



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

HYDRAULICKY OVLÁDANÉ ČISTÍCÍ ČESLE

HYDRAULICALLY DRIVEN SCREENS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dalibor Peška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Dalibor Peška
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
Akademický rok:	2016/17

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:

Hydraulicky ovládané čistící česle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provedení kritické rešerše a následný koncepční návrh hydraulicky poháněných česlí jako čistícího zařízení před vstupem do malé vodní elektrárny. Základní technické parametry:

- šířka 3000 mm,
- zdvih 3000 mm.

Cíle bakalářské práce:

- Kritická rešerše obdobných zařízení.
- Zdůvodněná koncepce navrženého řešení.
- Funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent.
- Pevnostní kontrola a další výpočty hlavních komponent.
- Celková sestava zařízení.
- Podsestava a výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-2-4-2629-0.

ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Vysoké učení technické v Brně, 2009. [cit. 1. 11. 2016]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Cílem práce je vypracovat koncepční návrh hydraulicky poháněných čistících česlí před vstupem do malé vodní elektrárny. V práci je zpracovaná rešerše obdobných zařízení a výpočet mechanismu. K práci je přiložena výkresová dokumentace vybraných součástí.

KLÍČOVÁ SLOVA

stírací zařízení, strojně stírané česle, čistící zařízení

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to elaborate a conceptional design of hydraulically-driven screens located at the entrance to the small hydroelectric power station. In this thesis, there is a research of similar devices as well as the calculation of the mechanism. There is a drawing documentation of the selected parts enclosed to this thesis.

KEYWORDS

wiping device, self-cleaning screen, cleaning device



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEŠKA, D. *Hydraulicky ovládané čistící česle*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc, a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Dalibor Peška



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za odbornou pomoc při řešení zadané problematiky. Také chci poděkovat své rodině a přátelům za podporu při psaní bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Rozdělení česlí.....	10
1.1 Rozdělení česlí podle velikosti průřin.....	10
1.2 Ručně stírané česle.....	11
1.3 Strojně ovládané čistící česle	11
1.4 Hydraulicky poháněné česle	14
2 Výpočtové řešení	17
2.1 Výpočet reakčních sil na mechanismus	17
2.2 Výpočet pevnosti jednotlivých dílů	25
2.3 Návrh ložisek	31
3 Vlastní konstrukční řešení	32
3.1 Dolní rameno	32
3.2 Patka.....	34
3.3 Horní rameno	34
3.4 Shrablo	35
4 Návrh hydraulického obvodu	36
4.1 Lineární hydromotory a hydrogenerátor	36
4.2 Čas trvání jednoho cyklu	36
Závěr.....	39
Seznam použitých zkratk a symbolů	42
Seznam příloh.....	44



ÚVOD

Česle jsou zařízení určené k odstraňování nečistot z vody především před vstupem do malé vodní elektrárny nebo čističky odpadních vod. Pokud by tyto nečistoty nebyly odstraněny, mohly by poškodit díly vodní turbíny nebo ucpat průtok vody. Nečistoty, které nazýváme shrabky se zachytávají na česlicové mříži, zde jsou pomocí shrabla setřeny do vrchní části do odkapávacího koryta, popřípadě odpadní kontejner. Z koryta jsou buď ručně nebo strojně dopravovány do odpadního kontejneru.

Cíle práce

Cílem práce je zpracování rešeršní studie obdobných zařízení. Zaměřit se na hydraulické česle. Zhodnotit jejich vlastnosti a konstrukci. Dle výsledku zpracovat vlastní konstrukční návrh, který by vyhovoval zadaným parametrům. Konstrukce by měla být co nejjednodušší, nenáročná na údržbu a schopna automatického provozu. Provoz zařízení by neměl zatěžovat okolní životní prostředí.

1 ROZDĚLENÍ ČESLÍ

1.1 ROZDĚLENÍ ČESLÍ PODLE VELIKOSTI PRŮLIN

Norma, ČSN EN 12255-3 Čistírny odpadních vod rozděluje na tři kategorie podle minimální velikosti průlin česlí [1]. A to na:

1.1.1 HRUBÉ ČESLE

Velikost průlin 20 mm až 50 mm – chrání čistírnu a zabraňuje blokování průtoku (ucpávání)

Hrubé česle tvoří vertikální nebo nakloněné ocelové tyče (česlice), které mají stejnou rozteč, tak aby dávaly požadovanou velikost průlin. Slouží obvykle jako ochrana čerpadel před poškozením většími předměty, jako jsou kmeny stromů, plovoucí ledové kry, a proto se také nazývají ochranné. Hrubé česle jsou většinou umístěny v rozšířeném vstupu náhonu tak, aby počátek náhonu byl 2 – 15 metrů před jezem hlavního řečiště. Díky takovému stavebnímu uspořádání mohou být předměty strženy proudem vody zpět do hlavního koryta řeky. [1]

1.1.2 STŘEDNÍ ČESLE

Velikost průlin 10 mm až 20 mm – zabraňují blokování průtoku (ucpávání)

Jsou zpravidla strojně stírané. Jsou používány v kombinaci s hrubými a jemnými česli. Slouží k zachycování menších dřevěných předmětů nebo drobnějšího odpadu. Pokud je stírací zařízení umístěno z nátokové strany, nesmí být pohyblivé části ponořeny mimo dobu stírání, aby se na nich nezachycovaly předměty. Předměty by mohly poškodit mechanismus česlí, nebo bránit správné funkčnosti. Provedení česlic je velice podobné jako u hrubých česlí. Shrabky se stírají do záchytného žlabu. Odtud jsou transportovány, buď ručně, samospádem nebo strojně pomocí dopravníků, do připraveného kontejneru. [1]

1.1.3 JEMNÉ ČESLE

Velikost průlin 2 mm až 10 mm – omezují hromadění suspendovaných látek

Jemné česle se používají pro ochranu všech vodních děl. Jejich hlavním úkolem je zachycení všech předmětů a nečistot, které by mohly poškodit, nebo zcela zničit technologické zařízení, či ucpat přítok. Velikost průlin musí být menší než nejmenší průtokový průřez vodní turbíny, což je velikost mezery mezi lopatkami oběžného kola turbíny. Tvar průřezu česlic může být stejně jako u větších typů česlí kruhový. Pro jemné česle se však u větších elektráren často používá specifický tvar česlic, připomínající v průřezu tvar kapky a mající značně nižší koeficient odporu při obtékání. [1]

1.2 RUČNĚ STÍRANÉ ČESLE

Jejich největší uplatnění je v čistírnách odpadních vod (ČOV), zařazují se do hrubého předčištění. Jsou umístovány do obtokových kanálů nebo před jemné strojně stírané česle. U malých aplikací, jsou ruční česle zpravidla používány, jako jediné zařízení pro hrubé předčištění. Shrabky se stírají pomocí speciálně tvarovaných hrábí, pomocí nichž jsou zachycené předměty shrabovány do záchytného žlabu. Odtud jsou přesunuty k likvidaci. [2] [3]

Vyráběné nejčastěji v parametrech: *Pro šířku kanálu od 300 mm do 1000 mm, hloubku kanálu do 2,5 m, průřely od 4 mm do 100 mm. Vhodné pro hloubku vody do 1 m.* [4]

Výhodou ručně stíraných česlí je nízká pořizovací cena, nezbytná však pravidelná kontrola.



