



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## HYDRAULICKY POHÁNĚNÉ ČESLE HYDRAULICALLY DRIVEN SCREENS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSC.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Svoboda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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 poháněné česle**

v anglickém jazyce:

### **Hydraulically driven screens**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh hydraulicky poháněných česlí jako čistícího zařízení před vstupem do malé vodní elektrárny. Základní technické parametry:

šířka 2000 mm

zdvih 2500 mm

Cíle bakalářské práce:

Technická zpráva obsahující:

- stručná rešeršní studie,
- koncepce navrženého řešení,
- funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent,
- pevnostní výpočet a další výpočty dle vedoucího BP

Výkresová dokumentace obsahující:

- celková sestava zařízení
- podsestavy a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:


1. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
2. ŠKOPÁN, M.: Hydraulické pohony strojů, elektronická skripta VUT v Brně 2009
3. Související ČSN a firemní literatura


Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 11.11.2013



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan



## **ABSTRAKT**

V bakalářské práci je stručně zpracován přehled a rozdělení různých typů česlí. Dále se práce zabývá návrhem hydraulicky stíraných česlí. Během řešení byly použity jak analytické výpočty, tak řešení pomocí metody konečných prvků. Návrh řešení je zpracován v 3D programu Autodesk Inventor Professional 2013. Ve stejném programu byly vytvořeny výrobní výkresy vybraných částí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

strojně stírané česle, stírací zařízení, hydraulicky poháněné zařízení

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis contains a short summary and overview of different types of screens. The thesis further deals with a design of hydraulically driven screens. Both analytical calculations and finite element method were used in the course of solution finding. The proposed of solution was created in 3D program Autodesk Inventor Professional 2013. Manufacturing of selected parts were also created in the same program.

## **KEYWORDS**

self-cleaning screen, wiping device, hydraulically driven device



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SVOBODA, J. *Hydraulicky poháněné česle*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 55 s. Vedoucí diplomové 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 5. května 2014

.....

Jan Svoboda



## **PODĚKOVÁNÍ**

Za obětovaný čas, připomínky a cenné rady při vypracování bakalářské práce, bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Funkce česlí .....	11
2 Přehled a rozdělení druhů česlí .....	12
2.1 Podle velikosti průřin .....	12
2.2 Podle druhu pohonu vyklízacího mechanismu .....	12
2.2.1 Ručně stírané česle .....	12
2.2.2 Elektromotorem poháněné česle .....	13
2.2.3 Hydraulicky poháněné česle .....	16
2.3 Česle se speciální konstrukcí .....	19
2.3.1 Rotační bubnové česle .....	19
2.3.2 Bubnové česle s drtičem .....	20
2.3.3 Samočistící česle .....	21
3 Formulace řešeného problému .....	22
3.1 Koncepty řešení .....	23
3.1.1 Koncepty .....	23
3.1.2 Koncept s výsuvnou tyčí .....	24
3.1.3 Koncept s vodícími drážkami .....	25
4 Výpočtové řešení .....	26
4.1 výpočet síly potřebné k vyzvednutí shrabků .....	26
4.2 Výpočet síly nutné k ovládní shrabla .....	27
4.2.1 Výpočet síly nutné k ovládní ve směru x .....	27
4.2.2 Výpočet síly nutné k ovládní ve směru y .....	30
4.3 Návrh průměrů trubky vodící tyče .....	32
4.4 Volba a kontrolní výpočet šroubového spoje .....	34
4.5 Volba a kontrolní výpočet nosného čepu .....	38
4.6 Volba a kontrolní výpočet kluzných ložisek .....	40
5 Vlastní konstrukční řešení .....	41
5.1 Princip funkce mechanismu .....	41
5.2 Konstrukce shrabla .....	42
5.3 Konstrukce vedení .....	43
5.4 Konstrukce stojanu .....	44
5.4.1 Konstrukce pevného stojanu .....	44
5.4.2 Konstrukce otáčivého uložení .....	45
5.5 Volba hydropohonů .....	46
5.5.1 Volba lineární hydropohonu ve směru x .....	46



---

5.5.2	Spojení se shrablem .....	47
5.5.3	Volba lineárního hydropohonu ve směru y .....	48
	Závěr .....	49
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	52
	Seznam příloh .....	55



## ÚVOD

Česle jsou zařízení určené k odstraňování velkých nečistot z protékající vody. Nečistoty, zvané shrabky, se zachytávají na česlové mříži. Z této mříže se pak za určitý časový úsek odstraňují setřením. Stírání provádí shrablo, které může být poháněno různými způsoby. Shrabky jsou setřeny do nádoby, nebo do dopravníku, který může být součástí celého zařízení. Tato bakalářská práce se zabývá česlemi, které jsou hydraulicky poháněné. Shrabky se ukládají v jednoduchém plechovém korytě, odkud jsou pak ručně vyklizeny.

