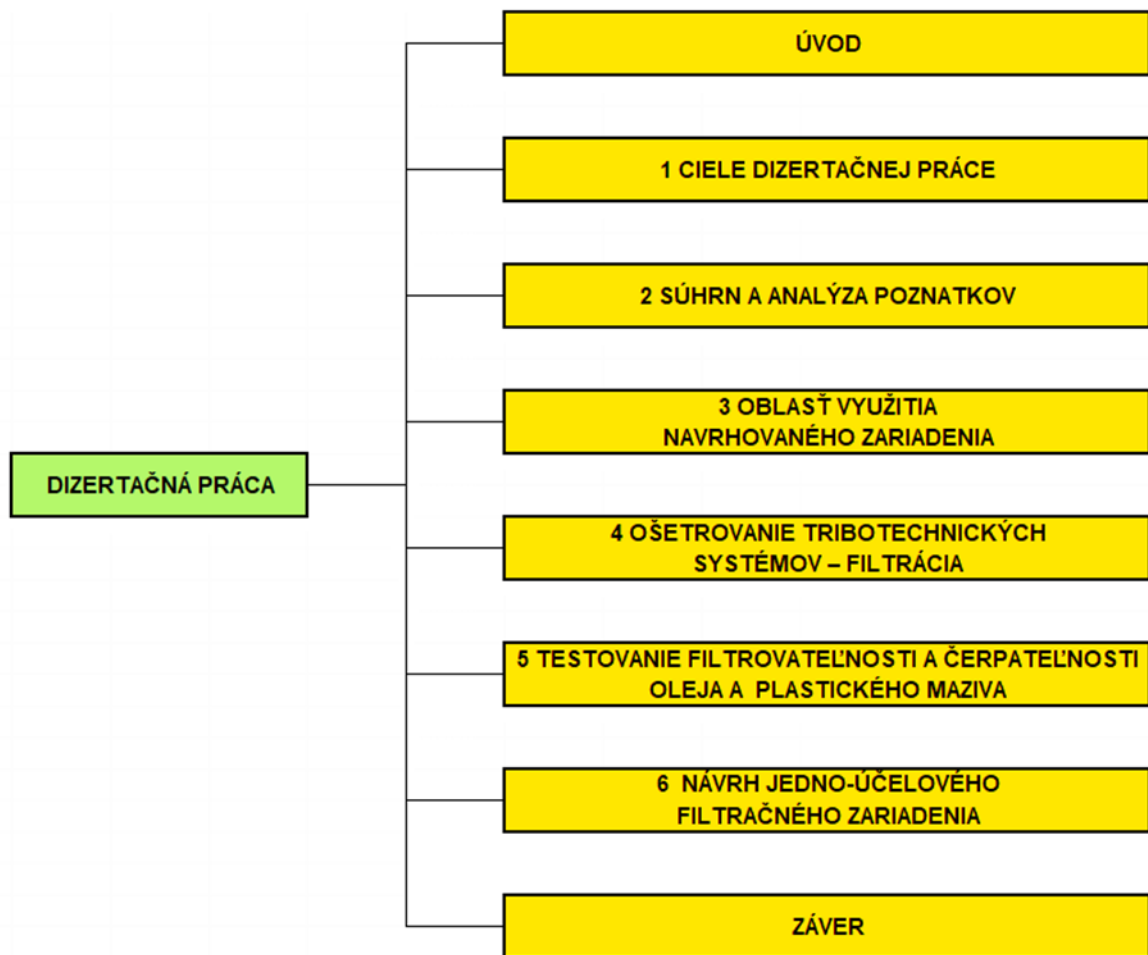
V tejto súvislosti do popredia vystupuje požiadavka na čistotu maziva a celého mazacieho systému stroja. Otázka dodržiavania čistoty maziva je riešená pravidelnou kontrolou a filtráciou a prítomné nečistoty sú odstraňované tak, aby bola zabezpečená rovnováha ktorá je zárukou spoľahlivej prevádzky. Nečistoty v mazacom systéme sa môžu uvádzať ako nečistoty, ktoré vznikajú v samotnom mazive (starnutie maziva), kovové častice (opotrebovanie) alebo tie, ktoré vnikajú do systému z okolitého prostredia (prach, vlhkosť, vzduch a iné) [1].

V oblasti použitia priemyselných mazacích prostriedkov je situácia iná, ktorá súvisí s ich formuláciou, obsahom prísad a najmä rôznym prostredím, v ktorom stroje a zariadenia pracujú. V takýchto prípadoch jednoznačne vystupuje požiadavka na ošetrovanie, respektíve filtráciu a kontrolu mazacieho systému. Treba v tejto súvislosti pripomenúť, že už aj nové stroje a zariadenia vyžadujú pred ich zavedením do prevádzky často mazací systém ošetriť, vyčistiť a skontrolovať od nežiadúcich látok, ktoré môžu znehodnotiť prvú náplň, resp. mazací systém [1].

V ostatných rokoch aj v tejto technickej oblasti nastali významné zmeny, ktoré ponúkajú nové technologické postupy čistenia, filtrácie a ošetrovania mazacích systémov strojov.

Dizertačná práca je zameraná na návrh jednúčelového filtračného zariadenia pre mazacie systémy vyššej viskozity ako je olej a plastické maziva v prevodovkách priemyselných robotov.

Na obrázku 1 možno vidieť algoritmus riešenia dizertačnej práce.



Obr. 1 Algoritmus riešenia dizertačnej práce

1 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Cieľom práce je návrh jednoúčelového filtračného zariadenia pre systémy s mazivom vyššej viskozity ako je olej a plastické maziva v prevodovkách priemyselných robotov. Dizertačná práca je výsledkom spolupráce Katedry konštruovania a častí strojov Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity a pracovísk e-Robot Svidník a Ecofil Michalovce.

Definovaný hlavný cieľ práce je:

- jednoúčelového filtračného zariadenia pre systémy s mazivom vyššej viskozity.

Definované čiastkové ciele práce sú:

- súhrn poznatkov z teórie konštruovania, tribológie a filtrácie,
- návrh makro zariadenia pre filtráciu maziva od objemu 3 do 13 litrov.
- návrh mikro zariadenia pre filtráciu maziva do objemu 300 mililitrov.
- overenie možnosti filtrovateľnosti plastických mazív používaných v prevodovkách robotov.

2 SÚHRN A ANALÝZA POZNATKOV

Využitie a návrh jednoúčelových filtračných zariadení pre sofistikované mazacie systémy a ich údržba vyžaduje inovatívne konštrukčné myslenie a využitie poznatkov z teórie konštruovania, tribológie a filtrácie.

Dizertačná práca je zameraná na uplatnenie jednoúčelového zariadenia v prevodovkách priemyselných robotov

2.1 Jednoúčelové stroje

Jednoúčelové stroje sú špecifické zariadenia, ktoré sa využívajú na automatizáciu výrobného procesu. Zariadenia používame všade tam, kde sa pri práci vyskytujú opakované činnosti, ktoré je možné úplne alebo aspoň čiastočne zautomatizovať, v prevádzkach s robotizovanými pracoviskami, výrobnými linkami či pracoviskami. Jednoúčelové stroje našli uplatnenie v mnohých výrobných odvetviach a všade tam, kde sa dá ušetriť rutinná a namáhavá ľudská práca. K nesporným výhodám jednoúčelových strojov patrí minimalizácia ľudského zlyhania, nepretržitá 24 hodinová prevádzka často pri minimálnom ľudskom dohľade.

Jednoúčelové zariadenia navrhujeme podľa účelu ich použitia podľa špecifických požiadaviek. Rieši sa pri tom konkrétna činnosť alebo súbor činností tak, aby pracovníkom - operátorom alebo iným zariadeniam – robotom pomáhali pri výrobe. Môžu byť aj úplne samostatné alebo združené do výrobných liniek. Konštrukciu navrhujeme tak, aby zariadenie spĺňalo požadované výkonové, úžitkové aj kvalitatívne kritériá.