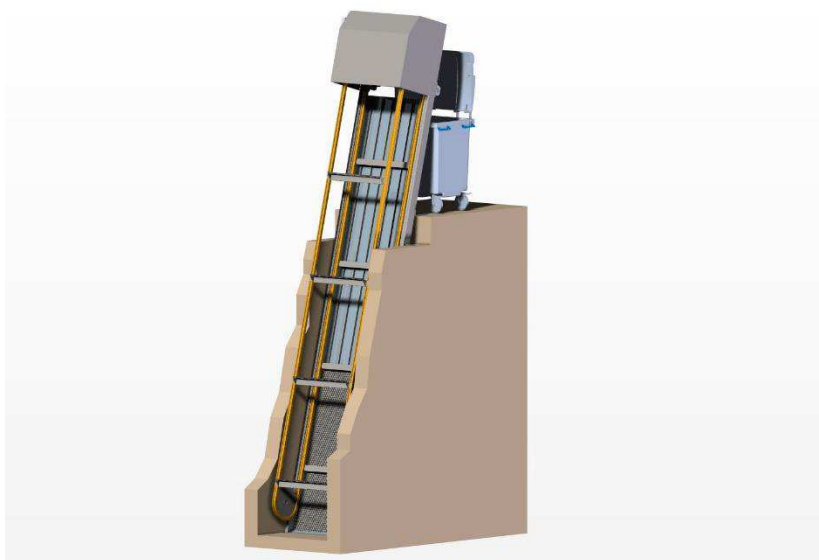
Obrázek č.1 Ručně stírané česle[2]

1.3 STROJNĚ OVLÁDANÉ ČISTÍCÍ ČESLE

1.3.1 ČESLE ŘETĚZOVÉ

Určeny pro střední a velké kanály s vysokou hladinou vody. V horní části mechanismu umístěn pohon česlí, zpravidla elektromotor s řetězovými koly a napínáním řetězu. Řetězová kola pohání dvojici řetězů, na každé straně jeden, na kterých jsou umístěny stírací lišty. Ve spodní části veden řetěz další dvojicí řetězových kol, která jsou pevně spojena hřídelí. Stírací lišty mohou být nahrazeny čistícími zubovými kartáči. [5]

Vyráběné nejčastěji v parametrech: *Pro šířku kanálu od 400 mm do 3 000 mm, hloubku kanálu do 10m, průřely od 4 mm. Jsou použitelné pro velkou hloubku vody, např. 8 m u delších česlí.* [5]



Obrázek č.2 Česle řetězové [5]

1.3.2 ČESLE VOZÍKOVÉ

Určeny především pro nátokové kanály střední velikosti. Základ česlí tvoří rám s česlicovou mříží. Na bočnicích rámu jsou připevněny pojezdové hřebeny, po nichž se vozík se stíracími hráběmi pohybuje. Vozík nese pohon a zvedací mechanismus hrábí, zajišťuje veškeré pohyby hrábí při stírání nečistot z česlicové mříže. Vozík pojíždí vždy nad úrovní hladiny a do vody zasahují pouze hrábě, což při vyšší hladině zabezpečuje plovákový mechanismus.

Vyráběné nejčastěji v parametrech: Pro šířku kanálu od 500 mm do 2 500 mm, hloubku kanálu do 10 m, průřeliny od 4 mm do 100 mm. Vhodné pro hloubku vody do 1,5 m u užších kanálů, do 2,5 m u širších kanálů.[6]



Obrázek č.3 Česle vozíkové [6]

1.3.3 SAMOČISTÍCÍ ČESLE

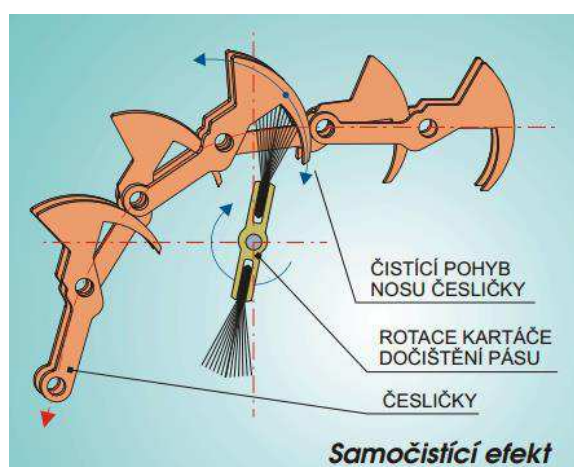
Samočistící česle slouží jako univerzální odlučovač nerozpuštěných látek z kapalin. Předností je uplatnění samočistícího efektu. Možnost použití i pro hluboké kanály. Určeny především pro odpadní kanály a ČOV. [7]

Česle jsou složeny ze segmentů, které tvoří nekonečný pás. Při otáčení pásu vynáší zubová část segmentu zachycené shrabky. V horní části dojde ke změně pohybu pásu a shrabky padají do připraveného kontejneru, popřípadě na pásový, šnekový, nebo jiný dopravník. Samočistící schopnost filtračních elementů je dána specifickým tvarem filtračních segmentů a jejich vzájemným relativním pohybem v místě obracení filtračního pásu směrem do kanálu. Segmenty jsou vyrobeny z kovu, nebo z plastových materiálů. [2]

Vyráběné nejčastěji v parametrech: Pro šířku kanálu od 350 mm do 2 000 mm, hloubku kanálu do 8 m, průřely od 1 mm do 15 mm. [7]



Obrázek č.4 Linka samočistících česli
Brno - Modřice [8]



Obrázek č.5 Detail segmentů [7]

1.4 HYDRAULICKY POHÁNĚNÉ ČESLE

1.4.1 ČISTÍCÍ ČESLE FIRMY CINK HYDRO - ENERGY K.S.

Tyto hydraulické česle jsou zkonstruovány ze skříňových nosníků odolných vůči pokroucení. Česle jsou navrženy jako kloubový dvouramenný mechanismus. Spodní rameno ovládáno pomocí 2 lineárních hydromotorů. Horní rameno se stírací lištou poháněno jedním lineárním hydromotorem. Hydromotor je umístěn na vnější straně mechanismu, proto je primárně namáhán na tah. Takové řešení umožňuje mít delší rameno, na němž je přivařena stírací lišta, což je vhodné zejména pro větší hloubky a česle s menším úhlem stoupání. Celé česle ovládá algoritmus, řízený pomocí tlakových sond, nebo spínacích relé. Konstrukce stírací lišty nevyžaduje žádné usměrnění česlic. Celé česle jsou ošetřeny zinkováním pro větší odolnost proti korozi.

Vyráběné v parametrech: Pro šířku kanálu až 8 000 mm a výšku zdvihu až 10 000 mm. [9]



*Obrázek č.6 Čistící česle firmy
CINK Hydro - Energy k.s [9]*

1.4.2 ČESLE FIRMY P&S A.S. NA LOKACI MVE BAKOV

Konstrukce mechanismu není ze skříňového profilu, nýbrž z trubkového polotovaru. Ramena jsou na jednom čepu, ale nejsou v jedné ose. V tomto případě dochází k jinému zatížení spojovacího čepu, který je primárně namáhán na ohyb. Lineární hydromotor musel být umístěn na speciální konzoli přivařenou ke spodnímu ramenu. Stírací lišta je rozebíratelně připevněna na horní rameno.



Obrázek č.7 Česle firmy P&S a.s. na lokaci MVE Bakov [10]

1.4.3 ČESLE FIRMY P&S A.S. NA LOKACI MVE HUČÁK

Zaměříme-li se pouze na mechanismus shrabovacích a nebudeme brát v potaz mobilitu řešení, která je pro naši aplikaci zbytečná, jsou zde použita dvě ramena, která jsou ve spodní části propojena osou. Osy zastávají funkci čepu a zvyšují celkovou tuhost konstrukce. Není zde stírací lišta jako u předešlých řešení, ale spíše nabírací lžíce, která je také ovládána lineárními hydromotory, a to především z důvodu ostřejšího stoupání česlic a lepšímu vyprazdňování shrabla.



Obrázek č.8 Česle firmy P&S a.s. na lokaci MVE Hučák [11]

1.4.4 VÝSUVNÉ SHRABOVACÍ ZAŘÍZENÍ FIRMY GYRUS

Je navrženo jako jednoramenný mechanismus na hlavním nosném čepu. Pohon výsuvných česlí je umožněn 2 lineárními hydromotory. První zajišťují výsuvný pracovní pohyb. Druhý zajišťuje odklopení a přiklopení hrabla.