Součástí práce je rešeršní studie různých druhů česlí. Česle jsou ve studii rozděleny podle způsobu udávaného normou tj, podle velikosti průlin neboli podle velikost mezer v česlové mříži. Dále podle druhu a způsobu pohonu celého mechanismu. Také je zde věnován prostor česlím se speciální konstrukcí filtrace a odstraňování nečistot.

Byly vytvořeny koncepty různého řešení stíracího zařízení. Výsledný návrh vychází z kombinace nejlepších vlastností různých návrhů řešení. Záměrem autora bylo vytvořit nový návrh systému odstraňování shrabků a ne pouze opakovat již vytvořené mechanismy. Tímto přístupem mělo být dosaženo nového pohledu na problematiku.

Při návrhu jednotlivých součástí bylo využíváno jak analytických výpočtů, tak řešení pomocí metody konečných prvků. Rozměry některých součástí jsou naopak zvoleny po konzultaci s vedoucím bakalářské práce.

Konečný návrh je zpracován v 3D programu Autodesk Inventor Professional 2013. V tomto programu byla také vytvořena výkresová dokumentace. Dokumentace obsahuje výkresy celkové sestavy zařízení, včetně kusovníku, dále také vybrané výkresy podsestav a některých dalších součástí.



# 1 FUNKCE ČESLÍ

Voda přiváděná do kanálu nesoucí nečistoty přetéká přes česlicové lamely. Tyto jsou vyrobeny z pásové ocele s pevně stanovenou šířkou štěrbinu ukotvené v nosném rámu. Nerozpustné anebo plovoucí látky větší jak šířka štěrbinu se zachytávají na lamelách. V stanoveném časovém intervalu se automaticky spustí shrabovací zařízení, skládající se ze stírací lišty, případně čistících kartáčů, které zachycené plavající anebo nerozpustné látky setře z lamel do přistavené nádoby. Tento odpad se nazývá shrabky.

Součástí česlí může být i zařízení na zpracování shrabků. Nádoba je nahrazena pásovým, nebo šnekovým dopravníkem odvádějícím shrabky do pracovní komory hydraulického lisu. Zde jsou stlačeny a odvodněny, tím se usnadňuje další manipulace s odpadem. Celé zařízení bývá často zhotovené z antikorozi ocele z důvodu zvýšení životnosti. Prostory, kde jsou česle instalovány, mohou být temperované.



## 2 PŘEHLED A ROZDĚLENÍ DRUHŮ ČESLÍ

### 2.1 PODLE VELIKOSTI PRŮLIN

Jednoduché rozdělení druhů česlí podle minimálních hodnot průlinu česlí stanovené ČSN normou Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění. [1]

**Hrubé česle** (20 mm až 50 mm) – chránící čistírnu a zabraňující blokování průtoku (ucpávání)

**Střední česle** (10 mm až 20 mm) – zabraňující blokování průtoku (ucpávání)

**Jemné česle** (2 mm až 10 mm) – omezující hromadění suspendovaných látek

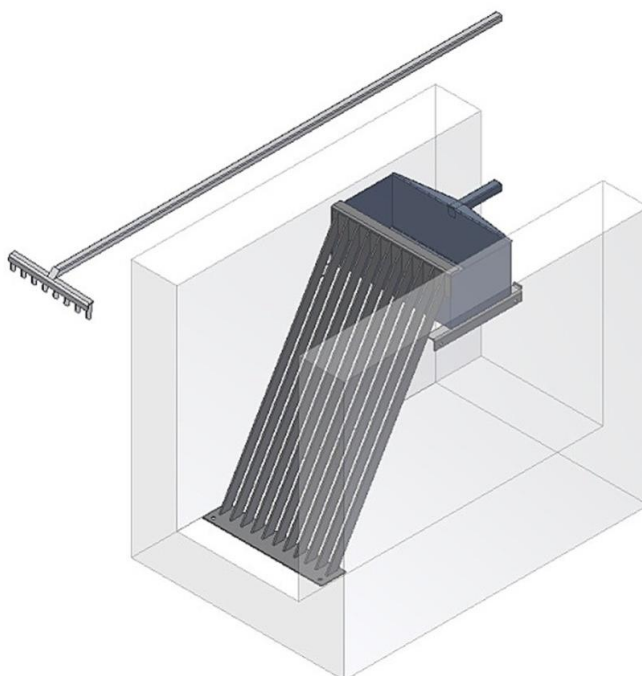
### 2.2 PODLE DRUHU POHONU VYKLÍZECÍHO MECHANISMU

Rozdělení podle druhu pohonu vyklízecího mechanismu, vzhledem k velikosti česlí resp. velikosti průtoku vody kanálem a četnosti použití. Mechanismy mohou být hnané manuálně, elektromotorem, nebo přímočarým hydromotorem v kombinaci s elektromotorem.