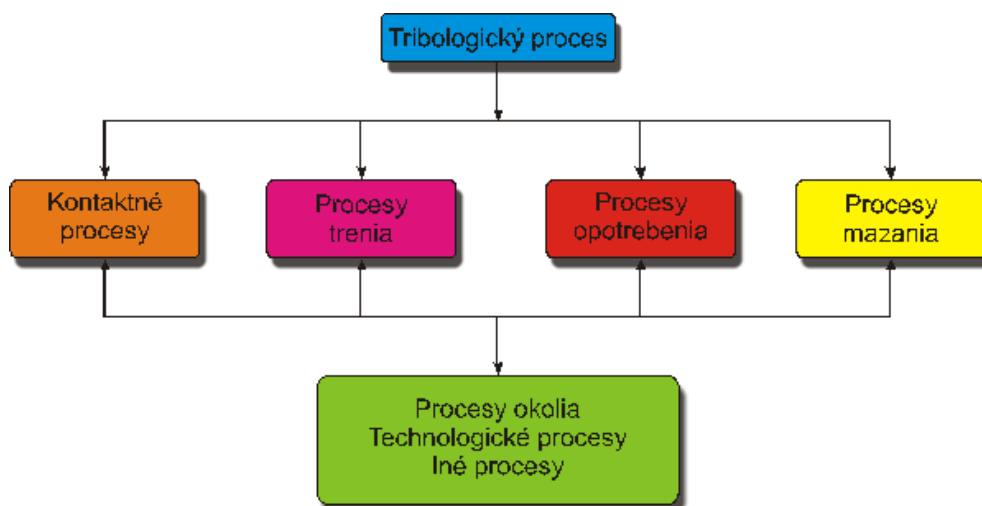
2.2 Tribotechnické aspekty

Tribológia je interdisciplinárna veda, ktorá sa zaoberá stavmi a procesmi v prirodzených a umelých trilogických systémoch, vzájomným pôsobením povrchov pri ich relatívnom pohybe, alebo pri snahe o relatívny pohyb a s tým súvisiacimi technológiami [2]. Základné poznatky z tribológie treba aplikovať v ostatných technických oblastiach predovšetkým v konštrukcii, údržbe a prevádzke zariadení.

Tribotechnika – oblasť techniky, ktorá sa usiluje technicky a ekonomicky ovládnuť procesy trenia a opotrebenia trecích uzlov vedecky zdôvodnenými opatreniami pri ich konštrukcii, dimenzovaní, výrobe, prevádzke a údržbe.

2.2.1 Tribologické procesy

Tribologický proces charakterizujú materiálne interakcie trecích telies, medzilátky a okolia, ktoré prebiehajú v priestore a čase, pričom sa časovo zaradujú ako tribologické stavy v tribologickom systéme. Na obrázku 2.1 sú väzby a zaradenie tribologického procesu.



Obr. 2.1 Zaradenie tribologického procesu a vzájomné väzby
[2– upravené autorom].

Mazanie je najúčinnnejším prostriedkom na zníženie trenia a obmedzovanie alebo až takmer úplne potlačovanie prejavov opotrebenia tuhých trecích telies [2].

2.2.2 Procesy mazania

K tribologickým procesom neoddeliteľne patria aj procesy mazania. Treba pri tom dosiahnuť stav, pri ktorom sa v trecom uzle oddelia pohybujúce sa povrchy tuhých trecích telies od seba vrstvou maziva, v ktorej prebieha proces trenia. Mazivo je rovnocenný plnohodnotný aktívny prvok systému, pretože jeho vlastnosti pôsobia a určujú funkčné závislosti, vytvárajú štruktúru systému a zároveň ovplyvňujú veľkosť mechanických, energetických a materiálových strát a tým ohraničujú technickú životnosť tribotechnického systému.

2.2.3 Mazivá

Mazivo je látka určená predovšetkým na obmedzenie trenia medzi dvoma povrchmi. Môže mať aj ďalšie funkcie:

- znižovať opotrebenie,
- zabezpečiť odvod tepla,
- pôsobiť ako tesniaci činiteľ,
- zbavovať trecie plochy nečistôt,
- chrániť kovové plochy pred koróziou.

Vo zvláštnych prípadoch sa od maziva môže požadovať, aby pôsobilo aj ako elektroizolačný činiteľ, aby vykonávalo funkciu prostredníka pre prenos sily, tlmilo rázy a podobne.

Rozdelenie mazív

Mazivá rozdeľujeme z pohľadu viacerých kritérií, vid' tabuľka 2.1.

Tab. 2.1 Rozdelenie mazív:

Z pohľadu technickej praxe:	Z pohľadu chemického zloženia:	Z pohľadu ich pôvodu:
• plynné • kvapalné, • tuhé, • plastické.	• organické, • anorganické.	• prírodné, • syntetické

Pre účely tejto práce sú významné kvapalné a plastické mazivá.

2.2.3.1 Kvapalné mazivá

Kvapalné mazivá sú v súčasnosti sú najrozšírenejším druhom mazív, ktorého hlavnou výhodou je široký sortiment umožňujúci použitie v celej oblasti kvapalinového a zmiešaného trenia. Kvapalnými mazivami môžu byť všetky kvapaliny, ktoré spĺňajú podmienku mazivosti v závislosti od konkrétnych zaťažujúcich prevádzkových podmienok . [2]

Najdôležitejším a najrozšírenejším kvapalným mazivom sú mazivá zo skupiny homogénnych zmesí - **oleje**. Oleje sa delia na tri základné skupiny:

1. **ropné oleje** (základové), ktoré sa získavajú z ropy destiláciou, rafináciou, odparafinovaním a sú zmesou uhľovodíkov, ktorých zloženie a zoradenie vyplýva z vlastností ropy, z ktorej sa vyrábajú. Ich vlastnosti sa upravujú prísadami.
2. **syntetické oleje**, kde väčšina týchto olejov má jednotné chemické zloženie s definovanými funkčnými skupinami a svojím zložením sú určené na mazanie v podmienkach, keď nevyhovujú minerálne oleje napríklad rozsahom teplôt vzhľadom na agresívne prostredie a životnosť
3. **rastlinné oleje**, ktoré sú vyrábané lisovaním z olejnatých poľnohospodárskych plodín.

2.2.3.2 Plastické mazivá

Plastické mazivá (mazacie tuky) sú koloidné sústavy, spravidla gély [2]. Z fázového hľadiska sú dvojfázové. Plastické mazivá sú zložené z kvapalnej fázy (mazacieho oleja), tuhej fázy (spevňovadlo) a ako tretia zložka sú to prísady na zlepšenie niektorých funkčných vlastností a výkonnosti plastického maziva. Ide o základné zložky plastického maziva, ktoré v percentuálnom vyjadrení predstavujú: základový olej 80 až 90 %, spevňovadlo 3 až 20 % a prísady 1 až 3 %.

Základový olej, olejová zložka

Ropné oleje sú bežnou olejovou zložkou pre plastické mazivá, špeciálnych mazivách sú to syntetické oleje. Viskozita základového oleja má byť približne taká, aká by sa volila pri mazaní mazacím olejom.

Spevňovadlá

Spevňovadlo je chemická látka v oleji, ktorá pôsobí v oleji ako zahusťovadlo, zabezpečuje mazanie v prípade zmiešaného a medzného trenia. Vytvorí medznú vrstvu medzi trecími plochami, a tým účinne reaguje na vysoký tlak a teplotu medzi ním. Vplyv spevňovadla na vlastnosti plastických mazív je spravidla väčší ako vplyv oleja. Spevňovadlá sa môžu rozdeliť do týchto skupín:

- mydlové, a to jednoduché na báze napr. Li, Na, Ca, Al a kombinované napr. Li – Ca,
- komplexné na báze Li, Ca, Al a iné,
- nemydlové spevňovadlá a to anorganické napr. bentonity a organické polyméry napr. poly močoviny a iné.

Základným kvalitatívnym ukazovateľom plastických mazív je ich konzistencia a to tak, ako je pre mazacie oleje viskozita. Treba spomenúť, že pri výbere plastického maziva treba zohľadniť druh a viskozitu základového oleja a typ zahusťovadla. Pri hodnotení plastických mazív sa treba zamerať na tieto ďalšie kvalitatívne ukazovatele:

Pre zlepšenie úžitkových vlastností, výkonových charakteristík plastických mazív sa používajú tieto prísady, ktoré sú uvedené v tabuľke 2.2 Okrem uvedených prísad sa často používajú ešte plnidlá, tuhé mazivá, ako napr. grafit, a sirič molybdenčitý, MoS₂.