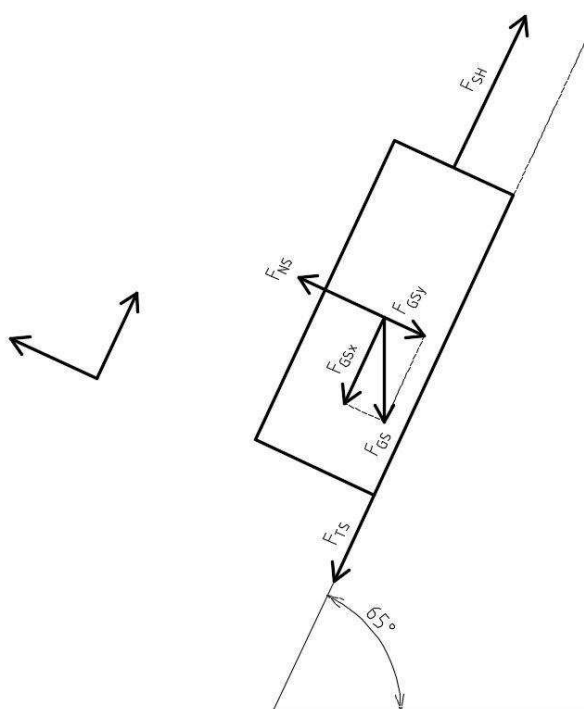
Obrázek č.9 Výsuvné shrabovací zařízení firmy Gyrus [12]

2 VÝPOČTOVÉ ŘEŠENÍ

2.1 VÝPOČET REAKČNÍCH SIL NA MECHANISMUS

2.1.1 VÝPOČET HMOTNOSTI SHRABKŮ

Předpokládaná hmotnost shrabků: $m_s = 125 \text{ kg}$



Obrázek č.10 Shrabky působící na česle

Kde: F_{GS} [N] – tíhová síla shrabků

F_{GSx} [N] – tíhová složka v normálovém směru

F_{GSy} [N] – tíhová složka v tečném směru

F_{SH} [N] – výsledná síla od shrabků

F_{TS} [N] – třecí síla od shrabků

F_{NS} [N] – normálová síla od shrabků



Výpočet gravitační síly

$$F_{GS} = m_s \cdot g = 125 \cdot 9,81 = 1226N \quad (1)$$

Kde: m_s [kg] – tíhová síla shrabků

g [$m \cdot s^{-2}$] – gravitační zrychlení

Přepočet gravitační síly do souřadnicového systému

$$F_{GSx} = F_{GS} \cdot \sin 65 = 1111 N$$
$$F_{GSy} = F_{GS} \cdot \cos 65 = 518 N \quad (2)$$

Rovnice rovnováhy

$$\Sigma F_x = 0 : F_{SH} - F_{GSx} - F_{TS} = 0$$
$$\Sigma F_y = 0 : F_{NS} - F_{GSy} = 0 \quad (3)$$

Z rovnice ΣF_y

$$F_{NS} = F_{GSy}$$
$$F_{NS} = 518 N \quad (4)$$

Výpočet normálové síly

$$F_{TS} = F_{NS} \cdot f_D$$
$$F_{TS} = 528 \cdot 0,35$$
$$F_{TS} = 181 N \quad (5)$$

Kde: f_D [-] – součinitel tření ocel-dřevo

Z rovnice ΣF_x

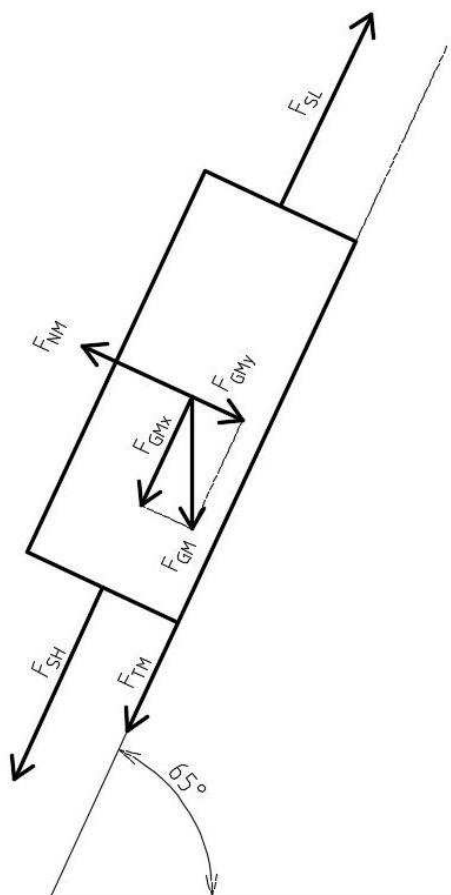
$$F_{SH} = F_{GSx} + F_{TS}$$

$$F_{SH} = 1111 + 181 \quad (6)$$

$$F_{SH} = 1292 \text{ N}$$

2.1.2 VÝPOČET SÍLY OD SHRABLA

Předpoklad: Předpokládáno, že shrablo se dotýká česlic. Síla potřebná na vytáhnutí jak shrabků i tíhy shrabla.



Obrázek č.11 Síla od shrabla

Kde: F_{GM} [N] – tíhová síla shrabla

F_{GMx} [N] – tíhová složka v normálovém směru

F_{GMy} [N] – tíhová složka v tečném směru

F_{SL} [N] – výsledná síla od shrabla



$F_{TM}[\text{N}]$ – třecí síla od shrabla

$F_{NM}[\text{N}]$ – normálová síla od shrabla

Hmotnost shrabla se stírací lištou vychází z materiálových listů.[14][15]

$$m_{SH} = (9,32 \cdot 3) + (1,75 \cdot 3)$$

$$m_{SH} = 32,67 \text{ kg} \quad (7)$$

Kde: $m_{SH}[\text{kg}]$ – hmotnost shrabla

Tíhová síla shrabla

$$F_{GM} = m_{SH} \cdot g$$

$$F_{GM} = 32,67 \cdot 9,81 \quad (8)$$

$$F_{GM} = 320 \text{ N}$$

Přepočítání síly hrabla do souřadnicového systému

$$F_{GMx} = F_{GM} \cdot \sin 65 = 290 \text{ N}$$

$$F_{GMy} = F_{GM} \cdot \cos 65 = 135 \text{ N} \quad (9)$$

Rovnice rovnováhy

$$\Sigma F_x = 0 : F_{SL} - F_{TM} - F_{SH} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 : F_{NM} - F_{GMy} = 0 \quad (10)$$

Z rovnice ΣF_y

$$F_{NM} = F_{GMy} \quad (11)$$

$$F_{NS} = 135 \text{ N}$$

Výpočet normálové síly

$$F_{TM} = F_{NM} \cdot f_o$$

$$F_{TS} = 135 \cdot 0,15$$

$$F_{TS} = 20,2 \text{ N}$$

(12)

Kde: f_o [-] – součinitel tření ocel-ocel

Z rovnice ΣF_x

$$F_{SL} = F_{GMx} + F_{TM} + F_{SH}$$

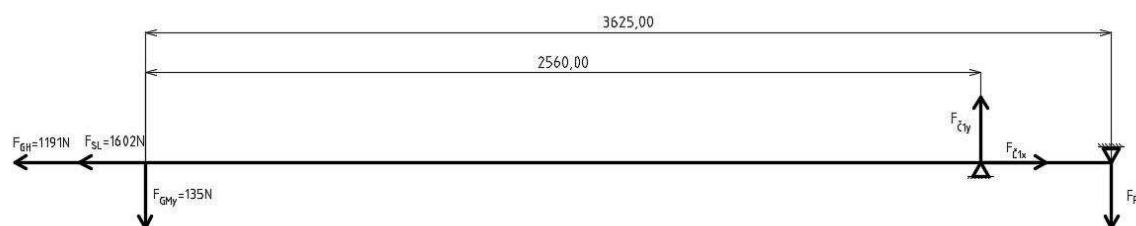
$$F_{SL} = 290 + 20,2 + 1292$$

$$F_{SL} = 1602 \text{ N}$$

(13)

2.1.3 VÝPOČET REAKCÍ NA HORNÍ RAMENO

Předpoklad: Rameno je uloženo svisle. Gravitační síla působí v ose. Uložení lineárního hydromotoru bylo nahrazeno obecnou podporou, z důvodu statické určitosti. V dalším výpočtu se přenesse podle geometrie mechanismu.