#### 2.2.1 RUČNĚ STÍRANÉ ČESLE

Ručně stírané česle slouží k zachycení hrubých nečistot z odpadních vod natékajících do čistírny. Zařazují se do mechanického předčištění a umísťují se do přívodního kanálu čistírny nebo do obtokového kanálu jako záloha strojně stíraných česlí. [2]

Česle je nutné vyklízet manuálně podle potřeby a množství shrabků. K vyklizení se používají hrábě, kterými se odpad shrabuje do připojeného kontejneru.



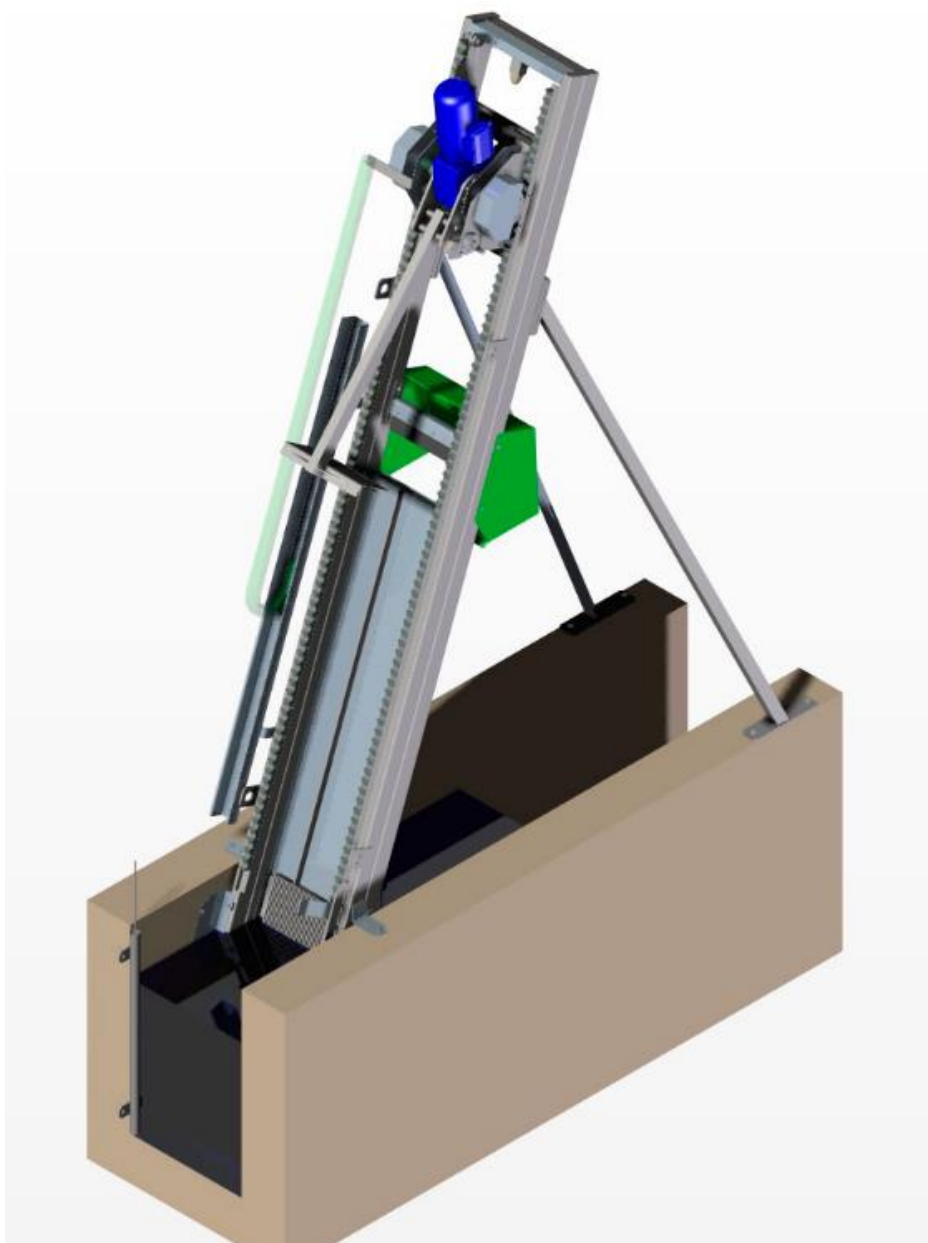
Obrázek 1 Ručně stírané česle [2]