Tab.2.2 Ukazovatele, charakteristiky a prísady do plastických mazív

Základné kvalitatívne ukazovatele, charakteristiky plastických mazív:	Prísady do plastických mazív:
• konzistencia, • bod skvapnutia, • koloidná stálosť, • oxidačná stálosť, • EP a AW vlastnosti, • odolnosť proti vode, • iné.	• antioxidanty, • inhibítory korózie, • pasivátory kovov, • vysokotlakové prísady, EP, • prísady proti opotrebeniu, AW, • príľnavostné prísady, • ďalšie prísady.

Klasifikácia plastických mazív podľa normy STN ISO 65 6901 je zameraná na určenie konzistencie. Podľa označenia konzistencia sa delia na deväť konzistenčných stupňov (NLGI). Ide o konzistenčné stupne s označením 000, 00, 0, 1, 2, 3, 4, 5 a 6 od tekutej konzistencie až po veľmi tuhé.

3 OŠETROVANIE TRIBOTECHNICKÝCH SYSTÉMOV – FILTRÁCIA

V praxi sa vyskytuje otázka, kedy a ako ošetriť mazací systém. Sú to hlavne mazacie systémy, v nepretržitej prevádzke strojov (výmena olejovej náplne) a tiež nové mazacie systémy (prvá náplň po montáži a inštalácii). V takýchto prípadoch ide o rozdielny postup ošetrovania (čistenia, preplachovania) mazacieho systému. Treba si uvedomiť, že tribotechnická údržba, výmena olejových náplní je spojená s odstávkou strojov. Je to plánovaný proces, ktorý musí dať odpoveď na otázku, kedy vykonávať ošetrovanie mazacích systémov. Sú však prípady, že nastane mimoriadna situácia, ktorá naruší tento cyklus výmeny olejových náplní. Rozhodujúcu úlohu tu zohráva tribotechnická diagnostika, ktorá je zameraná okrem iného aj na priebežnú kontrolu kvality mazív v prevádzke a dáva informáciu o tom, kedy ošetrovanie oleja nepostačuje a je potrebné uskutočniť výmenu olejových náplní [3].

3.1 Ošetrovanie mazív separáciou

Ak sa v mazive nachádzajú tuhé častice alebo dve vzájomne nerozpustné tekutiny s rozdielnymi hustotami, je vhodné použiť metódu ošetrovania separáciou. K tomu existuje niekoľko typov separácie [3]:

- separácia pomocou gravitácie,
- odstredivá separácia.

Princíp gravitačnej separácie spočíva v tom, že kvapalná zmes v nepohyblivom bubne sa pomaly vyčistí sedimentáciou pevných častíc klesajúcich ku dnu nádrže spolu s ťažšou kvapalinou. Takto usadené častice na dne nádrže vytvoria vrstvu usadenín. Tento spôsob separácie je časovo náročný.

Odstredivá separácia sa vykonáva v rýchlo sa otáčajúcom bubne, kde gravitačná sila je nahradená odstredivou silou, ktorá môže byť až niekoľko tisíckrát väčšia. Porovnaním času separácia v odstredivke sa vykoná za niekoľko pár sekúnd a v gravitačnej nádrži to môže trvať aj niekoľko hodín.

3.2 Ošetrovanie mazív filtráciou

Výrobcovia technických zariadení málo používajú svoje vlastné podklady a vedomosti pri navrhovaní filtrov. Väčšinou využívajú vedomosti a odporúčania od výrobcov filtračných technológií, ktoré však mnohokrát nespĺňajú spoločné požiadavky užívateľa a dodávateľa technického zariadenia. Vzniknuté problémy sa prejavujú až počas prevádzky zariadenia a následne dochádza k opätovnému prehodnoteniu a návrhu vhodnej filtračnej technológie, filtra alebo filtračného média, ktoré reflektuje na prevádzkové prostredie [3].

Dodržaním základných princípov tribológie a tribotechniky je možné v mnohých prípadoch tieto požiadavky splniť za predpokladu použitia správny filtrov a filtračných médií pre existujúce podmienky a dodržaním procesu filtrácie. V mnohých prípadoch použitie nesprávneho typu filtra, filtračného média, alebo zanedbanie jeho údržby, vedie k poruche technického zariadenia, v horšom prípade aj k veľkým ekologickým škodám prostredie [3].

Pri prevádzkovaní technického zariadenia vzniká prirodzenou formou znečistenie externého alebo interného charakteru, čo môže mať za následok zníženie životnosti nosného média (vzduch, olej, voda a priemyselné kvapaliny) a zníženie efektívnosti filtrácie. Navrhnutie správneho primárneho, alebo doplnkového filtračného systému nám pomôže zvýšiť nielen životnosť filtračného média, ale aj prevádzkyschopnosť celého zariadenia prostredie [3].

3.2.1 Spôsoby filtrácie

Sú známe základné spôsoby, ktoré popisujú, akú dráhu musí častica vykonať, aby bola zachytená na filtračnom médiu [3].

Povrchové sitovanie (straining) – tu sa častice, ktoré sú väčšie ako veľkosti jednotlivých otvorov, ukladajú na povrch a zostávajú tam až do ich odstránenia. Častice, ktoré sú menšie ako otvory, prechádzajú cez filtračné médium.

Hĺbkové sitovanie (straining) – je typické pre filtračné médiá, ktoré sú relatívne hrubé v porovnaní s veľkosťou ich vlastných otvorov. Častice sa pohybujú pozdĺž otvorov až k miestu, kde je menšie ako samotná častica a tam nastane jej zachytenie. Takéto ukladanie je typické pre plsti a väčšinu netkaných textílií.

Hĺbková filtrácia sa vyznačuje tým, že častice sa môžu ukladať vo vnútri filtračného média aj v otvoroch väčších ako je veľkosť častíc. Pri ich ukladaní pritom pôsobí viacero zmiešaných fyzikálnych mechanizmov. V prvom rade častice prichádzajú do kontaktu so stenami filtračného média (alebo veľmi blízko) pôsobením vnútorných hydraulických síl alebo molekulárneho pohybu. Pôsobením týchto síl sa častice uložia na stene otvoru alebo na povrchu inej častice. Veľkosť a vzájomné pôsobenie týchto síl je závislé od zmeny koncentrácie a zloženia iónov v roztokoch alebo od vlhkosti v plynch.

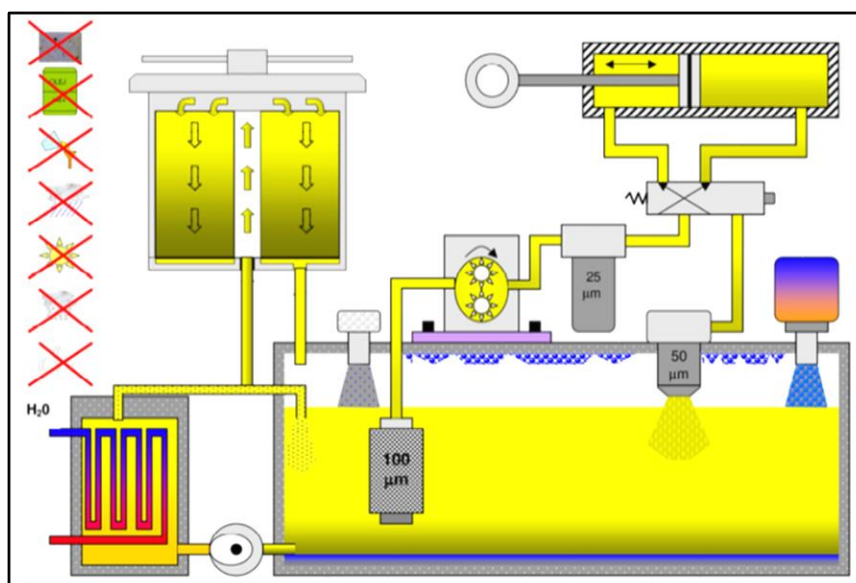
Koláčová filtrácia sa vyznačuje tým, že sa na povrchu filtračného média vytvorí vrstva, ktorá je naakumulovaná z častíc nachádzajúcich sa v systéme. Základné filtračné médium na začiatku filtrácie pracuje na princípe povrchovej filtrácie, kde pri jeho prietoku sa najprv ukladajú častice, ktoré sú väčšie ako veľkosť otvorov. Tým, že sa tieto častice ukladajú vedľa seba, otvory sa zmenšujú a do nich sa ukladajú stále menšie a menšie častice. Základnou podmienkou tohto spôsobu filtrácie je, aby v pracovnej kvapaline bol správny pomer malých a veľkých častíc. Tento spôsob filtrácie je, aby v pracovnej kvapaline bol správny pomer malých a veľkých častíc. Tento spôsob filtrácie je vhodný na filtráciu chladiacich emulzií a vzduchu.