Obrázek č.12 Reakce na horní rameno

Kde: F_{GH} [N] – tíhová síla horního ramene

$F_{\check{C}1x}$ [N] – síla v čepu 1 ve směru x

$F_{\check{C}1y}$ [N] – síla v čepu 1 ve směru y

F_{P1} [N] – síla lineárního motoru 1



Rovnice rovnováhy

$$\Sigma F_x = 0 : F_{GH} + F_{SL} - F_{\check{c}1x} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 : -F_{GM_y} + F_{\check{c}1y} + F_{P1} = 0$$

$$\Sigma M_A = 0 : F_{GM_y} \cdot 3200 - F_{P1} \cdot 425 = 0 \quad (14)$$

Z rovnice ΣF_x

$$F_{\check{c}1x} = F_{GH} + F_{SL}$$

$$F_{\check{c}1x} = 1191 + 1602 \quad (15)$$

$$F_{SL} = 2793 \text{ N}$$

Tíhová síla horního ramene vychází z materiálového listu.[17]

$$m_{HR} = (32,8 \cdot 3,7)$$

$$m_{HR} = 121,36 \text{ kg}$$

$$F_{GH} = m_{HR} \cdot g \quad (16)$$

$$F_{GM} = 121,36 \cdot 9,81$$

$$F_{GM} = 2793 \text{ N}$$

Z rovnice ΣM_A

$$F_{P1} = \frac{F_{GM_y} \cdot 3200}{425}$$

$$F_{P1} = \frac{135 \cdot 3200}{425} \quad (17)$$

$$F_{P1} = 1016 \text{ N}$$

Z rovnice ΣF_y

$$F_{\check{c}1y} = F_{GM_y} + F_{P1}$$

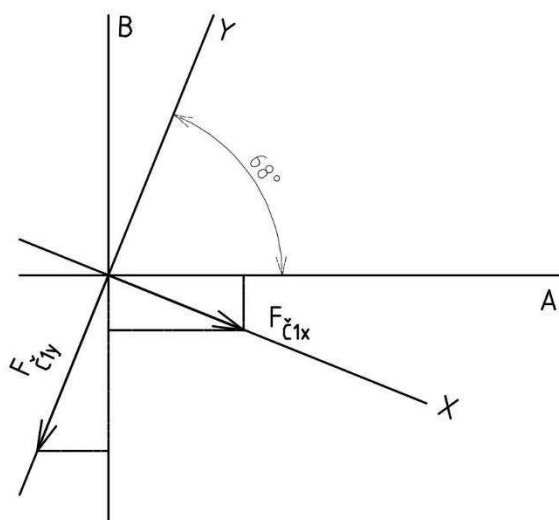
$$F_{\check{c}1x} = 135 + 1016$$

$$F_{SL} = 1151 \text{ N}$$

(18)

2.1.4 PŘENESENÍ REAKCÍ ČEPU Č.1

Předpoklad: Osy ramen jsou vzájemně pootočený o 68° .



Obrázek č.13 Přenesení reakcí na čepu č.1

Z obrázku převedení souřadnicového systému do os AB

$$F_{\check{c}1A} = 21 \text{ N}$$

$$F_{\check{c}1x} = 3020 \text{ N}$$

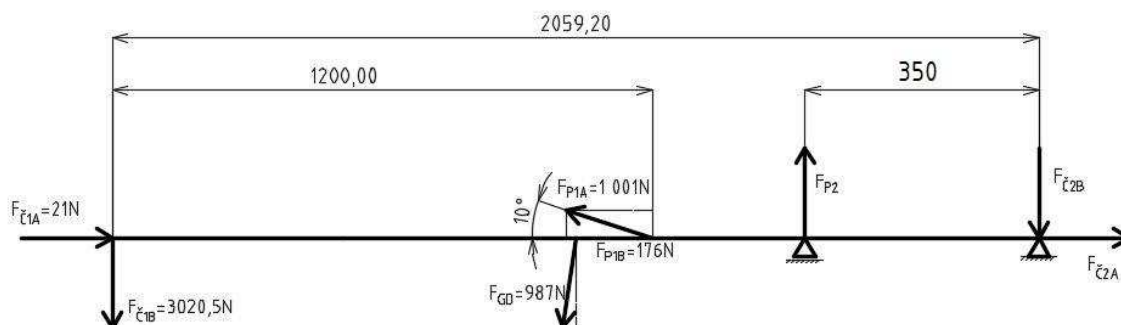
(19)

Kde: $F_{\check{c}1A}$ [N] – síla v čepu 1 ve směru A

$F_{\check{c}1B}$ [N] – síla v čepu 1 ve směru B

2.1.5 VÝPOČET REAKČNÍCH SIL NA SPODNÍ RAMENO

Předpoklad: Tvar ramene je po dohodě s vedoucím práce převeden na přímý prut. Uložení lineárního hydromotoru bylo nahrazeno obecnou podporou, z důvodu statické určitosti.



Obrázek č.14 Reakce na dolní rameno

Kde: F_{GD} [N] – tíhová síla dolního ramene

$F_{\check{c}2B}$ [N] – síla v čepu 2 ve směru B

$F_{\check{c}2A}$ [N] – síla v čepu 2 ve směru A

F_{P2} [N] – síla lineárního motoru 2

Rovnice rovnováhy

$$\Sigma F_A = 0 : F_{\check{c}1A} - F_{P1A} - F_{GDA} + F_{\check{c}2A} = 0$$

$$\Sigma F_B = 0 : -F_{\check{c}1B} + F_{P1B} + F_{GDB} + F_{P2} - F_{\check{c}2B} = 0$$

$$\Sigma M_2 = 0 : F_{\check{c}1B} \cdot 2574 - F_{P1B} \cdot 825 + F_{GDB} \cdot 1287 - F_{P2} \cdot 350 = 0$$

(20)

Z rovnice ΣM_2

$$F_{P2} = \frac{F_{\check{c}1B} \cdot 2574 - F_{P1B} \cdot 825 + F_{GDB} \cdot 1287}{350}$$

$$F_{P2} = \frac{3020 \cdot 2574 - 176 \cdot 825 + 977 \cdot 1287}{450}$$

(21)

$$F_{P2} = 25370 \text{ N}$$

Z rovnice ΣF_B

$$F_{\check{C}2B} = -F_{\check{C}1B} + F_{P1B} - F_{GDB} + F_{P2} = 0$$

$$F_{\check{C}2B} = -3020 + 176 - 977 + 25370$$

(22)

$$F_{\check{C}2B} = 21549 \text{ N}$$

Z rovnice ΣF_A

$$F_{\check{C}2A} = -F_{\check{C}1A} + F_{P1A} + F_{GDA} = 0$$

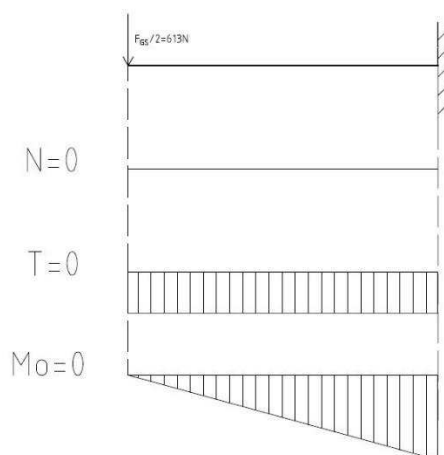
$$F_{\check{C}2A} = -21 + 1001 + 137$$

(23)

$$F_{\check{C}2A} = 1117 \text{ N}$$

2.2 VÝPOČET PEVNOSTI JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ

2.2.1 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY – SHRABLO



Obrázek č.15 VVÚ shrablo

Řez I

$$N = 0$$

$$T = 613 \text{ N}$$

(24)