## 2.2.2 ELEKTROMOTOREM POHÁNĚNÉ ČESLE

### STROJNĚ STÍRANÉ ČESLE VOZÍKOVÉ

Jsou automatické bezobslužné česle, určené především pro nátokové kanály střední velikosti. Základ česlí tvoří rám s česlicemi speciálního tvaru, který minimalizuje hydraulický odpor a vzduť hladiny před česlemi. Na bočnicích rámu jsou připevněny pojezdové hřebeny, po nichž se pohybuje vozík se stíracími hráběmi. Vozík nese pohon a zvedací mechanismus hrábí, zajišťující 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. [3]

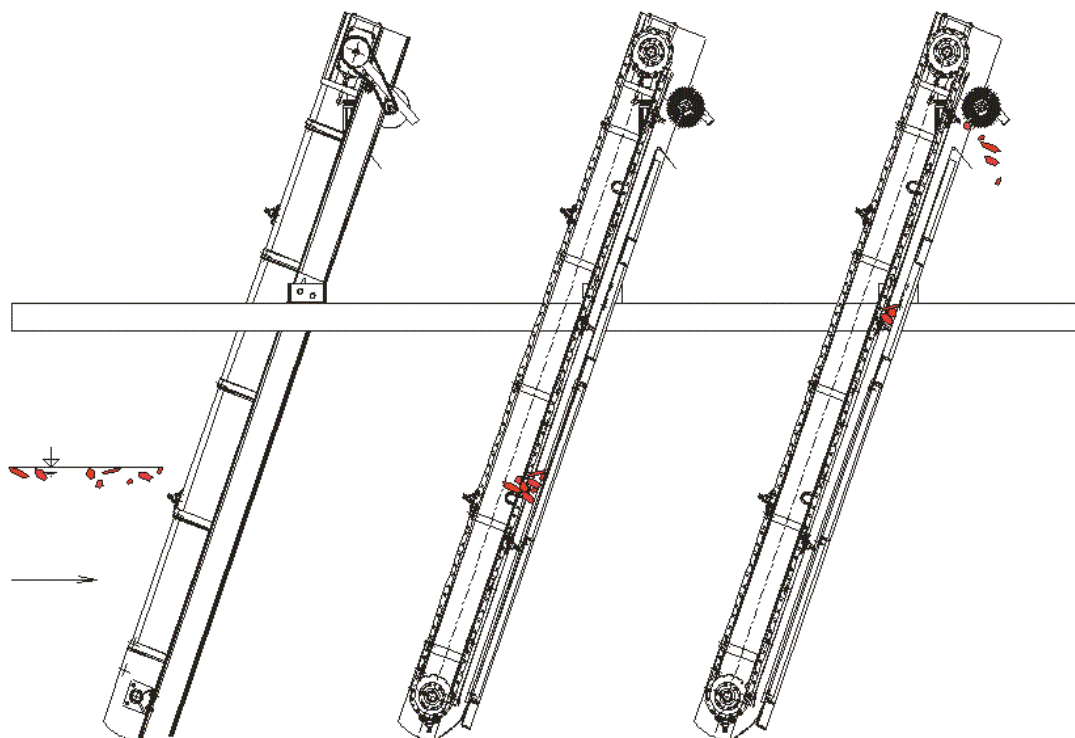


Obrázek 2 Strojně stírané vozíkové česle [3]



### STROJNĚ STÍRANÉ ČESLE ŘETĚZOVÉ

Jsou určeny především pro střední a velké kanály s hloubkou až 15 metrů. Šířka rámu česlí se pohybuje od 1 až do 4 metrů. V horní části rámu je umístěn pohon s řetězovými koly, která pohánějí dva řetězy s vyhrnovacími lištami. Ve spodní části jsou řetězy vedeny řetězovými koly. Odstranění nečistot z česlicové mříže a jejich doprava do odpadního žlabu je prováděna shrnovacími lištami, nebo použitím stíracích kartáčů v kombinaci s mechanickými zuby.