3.2.2 Plnoprietoková filtrácia

Plnoprietoková filtrácia sa inštaluje priamo do systému stroja. Aby sa udržal stroj v prevádzke, plnoprietokový filter, dokonca aj pri vysokom tlaku, musí prefiltrovať a vrátiť do systému veľké množstvo maziva. V prípade hydraulických aplikácií, veľké odchýlky tlaku sú náročné pre dostatočnú filtráciu. Kvôli týmto veľkým pretečeným množstvám oleja za minútu a kolísaniu tlaku plne-prietokový filter môže čistiť iba povrchne. Mikroskopické čistenie je možné iba ak je olej trvale filtrovaný v malých množstvách pri nízkom a konštantnom tlaku.

3.2.3 Obtoková (By-pass) filtrácia

Princíp tejto filtrácie je veľmi jednoduchý. Na rozdiel od normálneho plnoprietokového filtra každý obtokový filtračný systém je inštalovaný v by-passe (obtoku) olejového okruhu, obr. 3.1 [3]. Malé množstvo oleja sa odoberá z hlavného toku oleja a prechádza cez filter, za ktorým sa vyčistený olej vracia do rovnakého systému alebo priamo do zásobníka oleja.



Obr. 3.1 Princíp obtokovej filtrácie, [3]

3.2.4 Porovnanie obtokovej filtrácie a plnoprietokovej filtrácie

Riešenie problémov plnoprietokovej filtrácie poskytuje obtokový filtračný systém. Pri by-passovej inštalácii, ktorá logicky nemá žiaden vplyv na stroj, je možné nastaviť tlak oleja a prietok tak, aby sa dosiahli správne podmienky pre hĺbkové čistenie oleja, a aby sa absorbovalo viac a menších kontaminantov ako pri plno-prietokovom filtri. Jedná sa o obtokovú filtráciu, tzv. by-pass filtráciu, kde znečistený olej pod tlakom vchádza do filtra cez jeho vstup a je následne filtrovaný niekoľkými typmi filtrácií. Pritom olej vychádza z filtra zbavený mechanických nečistôt, karbónu a výrazného percenta vody.

4 TESTOVANIE FILTROVATEĽNOSTI A ČERPATEĽNOSTI OLEJA A PLASTICKÉHO MAZIVA

4.1 Súčasnosť problematiky filtrovateľnosti filtračných zariadení

V súčasnosti sa výrobcovia filtračných zariadení pre priemysel ako taký zameriavajú na vývoj a výrobu filtračných zariadení pre olej, prípadne kvapaliny, ktoré sa dajú relatívne dobre filtrovať. Je to dané ich viskozitou, zložením a štruktúrou.

Čo sa týka plastických mazív a filtrovateľnosti, plastické mazivá sú ťažko filtrovateľné až nefiltrovateľné. Je to dané najmä ich viskozitou a štruktúrou. V súčasnosti nikto neposkytuje filtrovanie plastických mazív, a ani žiadny výrobca nevyrába takéto zariadenie.

Úlohou tejto kapitoly je aj overenie možnosti filtrovateľnosti a čerpateľnosti plastického maziva a olejov s vyššou viskozitou a návrh dvoch zariadení pre mikro a makro objemy maziva.

4.2 Experiment – testovanie filtrovateľnosti a čerpateľnosti oleja a plastického maziva

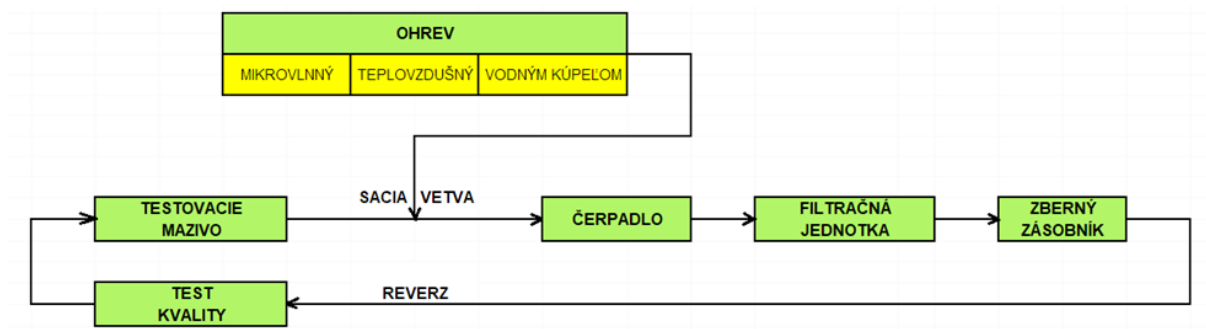
Experiment sme vykonávali v laboratóriu Katedry konštruovania a častí strojov na Žilinskej univerzite. Použili sme pri tom dve mazivá, ktoré sa používajú pri mazaní priemyselných robotov, konkrétne:

- plastické mazivo Klübersynth GE 44-50,
- priemyselný olej: Castrol Optigear Synthetic RO 150

Plastické mazivo **Klübersynth GE 44-50** bolo špeciálne vyvinuté pre vysoko presné prevody, aké sa používajú v robotoch a obrábacích strojoch. Špeciálne mazivo pozostáva zo syntetického uhľovodíkového oleja a špeciálneho lítiového mydla. Obsahuje aj špeciálnu tekuto-molybdénovú prísadu bez pevných látok pre dlhú životnosť a ochranu proti únavovému poškodeniu.

Olej **Castrol Optigear Synthetic RO 150** je špeciálny široko-rozsahový prevodový olej s vysokým výkonom a dlhou životnosťou obzvlášť v prevodovkách v železničnej doprave, pre jednotky pohonov strojov a strojárske aplikácie (napríklad v robotoch).

Filtráciu sme vykonali pomocou jednúčelového filtračného zariadenia od výrobcu ECOFIL SN030 model M. Filter, ktorý sme použili je celulózy od spoločnosti ECOFIL, typ T, podľa blokovej schémy na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Bloková schéma experimentálneho prostredia

Prvý experiment sme vykonali s priemyselným olejom (Castrol Optigear Synthetic RO 150). Olej má viskozitu 150 cSt. pri 20°C, čo bola aj teplota v laboratóriu. Bol pozorovateľný nie významný nárast prietoku oleja systémom (cca 5 až 10 %) bez ohľadu vplyvu na čistotu oleja a bez rozdielu typu ohrevu. Pri stanovení prietoku oleja sme postupovali metodikou, kedy sme odmerali prietochné množstvo do kalibrovannej nádoby za jednotku času a následne sme dospeli k výsledkom pretečeného oleja matematicky.

Po experimente s olejom nasledoval pokus s plastickým mazivom (Klübersynth GE 44-50). Mazivo spadá do penetračnej triedy NLGI 2. V prvom meraní sme skúšali odčerpať dané mazivo priamo z nádoby na to určenej.

Použitú zubovú čerpadlo bolo výrobcom deklarované pre čerpaceľnosť plastických mazív do penetračnej triedy NLGI 2 pri teplote do 25 stupňov Celzia.

Pri laboratórnej teplote 20°C sa nám nepodarilo ani pri opakovaných pokusoch mazivo nasať do sacieho potrubia a nebolo možné ho ani prečerpať do filtračného zariadenia. Na základe skutočnosti, že prevádzková teplota v mazaných systémoch robotov je v rozsahu do 80 stupňov, prišli sme k ohrevu maziva..

Ohrev sme vykonávali viacerými spôsobmi:

- elektromagnetickým žiarením s mikrovlnami,
- teplovzdušne
- v horúcom kúpeli.