$$M_o = \frac{F_{GS}}{2} \cdot x = 613 \cdot 1,5 = 915,5 \text{ Nm}$$

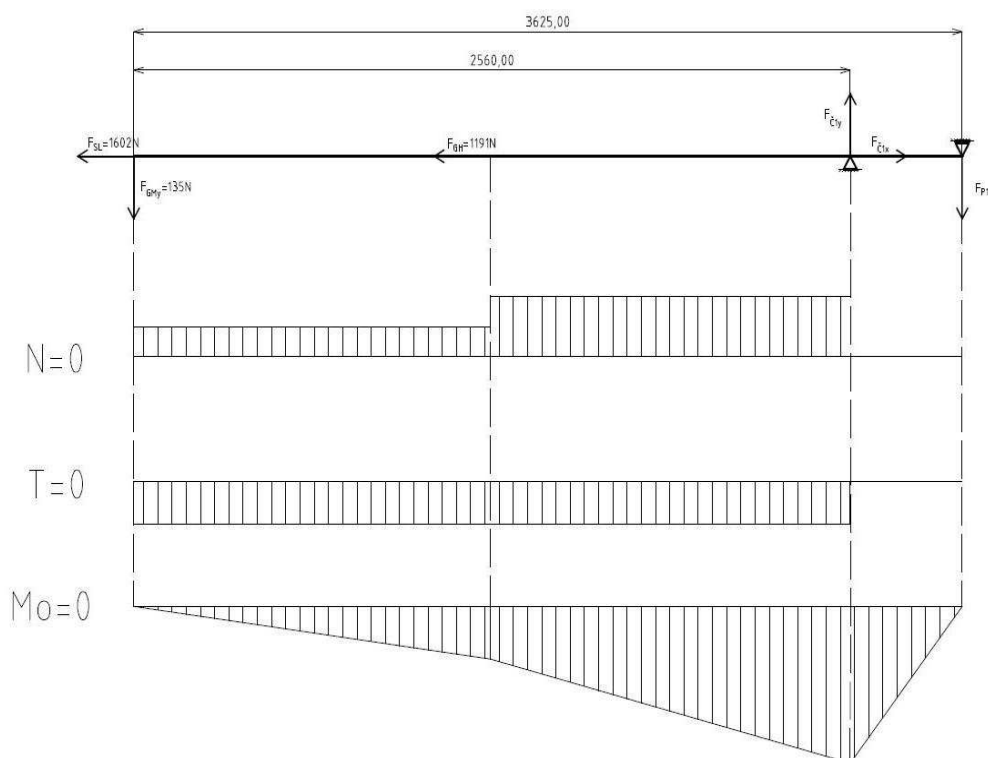
Výpočet bezpečnosti

Průřezový modul k ose vychází z materiálového listu.[14]

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{915,5}{1 \cdot 10^{-5}} = 92,65 \text{ MPa} \quad (25)$$

$$k = \frac{Re}{\sigma} = \frac{235}{92,65} = 2,53$$

2.2.2 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY – HORNÍ RAMENO



Obrázek č.16 VVÚ horní rameno



Řez I

$$N = F_{SL}$$

$$T = -F_{FMY} \quad (26)$$

$$Mo = -F_{FMY} \cdot x$$

Řez II

$$N = F_{SL} + F_{GH}$$

$$T = -F_{FMY} \quad (27)$$

$$Mo = -F_{FMY} \cdot (x + 1,8125)$$

Řez III: z prava

$$N = 0$$

$$T = F_{P1} \quad (28)$$

$$Mo = F_{P1} \cdot x_2 = 1016 \cdot 0,425 = 431,8 \text{ Nm}$$

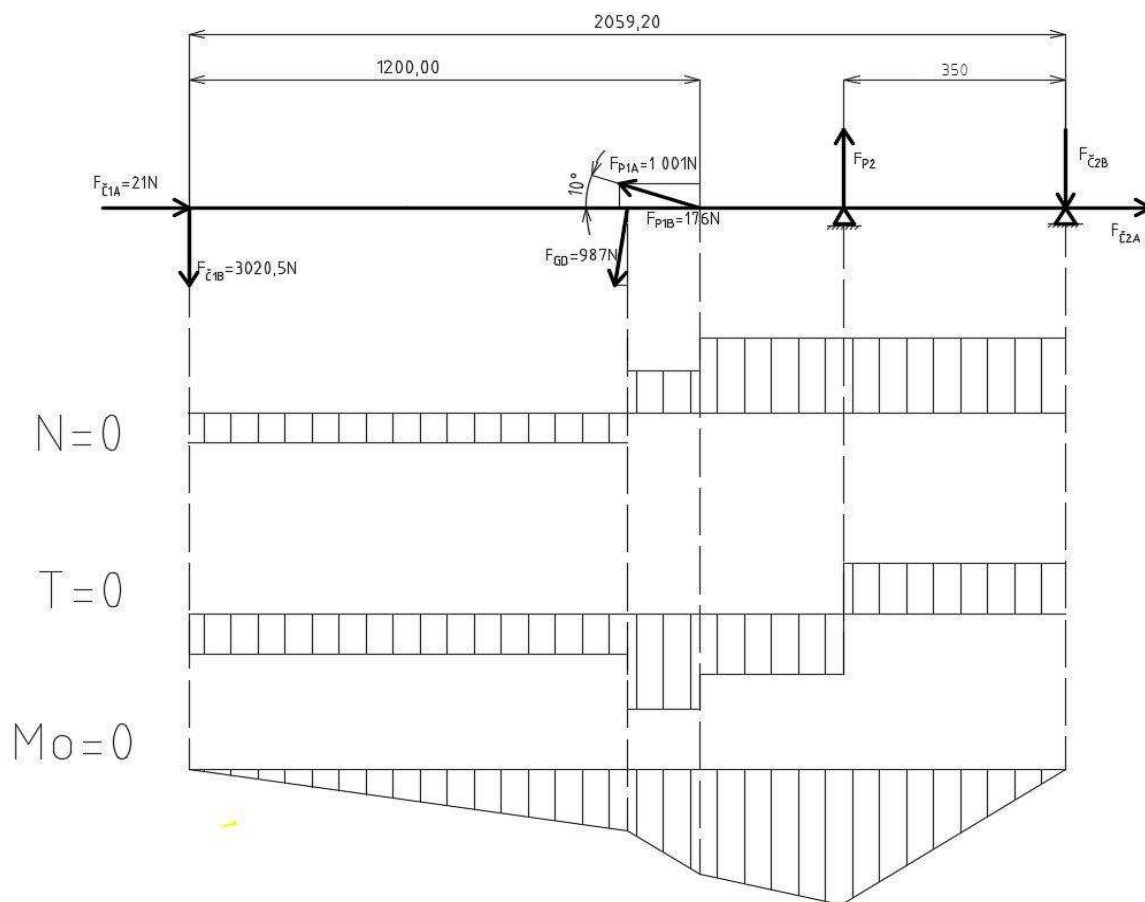
Výpočet bezpečnosti (29)

Průřezový modul k ose vychází z materiálového listu.[17]

$$\sigma = \frac{Mo}{Wo} = \frac{431,8}{2,0908 \cdot 10^{-4}} = 2 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{Re}{\sigma} = \frac{355}{2} = 177$$

2.2.3 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY – DOLNÍ RAMENO



Obrázek č.17 VVÚ dolní rameno

Řez I

$$N = -F_{\check{C}1A}$$

$$T = -F_{\check{C}1B}$$

$$M_O = -F_{\check{C}1B} \cdot x$$

(30)

Řez II

$$N = -F_{\check{C}1A} - F_{GDA}$$

$$T = F_{GDB} + F_{\check{C}1B}$$

$$M_O = F_{GDB} \cdot x - F_{\check{C}1B}(x + 1,029)$$

(31)

(32)



Řez III

$$N = -F_{\check{c}1A} + F_{P1A} + F_{GDA}$$

$$T = F_{P1B} - F_{\check{c}1B} - F_{GDB}$$

$$Mo = F_{P1A} \cdot (x + 1,029) - F_{\check{c}1B} \cdot (x + 1,2) + F_{P1A} \cdot x$$

Řez IV

$$N = F_{\check{c}2A}$$

$$T = F_{\check{c}2B} \tag{33}$$

$$Mo = -F_{\check{c}2B} \cdot x_2 = 15912 \cdot 0,45 = 7542,2 \text{ Nm}$$

Výpočet bezpečnosti

Průřezový modul k ose vychází z materiálového listu.[17]

$$\sigma = \frac{Mo}{Wo} = \frac{7542,2}{2,0908 \cdot 10^{-4}} = 36 \text{ MPa} \tag{34}$$

$$k = \frac{Re}{\sigma} = \frac{300}{36} = 8,33$$

2.2.4 VÝPOČET PEVNOSTI ČEPU 1

Na výpočet čepu je použito vztahů ze Strojně technické příručky kapitola 6.1.2 [17]

Výpočet čepu

$$Mo_{MAX} = \frac{F_{\check{c}2}}{2} \left(a + \frac{b}{4} \right) - \frac{F b}{2 \cdot 4} \tag{35}$$

$$Mo_{MAX} = \frac{21578}{2} \left(0,06 + \frac{0,1}{4} \right) - \frac{21578 \cdot 0,1}{2 \cdot 4}$$

$$Mo_{MAX} = 647,3 \text{ Nm}$$



Výpočet bezpečnosti

$$\sigma_{max} = \frac{Mo}{W_o} = \frac{Mo}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{647,3}{\frac{\pi \cdot 0,04^3}{32}} = 103 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$k = \frac{Re}{\sigma_{max}} = \frac{295}{103} = 2,8 \quad (37)$$

Výpočet na otláčení

$$p_1 = \frac{F_{\check{c}2}}{a \cdot d} \leq p_{dov}$$
$$p_1 = \frac{21578}{0,06 \cdot 0,04} \leq p_{dov} \quad (38)$$

$$p_1 = 8,99 \text{ MPa} \leq 10 \text{ MPa}$$

$$p_2 = \frac{F_{\check{c}2}}{2bd} \leq p_{dov}$$
$$p_2 = \frac{21578}{2 \cdot 0,1 \cdot 0,04} \leq p_{dov} \quad (39)$$


$$p_2 = 2,6 \text{ MPa} \leq 10 \text{ MPa}$$

Výpočet druhého čepu nutný. Volím taktéž průměr 40 mm. Rozměry jsou identické, zatížení nižší.

2.3 NÁVRH LOŽISEK

Pro návrh ložisek, respektive kluzných pouzder bylo využito elektronické kalkulačky společnosti SKF. Základní životnost vyšla 8640 hodin. [18]

Basic rating life for composite dry sliding bearings : PCM 404450 M

Input parameters 

F_r Radial load	10.8 kN
Operating temperature	20 °C
β Half the angle of oscillation	35 °
Type of Load	Rotating load
f Frequency of oscillation or rotational speed	0.5 min ⁻¹
t Time taken to pass through complete oscillation (4β)	120 s
R_a Surface roughness of pin	0.8 μm

Warning

Quasi-static range (pv diagram, operating ranges). Service life equation can be used with certain restrictions. Please contact the SKF application engineering service.

Result

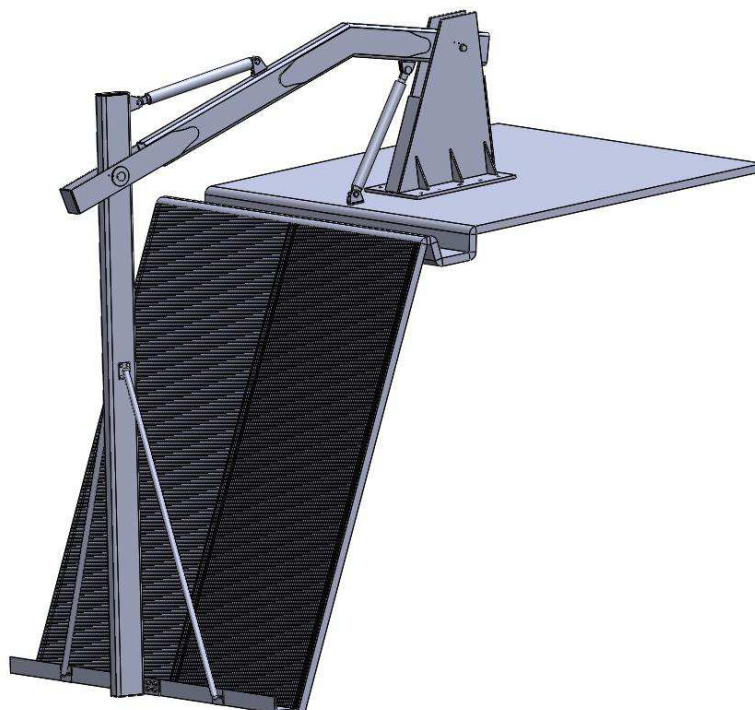
G_h Basic rating life	8640 hour
----------------------------------------------	-----------

Obrázek č.18 Výpočet ložiska SKF [1]

3 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Mé řešení česlí jsou konstrukčně podobné jako u firmy CINK Hydro. Použitý je zde také dvouramenný mechanismus. Horní rameno ovládáno z vnější strany, dolní rameno však ovládáno pouze jedním hydromotorem. Shrablo je zde rozebíratelné. Vzpěry pomáhající k lepší stabilitě jsou taktéž odnímatelné, od shrabla i od horního ramene.

Ke konstrukci byly použity zpravidla normalizované polotovary, které prošly povrchovou úpravou a to zinkováním. Hlavní části mechanismu by tedy měly být chráněny proti korozi.



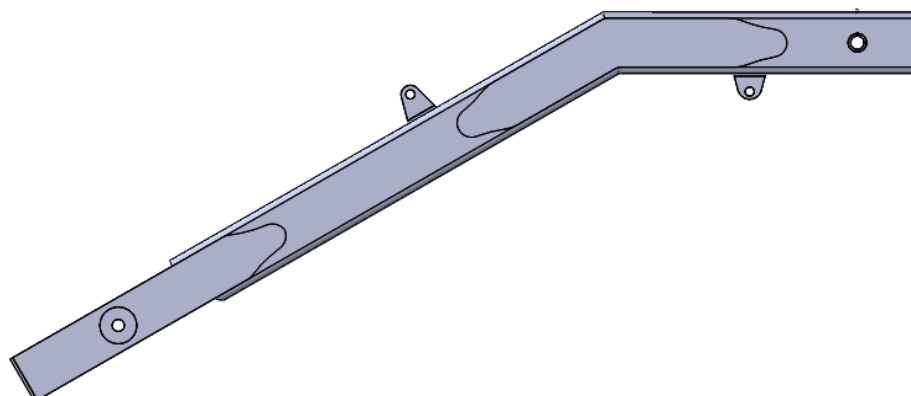
Obrázek č.19 Mechanismus česlí

Mechanismus je schopný za jeden cyklus uzvednout až 125 kg shrabků. Čímž je značně naddimenzován a to z důvodů bezpečnosti. Důvodem může být zaklínění shrabků mezi mechanismus a samotné česlice. Při běžném provozu se nepředpokládá zatížení takové velikosti.

3.1 DOLNÍ RAMENO

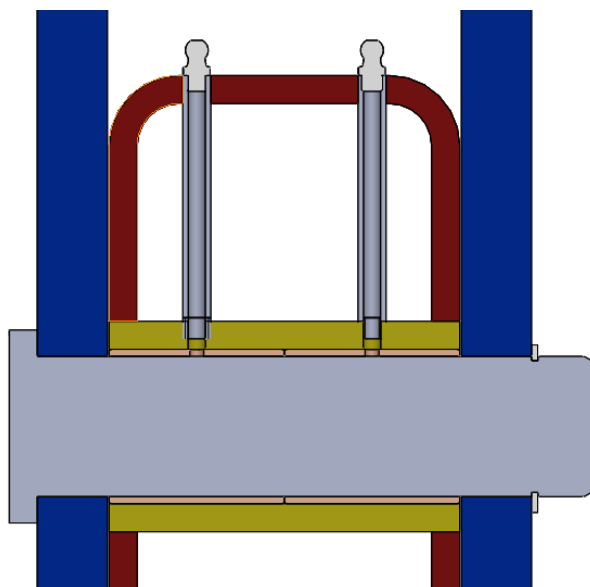
Dolní rameno je svařenec. Základ tvoří dutý svařovaný profil s obdélníkovým průřezem, EN 10219. V jeho zlomu je vyztužen 10mm plechem, který má oblé zakončení, a to z důvodu snížení koncentrace napětí. Do profilu jsou navařeny vodící pouzdra pro čepové uložení. Levá část slouží k vedení horního ramene. Zde je navařený kruhový plech, který slouží jako výztuha uložení čepu

Profil není zaslepený. Tudiž vnitřní části mohou vést trubky nebo hadice s hydraulickým olejem, které pohání lineární hydromotor č.1.



Obrázek č.20 Dolní rameno

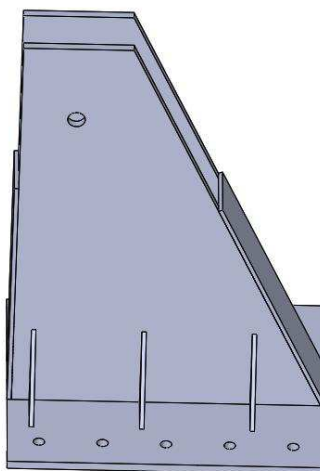
Spojení dolního ramene s patkou pomocí čepu. Čep v patce uložen s přesahem H7/p6. Ložisková pouzdra uloženy v pouzdru taktěž s přesahem H7/r6. Čep musí mít povrch broušen na Ra 0,8, aby byly zaručeny kluzné vlastnosti pouzder. Domazávání pouzder zajišťují 2 maznice M5, které jsou zašroubovány do trubiček. Trubičky a vodící pouzdro spojuje závit M8. K mazání slouží biologicky odbouratelné plastické mazivo SKF LGGB 2.