Teplota maziva dosiahla hodnotu 65 °C, ale jeho konzistencia a tým aj hodnota penetrácie ostala nezmenená.

Táto skutočnosť potvrdila hypotézu, že dané plastické mazivo je vyrobené pre definovaný rozsah prevádzkových teplôt, zachováva si svoje vlastnosti a viskózn-teplotné charakteristiky aj po zahriatí.

Z výsledkov experimentu bol prijatý záver, že v ďalšej práci sa budeme venovať len filtračným zariadením vhodným pre mazacie systémy určené pre vysokoviskózne oleje.

5 NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO FILTRAČNÉHO ZARIADENIA

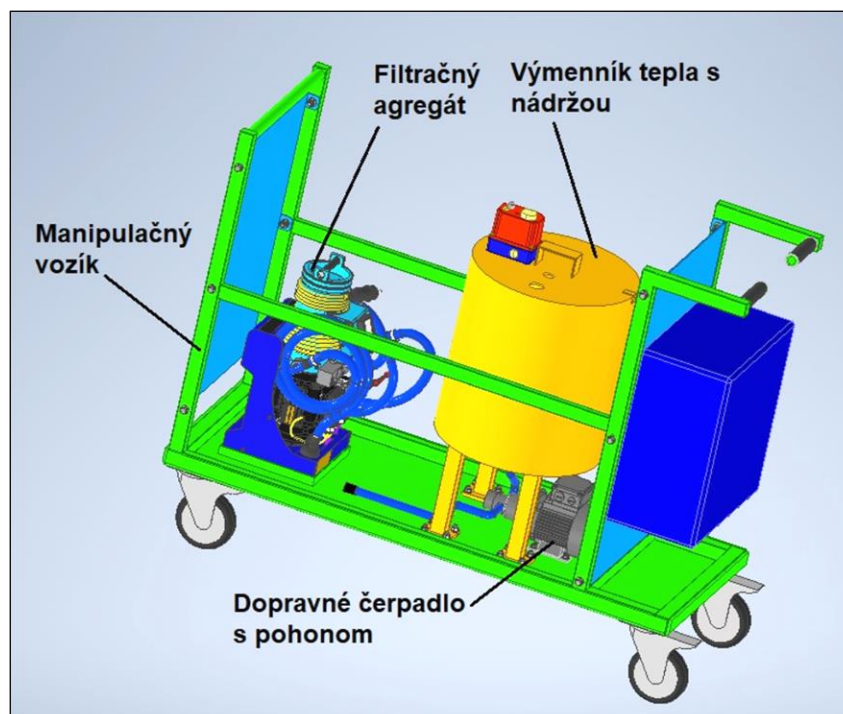
5.1 Požiadavky na návrh makro aj mikro filtračného zariadenia

Požiadavky, na navrhovaný stroj – jednoúčelové filtračné zariadenie sú:

- plnenie požadovanej funkcie a vysokú prevádzkovú spoľahlivosť zariadenia,
- požadovanú výkonnosť zariadenia i zariadením používanej technológie,
- nízke prevádzkové náklady, nenáročnú obsluhu, údržbu a opravy,
- požadovanú životnosť zariadenia a jeho častí,
- kladný vzťah k človeku – ekológia, ergonómia, bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci, komfort a dizajn, užívateľská prívetivosť.

5.2 Konštrukčný návrh makro filtračného zariadenia s objemovou kapacitou od 3 do 13 litrov

Návrh makro filtračného zariadenia spočíva v spojení viacerých konštrukčných uzlov do jednej montážnej jednotky – jednoúčelového filtračného zariadenia. Ako vidno z obrázka 5.1, toto filtračné zariadenie skladá z filtračného agregátu, výmenníka tepla s nádržou, dopravného čerpadla s pohonom, manipulačného vozíka a príslušenstva (hadice, elektrická špirála pre ohrev média a pod.).



Obr. 5.1 Makro filtračné zariadenie, (3D CAD model)

Už z nadpisu je zrejmé, že filtračné zariadenie je prioritne určené pre objem maziva tri litre, avšak v prípade nutnosti je možné odfiltrovať až 13 litrov čo do objemu.

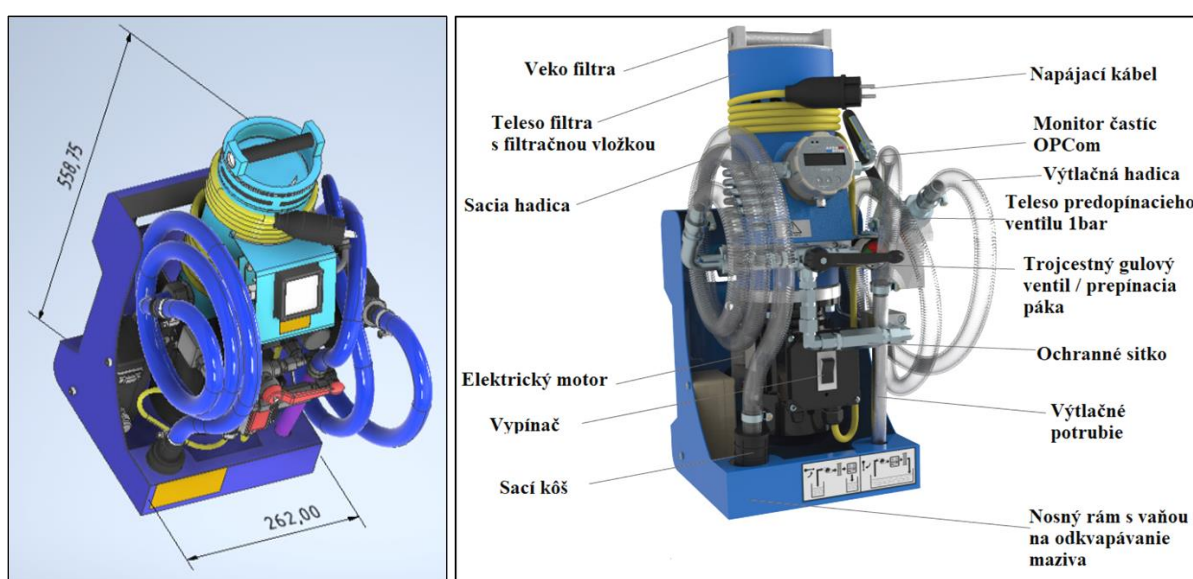
V nasledujúcich odstavcoch si bližšie povieme o jednotlivých komponentoch.

Filtračný agregát

Ako filtračný agregát a pre naše aplikácie vyberáme výrobok od firmy ARGO-HYTOS a to filtračný agregát s označením FAPC 016 (obr.5.2).

Filtračná jednotka FAPC 016 je mobilná filtračná jednotka na paralelnú filtráciu hydraulických kvapalín a mazív s rôznou viskozitou. Zaistenie ochrany proti opotrebeniu súčastí i celého zariadenia umožňuje oddelená filtrácia prebiehajúca v paralelnej vetve alebo jemná filtrácia v chladiacom okruhu. Možnosť filtrácie plného prietoku výstupnej kvapaliny, umožňuje ako filtráciu čerstvého maziva, tak čistenie (preplach) znečisteného systému.

Objemový prietok je 16 l/min (50 Hz), čo nám umožní prefiltrovať našu nádrž do jednej minúty. Prevádzková teplota sa pohybuje v rozsahu od 0 °C do 60 °C.



Obr.5.2 Filtračný agregát Argo Hytos FAPC 016, (vľavo 3D CAD model, vpravo prehľad súčastí filtračného agregátu, [5 vpravo – upravené autorom].)

Filtračný agregát FAPC 016 (obr. 5.2) sa skladá z nosného rámu, do ktorého je zaintegrovaná jednotka filtračného čerpadla. Tá sa skladá z elektricky ovládaného filtračného čerpadla s vymeniteľnou filtračnou vložkou a z manometra ako indikátora údržby. Vypínač je umiestnený na spínacej skrinke motora čerpadla. Sacia hadica je pripojená k sacej prípojke čerpadla a výtlačná hadica k výstupu hlavného filtra.