Obrázek č.21 Uložení čepu s kluznými pouzdry

3.2 PATKA

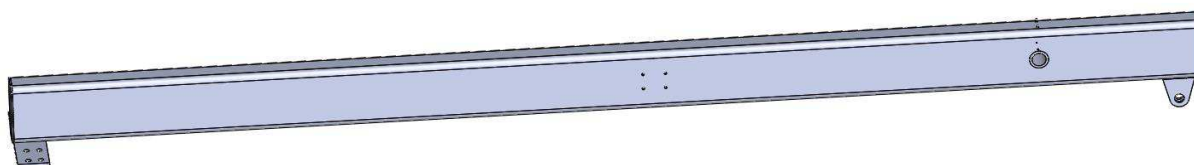
Patka je také svařovaná konstrukce. Na bocích jsou umístěny 3 výztuhy. Patka se připevňuje deseti šrouby se závitem M24. Zadní a přední plech slouží ke zpevnění konstrukce. V patce mohou být zakomponovány hydraulické prvky.



Obrázek č.22 Patka

3.3 HORNÍ RAMENO

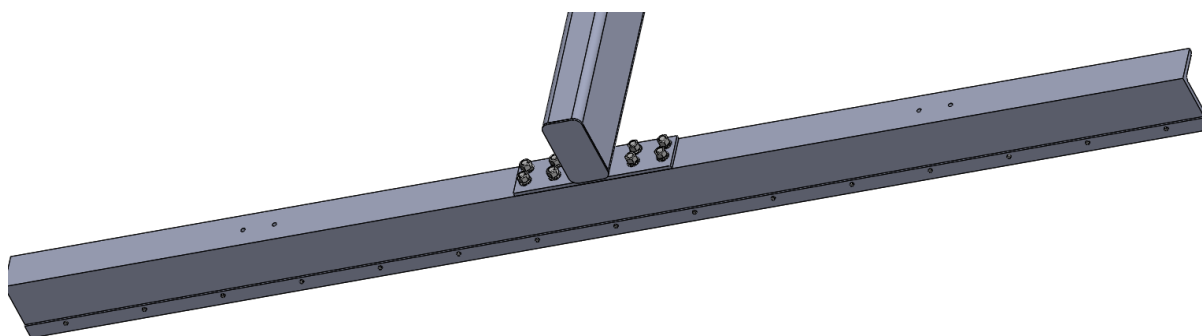
Dolní rameno také svařované. Základ tvoří dutý svařovaný profil s obdélníkovým průřezem, EN 10219, jako u dolního ramene. V pravé části je navařen držák lineárního hydromotoru. V levé části přivařená plochá tyč, která slouží k připevnění shrabla. V bocích profilu jsou vyvrtané 4 díry se závitem M10, na které se připevňují vzpěrné tyče k zaručení stability samotného shrabla. Čepové uložení má stejné parametry jako u dolního ramene. Z důvodů obtížné zjistitelnosti vnitřní koroze ramene jsou díry zaslepené, aby nedošlo ke ztrátě pevnosti ramene.



Obrázek č.23 Horní rameno

3.4 SHRABLO

Shrablo tvoří nerovnoramenný L profil. Ke kterému je pomocí 15 šroubů se závitem M5. Připevněna stírací lišta z nerezové oceli. Zde dochází ke tření se samotnými česlicemi. Tudíž by se pozinkovaná vrstva po několika cyklech narušila a docházelo ke korozi. Shrablo je spojeno 8 šrouby se závitem M16 a zajištěné pružnou podložkou proti povolení. Po stranách jsou 4 díry pro šrouby M10 zajištěné taktéž pružnými podložkami, které slouží k upevnění vzpěr.



Obrázek č.24 Shrablo

4 NÁVRH HYDRAULICKÉHO OBVODU

Nákres hydraulického obvodu je obsažen v příloze.

Jelikož hydraulický mechanismus pracuje v blízkosti vodního toku je nezbytné používat hydraulický olej, který při havárii nejméně znečistí vodní tok, tudíž by měl být biologicky odbouratelný. Jestliže výrobce doporučuje biologicky těžce odbouratelné oleje, byl zvolen olej TOTAL BIOHYDRAN TMP 46, který má podobné specifikace jako doporučení výrobce. [19]

Rozsah pracovních teplot je -20°C až 90°C , tudíž je při upřesnění lokace zhodnotit umístění topné spirály k ohřívání oleje při nízkých zimních teplotách.

4.1 LINEÁRNÍ HYDROMOTORY A HYDROGENERÁTOR

Lineární hydromotory jsou použity od firmy HYDRAULICS s.r.o., a to série ZH2 70/45. Hydromotor ovládající horní rameno má zdvih 610 mm a hydromotor ovládající dolní rameno má zdvih 550 mm. Hydromotory v těchto rozměrech mají doporučený zdvih maximálně 610mm, tudíž není třeba počítat hydromotor proti ztrátě vzpěrné stability.[20]

Hydrogenerátor zvolen od firmy BOSH REXROTH, a to zubový hydrogenerátor s označením řady výrobce AZP, geometrický objem 11 cm^3 . Stálý provozní tlak 25 MPa a rozmezí otáček $3500 - 500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Pohon hydrogenerátoru je řešen čtyřpólovým elektromotorem, otáčky těchto elektromotorů se pohybují okolo $1420 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. [21][22]

4.2 ČAS TRVÁNÍ JEDNOHO CYKLU

Cyklus směrem dolů

Velký objem hydromotoru

$$V_v = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot z$$

$$V_{11} = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,61 = 2,34755 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (40)$$

$$V_{21} = \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,55 = 2,11664 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Kde: $V_v [\text{m}^3]$ – velký objem hydromotoru

$V_{11} [\text{m}^3]$ – velký objem hydromotoru 1

$V_{21} [\text{m}^3]$ – velký objem hydromotoru 2

$d_p [\text{m}]$ - průměr pístu

$z [\text{m}]$ – zdvih



Dodávka čerpadla

$$Q_{\check{c}} = V_0 \cdot n_{\check{c}} \quad (41)$$

$$Q_{\check{c}} = 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1420}{60} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Kde: $Q_{\check{c}}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] – dodávka čerpadla

V_0 [m^3] – geometrický objem čerpadla

n [s^{-1}] – otáčky čerpadla

Čas pohybu směrem dolů

$$t_d = \frac{V_{11} + V_{21}}{Q_{\check{c}}} \quad (42)$$

$$t_d = \frac{2,34755 \cdot 10^{-3} + 2,11664 \cdot 10^{-3}}{2,6 \cdot 10^{-4}} = 17,1 \text{ s}$$

Kde: t_d [s] – čas pohybu směrem dolů

Cyklus směrem nahoru

Malý objem hydromotoru

$$V_m = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{pt}^2}{4} \cdot z \quad (43)$$

$$V_{12} = \left(\frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \right) \cdot 0,61 = 1,37739 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{22} = \left(\frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \right) \cdot 0,55 = 1,24191 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Kde: V_m [m^3] – malý objem hydromotoru

V_{12} [m^3] – malý objem hydromotoru 1

V_{22} [m^3] – malý objem hydromotoru 2

d_{pt} [m] - průměr pístní tyče



Čas pohybu směrem nahoru

$$t_h = \frac{V_{12} + V_{22}}{Q_{\dot{\epsilon}}} \quad (44)$$
$$t_h = \frac{1,37739 \cdot 10^{-3} + 1,24191 \cdot 10^{-3}}{2,6 \cdot 10^{-4}} = 10 \text{ s}$$

Kde: t_h [s] – čas pohybu směrem nahoru

Cyklus podle výpočtu trvá přibližně 30 s. Avšak tuto hodnotu nemůžeme považovat za reálnou, protože bychom museli započítat odpory proti zrychlení, pohybu a deformaci. A následně dobu rozběhu a brždění hydraulického obvodu. Po dohodě s vedoucím práce tento výpočet postačuje z důvodu rozsahu práce.



ZÁVĚR

První část práce se věnuje rešeršní studii, které slouží k pochopení problematiky česlí. Česle byly rozděleny do několika skupin a to podle velikostní průřin , které předepisuje norma. Dále jsou rozděleny podle druhu pohonu a nakonec je studie nejpoužívanějších typů hydraulických česlí a popsány jejich charakteristické rysy.

Další část práce obsahuje pevnostní výpočet jednotlivých dílů sestavy při předpokládaném zatížení 125kg shrabků. Na tohle zatížení bylo užito výsledných vnitřních účinků k zjištění nebezpečného místa. Kritická místa byla kontrolována výpočtem k meznímu stavu pevnosti. Výpočtem je navrhnout průměr čepu, který byl následně kontrolován na stříh a na otláčení. Na výsledný průměr byla navržena kluzná pouzdra, která odolají vypočtenému zatížení. Na tyto výsledky navazuje zdůvodněná koncepce navrženého řešení. Následně byl navrhnout hydraulický obvod se všemi důležitými prvky, které slouží k samotnému ovládaní konstrukce. A na konec byla vypočtena doba jednoho stíracího cyklu.

Součástí práce je výkresová dokumentace, která obsahuje výkres celkové sestavy česlí včetně kusovníku a výkres svařence dolního ramene. Přílohy také obsahují schéma hydraulického obvodu včetně kusovníku použitých prvků.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN EN 12255-3: 2002. Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění. Praha: Český normalizační institut, 2002. 7 s.
- [2] Česle a síta. *ASIO*. [online]. 22.11.2016 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita>
- [3] MAZEL, Lubomír a Miloš POKORNÝ. *Vodárny a čistírny*. 2. přepr.vyd. Brno: VUT, 1992, 149 s. ISBN 80-214-0473-6.
- [4] Ruční česle. *INKOS*. [online]. 22.11.2016 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/cesle-rucni>
- [5] Strojně stírané česle řetězové. *INKOS*. [online]. 22.11.2016 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/cesle-strojne-stirane-retezove>
- [6] Strojně stírané česle vozíkové. *INKOS*. [online]. 27.11.2016 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/cesle-strojne-stirane-vozikove>
- [7] Samočisticí česle. *FONTANA R*. [online]. 4.12.2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCC-CZ.pdf>
- [8] Samočisticí česle. *FONTANA R*. [online]. 4.12.2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/fotogalerie.php#vp101>
- [9] Čistící stroje česlí. *CINK Hydro - Energy k.s.* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.cink-hydro-energy.com/cs/cistici-stroje-cesli>
- [10] Česle firmy P&S a.s. na lokaci MVE Bakov. *P&S a.s.* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: http://www.p-s.cz/editor_img/CS_Bakov.JPG
- [11] Česle firmy P&S a.s. na lokaci MVE Hučák. *P&S a.s.* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: http://www.p-s.cz/editor_img/CS_Hucak.JPG
- [12] Čistící stroje česlí. *Gyrus* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.gyrus-mve.cz/produkty/>
- [13] BIGOŠ, Peter. *Teória a stavba zdvihačích a dopravných zariadení*. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012, 356 s. : il. ISBN 978-80-553-1187-6.
- [14] *Ferona - Profil nerovnoramenný L* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=42333>
- [15] *NerezMaterial.cz* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.nerezmaterial.cz/tyc-plocha-40x5-wst-nr-1-4301-valcovana>
- [16] *Ferona - Profil dutý svařovaný* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=34113>
- [17] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka I*. 13. vyd. Praha: SNTL, 1977, 1294 s.
- [18] SKF Bearing Calculator. *SKF* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://webtools.skf.com/BearingCalc/selectProduct.action>



- [19] Biologicky odbouratelné hydraulické oleje - BIO. *Total* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.oleje-total.cz/prumyslove-oleje-a-maziva/hydraulicke-oleje/biologicky-odbouratelne-hydraulicke-oleje-bio/total-biohydran-tmp-46-201>
- [20] Katalog série ZH2. *HYDRAULICS s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.hydraulics.cz/ZH2_str19.pdf
- [21] Hydraulická zubová čerpadla. *RS Components* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://cz.rs-online.com/web/p/hydraulicka-zubova-cerpadla/5115731/>
- [22] Nízkonapětové motory. *SIEMENS* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.elektromotory.net/upload/file/katalog_11f7.pdf
- [23] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [24] ŠKOPÁN, Miroslav. *Hydraulické pohony strojů*. Vysoké učení technické v Brně, 2009. [cit. 1. 11. 2016]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
a	[m]	Vzdálenost středu čepu a středu zatížení p_1
b	[m]	Vzdálenost středu čepu a středu zatížení p_2
d_p	[m]	Průměr pístu
$F_{\check{C}1A}$	[N]	Síla v čepu 1 ve směru A
$F_{\check{C}1B}$	[N]	Síla v čepu 1 ve směru B
$F_{\check{C}1x}$	[N]	Síla v čepu 1 ve směru x
$F_{\check{C}1y}$	[N]	Síla v čepu 1 ve směru y
$F_{\check{C}2}$	[N]	Celková síla v čepu 2
$F_{\check{C}2A}$	[N]	Síla v čepu 2 ve směru A
$F_{\check{C}2B}$	[N]	Síla v čepu 2 ve směru B
f_D	[-]	Součinitel tření ocel-dřevo
F_{GD}	[N]	Tíhová síla dolního ramene
F_{GH}	[N]	Tíhová síla horního ramene
F_{GM}	[N]	Tíhová síla shrabla
F_{GMx}	[N]	Tíhová složka síly shrabla v normálovém směru
F_{GMy}	[N]	Tíhová složka síly shrabla v tečném směru
F_{GS}	[N]	Tíhová síla shrabků
F_{GSx}	[N]	Tíhová složka shrabků v normálovém směru
F_{GSy}	[N]	Tíhová složka shrabků v tečném směru
F_{NM}	[N]	Normálová síla od shrabla
F_{NS}	[N]	Normálová síla od shrabků
f_o	[-]	Součinitel tření ocel-ocel
F_{P1}	[N]	Síla lineárního motoru 1
F_{P2}	[N]	Síla lineárního motoru 2
F_{SH}	[N]	Výsledná síla od shrabků
F_{SL}	[N]	Výsledná síla od shrabla
F_{TM}	[N]	Třecí síla od shrabla
F_{TS}	[N]	Třecí síla od shrabků
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
K	[-]	Bezpečnost
M_o	$[N \cdot m]$	Ohybový moment

$M_{o_{max}}$	[Nm]	Maximální ohybový moment
m_s	[kg]	Hmotnost shrabků
m_{SH}	[kg]	Hmotnost shrabla
n	[s ⁻¹]	Otáčky čerpadla
p_1	[MPa]	Napětí na čepu
p_2	[MPa]	Napětí na čepu - dřík
p_{dov}	[MPa]	Dovolené napětí na otláčení
$Q_{\check{c}}$	[m ³ ·s ⁻¹]	Dodávka čerpadla
Re	[MPa]	Mez kluzu
t_d	[s]	Čas pohybu směrem dolů
t_h	[s]	Čas pohybu směrem nahoru
V_0	[m ³]	Geometrický objem čerpadla
V_{11}	[m ³]	Velký objem hydromotoru 1
V_{12}	[m ³]	Malý objem hydromotoru 1
V_{21}	[m ³]	Velký objem hydromotoru 2
V_{22}	[m ³]	Malý objem hydromotoru 2
V_m	[m ³]	Malý objem hydromotoru
V_v	[m ³ ·s ⁻¹]	Velký objem hydromotoru
W_o	[mm ³]	Průřezový modul v ohybu
z	[m]	Zdvih
σ_{dov}	[MPa]	Dovolené napětí

Zkratka	Význam
MVE	Malá vodní elektrárna
ČOV	Čistička odpadních vod
VVU	Výsledné vnitřní účinky



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

- | | |
|----------------------------------|------------|
| 1. Schéma hydraulického obvodu | 2017_HO_00 |
| 2. Kusovník hydraulického obvodu | 2017_HO_01 |
| 3. Výkres sestavy | 2017_00_00 |
| 4. Výkres svařence | 2017_00_01 |