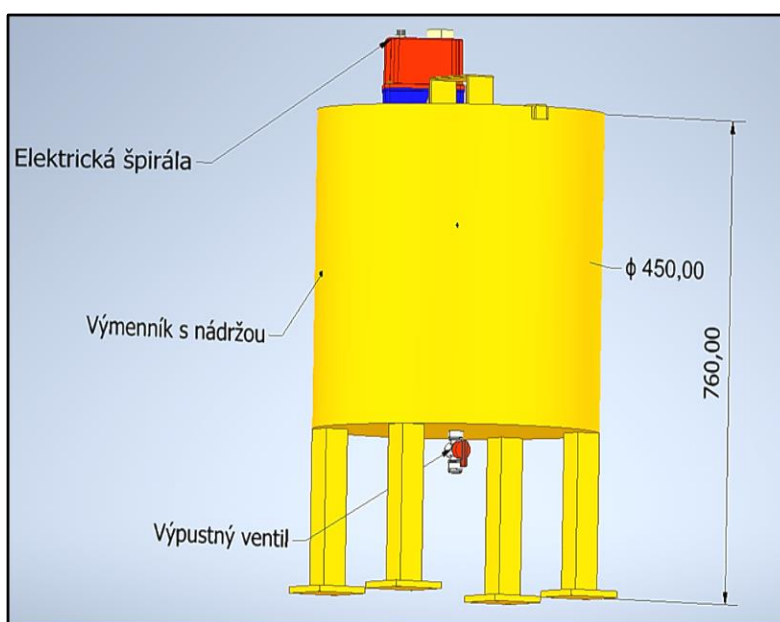
Výmenník tepla

Nutnou podmienkou pre správne chovanie vysokoviskózných mazív je úprava teploty maziva. Z tohto dôvodu zaraďujem do navrhovaného filtračného zariadenia výmenník tepla (obr.5.3). Pri návrhu výmenníku tepla je najdôležitejšie, aby čo najlepšie spíňal svoju funkciu, a teda aby bol prenos tepelnej energie čo najintenzívnejší pri čo najnižších nákladoch. Intenzitu prestupu tepla môžeme doceliť voľbou vhodného materiálu, konštrukčnými

úpravami a voľbou vhodného pracovného média. Požiadavky sú kladené jednak na samotný výmenník a taktiež na teplotné médium.

Pri návrhu výmenníka je dôležité, aby boli čo v najväčšej miere splnené tieto požiadavky:

- Najmenšia hmotnosť a rozmery.
- Jednoduchá technologickosť výmenníka.
- Najnižšia cena.
- Čo najmenšie tlakové straty resp. čerpace práce.
- Čo najvyššia spoľahlivosť a jednoduchá údržba.



Obr. 5.3 Výmenník tepla s nádržou, (3D CAD model)

Zostava výmenníka s nádržou sa skladá z plechových zvarkov, z elektrickej špirály a z výpustného ventilu so sitkom. Konštrukciu teda tvoria plechové zvarky v tvare kruhov, ktoré sú pozvárané kútovejmi zvarmi. Skružené plechy rôznych priemerov tvoria jednotlivé komory pre mazivo (stredný kruh), pre ohrievacie médium (H_2O) a napokon pre izolačné médium, ktorým je vzduch. Uzavreté je to poklopom v ktorom sú návratné diery pre odvzdušnenie a väčšia diera pre hadicu. Dno je tvorené kruhovým výstrižkom s priemerom 450 mm a s dierou v strede pre výpustný ventil. Na dne sú navarené štyri nohy z tyčí s uzavretým štvorcovým profilom 40×40×3 mm.

Dopravné čerpadlo s pohonom

Je zostava vo filtračnom okruhu filtračného zariadenia, ktorá dopravuje mazivo z výmenníka (nádrže) do filtračného agregátu spomínaného vyššie. Na základe odporúčaní a študovania v katalógoch sme vybrali dopravné čerpadlo s pohonom, a to model Scherzinger 3050 – 070.

Manipulačný vozík

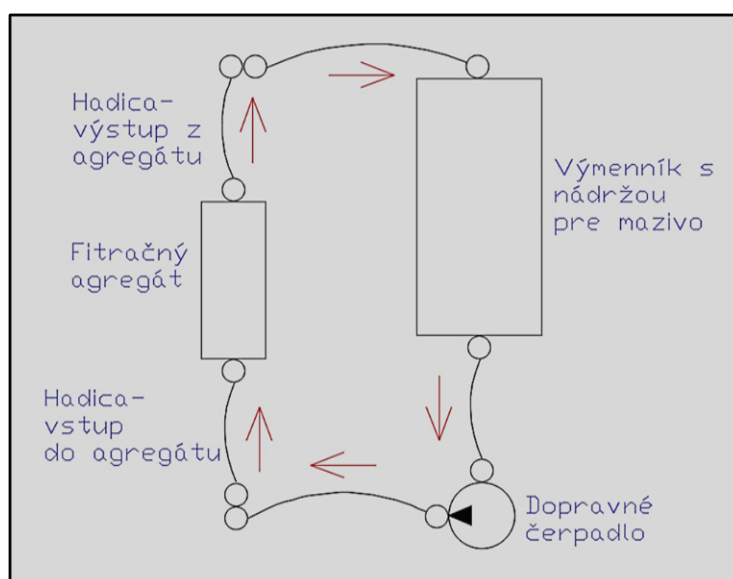
Je nosnou časťou filtračného zariadenia a slúži na jeho manipuláciu v priestore. Jedná sa o zváranú konštrukciu z joklov 40×40×3 mm a 40×30×3 mm. Hmotnosť je 22 kg. Na zariadenie je privarená skrinka pre odloženie náradia.

5.2.1 Metodika prevádzky filtračného zariadenia

Samotný filtračný okruh (obr. 5.4) sa skladá z troch základných konštrukčných pilierov, ktoré sú: výmenník tepla s integrovanou nádržou na mazivo, dopravné čerpadlo a filtračný agregát

Pracovný postup:

1. Do výmenníka vložíme mazivo odobraté z priemyselného robota (prípadne z iných zariadení, strojov). Elektrickou špirálou, ktorá ma nastaviteľný termostat, vo výmenníku nahrejeme ohrievacie médium (H_2O) na teplotu 65°C. Toto médium nám zohrieva cez stenu nádržky samotné mazivo na potrebnú teplotu. Teplota maziva nesmie prekročiť predpísanú hodnotu 65°C, čo je hraničná hodnota pre poškodenie filtračného agregátu. Táto hodnota je dostačujúca aj plastickému mazivu nato, aby bolo dostatočne viskózne.
 2. Keď sa nám mazivo dostatočne ohreje, výpustným ventilom docielime pomocou gravitácie zaplnenie dopravného čerpadla mazivom.
 3. Uvedieme do prevádzky dopravné čerpadlo aj hydraulický agregát.
 4. Zubové dopravné čerpadlo nám tlačí (dopravuje) mazivo cez hadicu, ktorá je spojená s hadicou pre vstup do filtračného agregátu. Tam si ho preberie zubové čerpadlo filtračného agregátu, ktoré ďalej dopravuje mazivo do filtra filtračného agregátu.
 5. Pomocou hadíc prepojíme filtračný agregát s výmenníkom tepla
- Takto nám vznikne prevádzkový okruh filtračného zariadenia.



Obr. 5.4 Schéma prevádzky filtračného zariadenia (filtračný okruh)

5.3 Konštrukčný návrh mikro filtračného zariadenia s objemovou kapacitou do 300 mililitrov

Návrh jednoúčelového filtračného zariadenia vychádza z požiadavky na operatívne použitie zariadenia pre roboty rôznych výrobcov a jeho ďalšieho uplatnenia pri kontinuálnej kontrole maziva.

V súčasnosti pre oleje používané v prevodových systémoch robotov podliehajú predpísanej časovej výmene a nie sú menené na základe reálneho kvalitatívneho stavu.

Navrhované jednoúčelové zariadenie je typu „BY-PASS“, s vlastnou zdrojovou jednotkou a možnosťou zachovania plnej prevádzkovej funkčnosti robota.

Jeho minimálne rozmery umožňujú súčasné priestorové umiestnenie na všetkých kontrolných bodoch mazacej sústavy robota. Tuto vlastnosť možno považovať za jednu z dôležitých inovačných vlastností v porovnaní s produktmi niektorých výrobcov, napr. zariadenia od spoločnosti ECOFIL, s.r.o., SN030 model M, uvedeného na obrázku 5.5, [3].



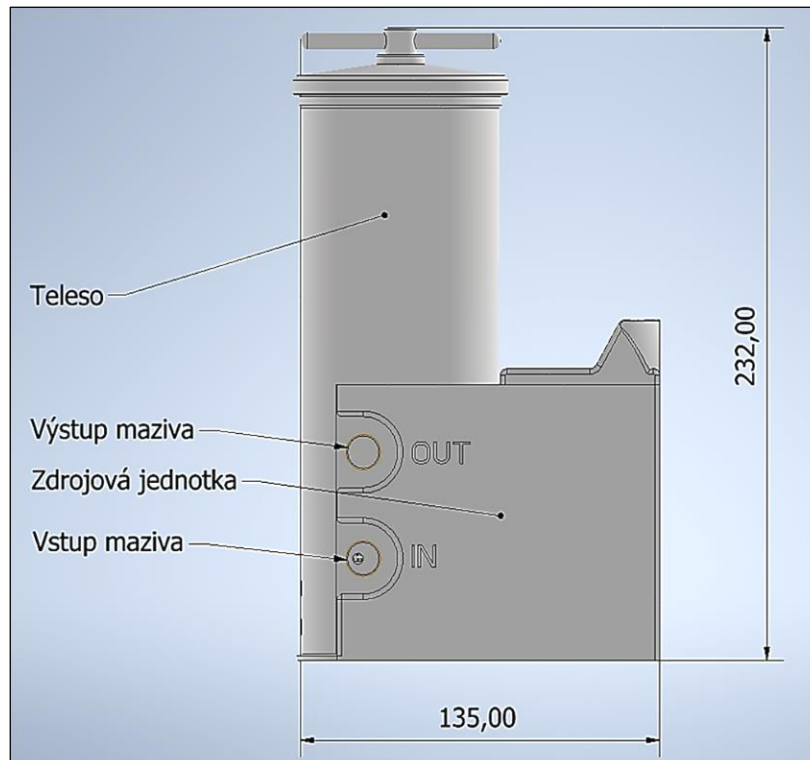
Obr. 5.5 Filtračné zariadenie ECOFIL SN030 model M, (vľavo katalógový obrázok [3], vpravo 3D CAD model)

5.3.1 Konštrukčné požiadavky na zariadenie

Navrhované filtračné zariadenie ktorého model je na obr. 5.6 a bude pozostávať z:

- základného hydraulického telesa s vedeniami a rozvodmi vytvorenými priamo v ňom,
- kompaktnej odnímateľnej zdrojovej jednotky,
- mikročerpadla,
- snímača teploty,

- snímačov tlaku,
- akumulátora.



Obr. 5.6 Navrhované mikro filtračné zariadenie, (3D CAD model)

Navrhované zariadenie má tieto výhody:

- všetko je integrované do jedného celku z čoho vyplýva kompaktnejšia konštrukcia,
- odpadá potreba vonkajšieho zdroja elektrickej energie.
- nižšia hmotnosť,
- ľahšia manipulácia a lepšia ergonómia,
- nižšia uhlíková stopa,
- zníženie výrobných nákladov.

Teleso filtračného zariadenia

Dvojdielne teleso filtračného zariadenia (obrázok 5.7 vľavo) je nosnou časťou filtračného zariadenia. Skladá sa

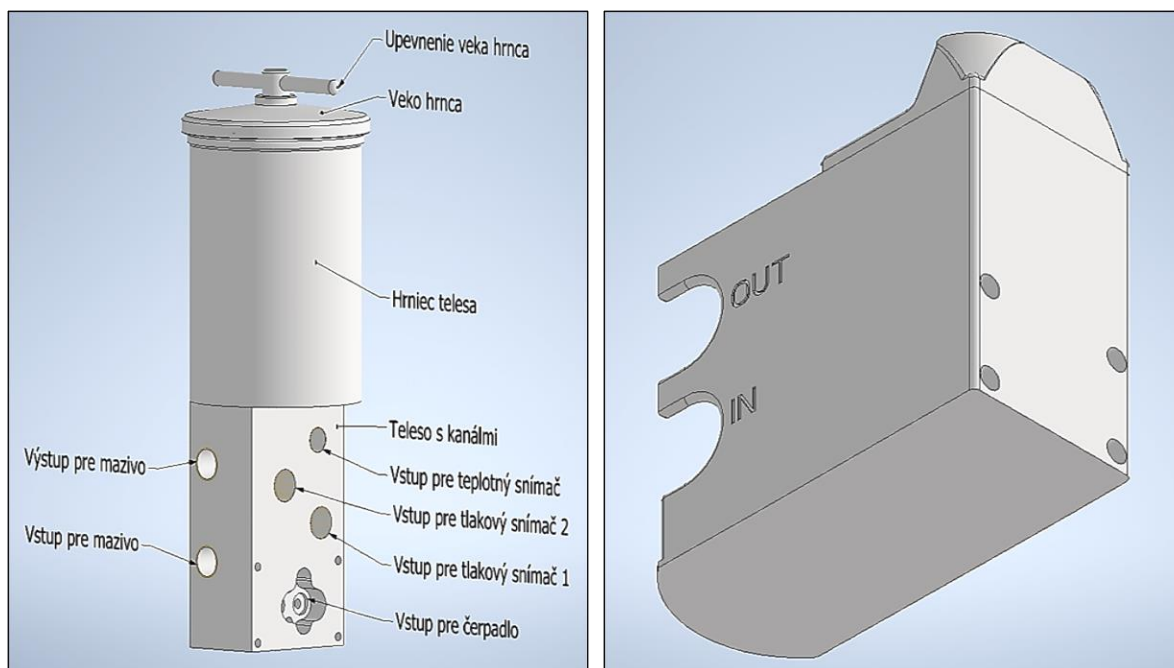
- z vlastného samotného hydraulického telesa s kanálmi pre prúdenie maziva,
- z filtračného hrnca s vekom.

V samotnom telese sú ďalej otvory pre mikročerpadlo, teplotný snímač a tlakové snímače (tlakový snímač 1 – pred vstupom do čerpadla, tlakový snímač 2 – za čerpadlom).

Teleso ako aj filtračný hrniec je pre reálne použitie plánované vyrobiť z nerezovej ocele.

Zdrojová jednotka

Zdrojová jednotka (obr. 5.7 vpravo) je modulárnou výmennou časťou filtračného zariadenia, kde je umiestnený zdroj elektrického prúdu – akumulátor, čerpadlo, teplotný snímač, tlakové snímače, riadiaci kontroler pre zber dát, vypínač. Je vyrobená z plastu.



Obr.5.7 Vľavo – Teleso filtračného zariadenia. Vpravo zdrojová jednotka, (3D CAD modely)

5.3.2 Konštrukčný proces

Technická dokumentácia zariadenia bola navrhnutá s využitím **CAD programu AUTODESK INVENTOR**.

Z dôvodov ešte neposkytnutej patentovej ochrany, výrobná dokumentácia nie je súčasťou dizertačnej práce a v práci je uvedený je opis a funkcia.

Konštrukčná a výrobná spôsobilosť je overená výrobou prototypu s využitím metódy „Rapid prototyping“.

Prototyp je k dispozícii na kontrolné experimenty a fyzicky bude prezentovaný pri obhajobe dizertačnej práce.

6 ZÁVER

Predložená dizertačná práca sa zaoberá problematikou filtrácie vysokoviskózných mazív a návrhom filtračných zariadení pre tieto médiá. Obsah a rozsah práce bol zvolený tak, aby sa splnili ciele dizertačnej práce, ktoré sú uvedené v úvodnej kapitole. Základ práce tvoria poznatky získané štúdiom pri dennom doktorandskom štúdiu a poznatky získané vedecko – výskumnej činnosti v oblasti teoretického a aplikovaného výskumu a pri riešení úloh riešených podľa konkrétnych požiadaviek praxe pri pôsobení na Katedre konštruovania a častí strojov Strojníckej fakulty Žilinskej Univerzity v Žiline a spoluprácou s firmami e- robot a Ecofil.

Na základe súhrnov a analýzy poznatkov z oblasti jednoúčelových strojov boli zvolené postupy pri návrhu jednoúčelového filtračného zariadenia pre vysokoviskózne mazacie systémy, pričom práca prezentuje dva konštrukčné systémy a to návrh makro zariadenia pre filtráciu maziva od objemu 3 do 13 litrov a návrh mikro zariadenia pre filtráciu maziva do objemu 300 mililitrov.

Dizertačná práca poukazuje na dôležitú úlohu ošetrovania tribologických uzlov v konštrukcii a prevádzke strojných zariadení, kde limitujúcim faktorom sa stáva otázka možnosti filtrovateľnosti plastických mazív používaných v prevodovkách robotov.

Experimentálne bolo zistené, že teplotno-viskózný index plastického maziva používaného v niektorých typoch robotov sa v prevádzkových podmienkach priemyselných strojov výraznejšie nemení. Tato skutočnosť a rešeršná práca viedla k poznatku, že v súčasnosti nie sú dostupné vhodné filtračné médiá, umožňujúce filtráciu plastických mazív v kvalite NAS1638 7, ISO4406 18/16/13.

V prípade olejových mazív s vyššou viskozitou je významným konštrukčným kritériom schopnosť definovaného ohrevu.

Práca poskytuje nové poznatky v oblasti tribológie pri používaní mazív s vyššou viskozitou ako to je v oblasti priemyselných robotov, konkrétne v ramenách robotov a v ich redukčných prevodovkách.

V tretej a štvrtej časti kapitoly 6 je dokumentačný popis jednoúčelových filtračných zariadení. Jedná sa o makro jednoúčelové filtračné zariadenie (objem 3 až 13 l) a mikro jednoúčelové filtračné zariadenie (objem do 300 ml).

V rámci spolupráce s firmou eROBOT, j.s.a Svidník bol na základe konštrukčného návrhu vyrobený prototyp mikro filtračného zariadenia metódou „Rapid prototyping“ a spolu s ostatnými súčasťami tohto zariadenia bol vytvorený funkčný prototyp pre reálne zariadenie.

Možno konštatovať, že definovaný hlavný cieľ práce ako aj definované čiastkové ciele boli v práci splnené.

Prínos pre vedný odbor

Dizertačná práca poukazuje na dôležitú úlohu ošetrovania tribologických uzlov v konštrukcii a prevádzke strojných zariadení. Práca poskytuje nové poznatky v oblasti tribológie pri filtrácii plastických mazív a mazív s vyššou viskozitou.

Rozširuje poznatky o zariadeniach vhodných na pravidelnú kontrolu kvality maziva v produkčnom procese.

Prínos pre prax

V rámci štúdia sme vykonali pokus s mazivami, a to olejom a plastickým mazivom používaných v priemyselných robotoch. V práci sme tiež navrhli jednoúčelové filtračné zariadenie maloobjemové a veľkoobjemové a navrhli metodiku meraní. Experimentálne bola overená čerpaceľnosť a filtrovateľnosť mazív pre prevodové systémy robotov.

V prípade použitia olejového maziva je v technickej praxi možné použiť jednoúčelové zariadenie pre optimalizáciu časového intervalu výmeny mazacieho média v závislosti od jeho reálnej čistoty a stave opotrebenia technického systému,

Prínos pre pedagogickú činnosť

Dizertačná práca ponúka prehľad z oblasti ošetrovania mazív v priemysle. Táto práca, ako aj poznatky získané pri jej riešení sa môžu využiť pri výučbe predmetov zaoberajúcich sa tribológiou a prevádzkou strojných zariadení.

Metodika konštruovania a technologickosť konštrukcie, ktorá je predmetom výuky študentov z oblasti konštruovania strojov môže využiť poznatky o konštruovaní jednoúčelových filtračných zariadení.

Postupy uplatnené v práci sa môžu použiť pri príprave študentov v laboratóriu.

Dizertačná práca vznikla v súčinnosti s projektom „Adaptácia technológií 21. storočia pre nekonvenčné nízko emisné dopravné prostriedky na báze kompozitných materiálov. (Kód projektu: 313011BXF3)“.

7 RESUMÉ

The aim of the work was the design of single-purpose filtration devices for systems with higher viscosity lubricant in gearboxes of industrial robots. Extending the knowledge of the properties of these devices and their application to the lubricants used brings a new perspective to the solution of the problem of continuous lubrication, monitoring and also their possible optimization in high-performance mechanisms. The thesis is the result of cooperation between the Department of Machine Design and Parts of the Faculty of Mechanical Engineering of the University of Žilina and the workplaces e-Robot j.s.a Svidník and Ecofil s.r.o. Michalovce.

8 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] JAMRICOVÁ Z., – STODOLA, J., STODOLA P.: Diagnostika strojov a zariadení, 2011, ISBN 978-80-554-0385-4
- [2] BLAŠKOVIČ, P. – BALLA, J. – DZIMKO, M : Tribológia, Bratislava: ALFA, 1990. ISBN 8005006330,
- [3] PEŤKOVÁ, V. a kolektív : Tribotechnika v teórii a praxi, Košice: VIENALA, 2012. ISBN 978-80-8126-057-5,
- [4] ECOFIL, užívateľská príručka Filtračné zariadenia Ecofil, 2016, Michalovce,
- [5] MANUAL FAPC 016, užívateľská príručka, 2024 – Servisní filtrační agregát, Česká republika, [www.argo-hytos.com/], ARGO-HYTOS je dodávateľ komponentov a systémov v oblasti mobilných strojov a všeobecného strojárstva, 2024 [online].
- [6] Bašťovanský, R., kol.: Metodika konštruovania. Žilinská univerzita, 2017. ISBN 978-80-554-1369-3.
- [7] Bronček, J., kol.: Konštruovanie 1. Žilinská univerzita, 2015. ISBN 978-80-554-11774.
- [8] Málik, L., kol.: Konštruovanie II: časti a mechanizmy strojov. Žilinská univerzita, 2013. ISBN 978-80-554-0755-5.
- [9] ZATVARNICKÝ, A. – Tribológia obtokových filtrov z netkaných textílií, Dizertačná práca, 2009
- [10] <https://addinol.de/>, [Online], [Dátum: 01. 07 2024.]
ADDINOL Schmierstoffe je výrobca a dodávateľ mazív.,[21]
<https://filtertechnik.sk>, [Online], [Dátum: 22. 03 2022.]
Spoločnosť, ktorá sa zaoberá priemyselnou filtráciou.
- [11] <https://addinol.de/>, [Online], [Dátum: 01. 07 2024.]
ADDINOL Schmierstoffe je výrobca a dodávateľ mazív.,
- [12] www.erobot.sk, [Online], [Dátum: 05. 07 2023.]
Spoločnosť, ktorá sa zaoberá tribodiagnostikou.
- [13] www.argo-hytos.com, [Dátum: 07. 03 2024.]
Skupina ARGO-HYTOS je dodávateľ komponentov a systémov v oblasti mobilných s strojov a všeobecného strojárstva.
- [14] <https://sk.huahangfiltration.com/>, [Online], [Dátum: 13. 3 2022]
Xinxiang City Huahang Filter Co., Ltd. je spoločnosť, špecializujúca sa na filtračný systém.
- [15] <http://sk.zhongyuefilter.com/>, [Online], [Dátum: 8. 7 2024]
Zhongyue Filter Co, sro je profesionálne výskum-orientovaná spoločnosť, ktorá sa špecializuje na vývoj, výrobu a predaj inžinierskych filtrov.

9 ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC

Publikácie:

1. Bakalárska práca – Odľahčovacie brzdy, 2010, Katedra automobilovej techniky, Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta,
2. Diplomová práca – Spaľovací motor s premenlivým časovaním rozvodu, 2013, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,

Publikácia v zahraničnom vedeckom časopise:

1. Maláková Silvia, Sivák Samuel, Gažo Martin, Ilečko Ľubomír, 2024, The influence of the optimization of the spur gear body on the meshing stiffness. MM SCIENCE.
2. Maláková Silvia, Sivák Samuel, Gažo Martin, Ilečko Ľubomír, 2024, Structural design of non-standard gear transmission. MM SCIENCE.

Publikácia v zahraničnom zborníku vedeckej konferencie:

1. Gažo, M., & Fiačan, J. (2023). Additive brakes. ELSAVIER. Transportation Research Procedia, 74, 640-647.