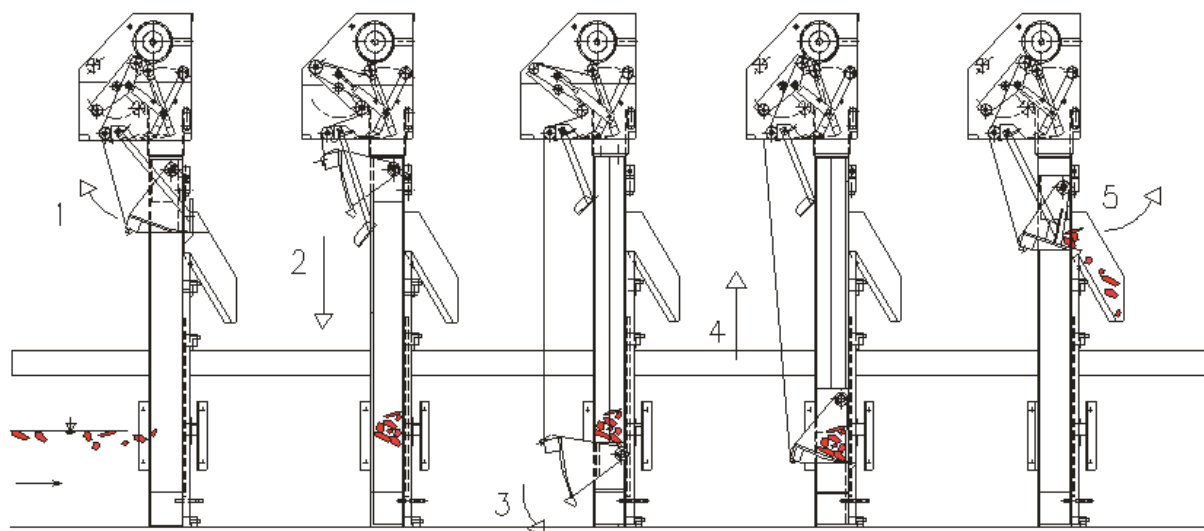


Obrázek 3 Strojně stírané česle řetězové [4]



### MECHANICKY STÍRANÉ ČESLE VERTIKÁLNÍ

Jsou určeny pro střední a velké kanály s hloubkou až 15 metrů. Na rozdíl od jiných druhů jsou orientovány vertikálně s nulovým úhlem sklonu. Jejich výhodou je malý zástavový a pracovní prostor. Všechny části pohonu a mechanické součásti zůstávají při pracovním cyklu nad hladinou, což výrazně snižuje poruchovost a nároky na údržbu. Hrablo je taženo pásy nebo lany, vytahuje nečistoty z kanálu, které jsou setřeny stěrkou do kontejneru.



Obrázek 4 Mechanicky stírané česle vertikální [5]



### 2.2.3 HYDRAULICKY POHÁNĚNÉ ČESLE

Shrabovací zařízení je poháněno elektromotorem přes hydrostatický převod. Principy činností jednotlivých typů česlí jsou si podobné, stírací pohyb je konán pomocí přímočarých hydromotorů, liší se především ve směru, v kterém působí. U všech typů sběr shrabků zajišťuje shrablo.

#### VÝSUVNÉ HYDRAULICKÉ SHRABOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Ovládací síla hrabla je vyvozena dvěma přímočarým hydromotory. Jeden zajišťuje pracovní pohyb shrabla nahoru a dolů. Druhý pohon ovládá přísun hřebenu hrabla k česlicové mříži. Zařízení může být doplněno lisem, případně dopravníkem shrabků. V pracovní komoře hydraulický lis shrabky odvodní, slisuje a dopravním potrubím dopraví do kontejneru. Dopravní potrubí slisovaných shrabků je možné vést různými úhly. Ovládání je nejčastěji plně automatizované s možností nezávislého nastavení časů stírání a lisování shrabků. Standardně se zařízení instaluje do vybetonovaného kanálu příslušné šířky a je vyrobené z antikorozi oceli. Na obrázku jsou česle označené výrobcem SBH water jako typ HX.

Parametry hydraulického shrabovacího zařízení HX:

Čistící hloubka:	0,2÷3m
Šířka hrabla:	0,4÷2,5m
Maximální průtok:	13÷3000 l/s



Obrázek 5 Strojně stírané česle firmy SBH water HX [6]



### HYDRAULICKÉ SHRABOVACÍ ZAŘÍZENÍ RnR

Zařízení RnR je složeno ze dvou kloubově spojených ramen a hrabla. V tomto případě jsou ramena poháněna třemi přímočarými hydraulickými motory. Dva pohánějí spodní rameno a jeden horní. Pro polohování hrabla a setření shrabků je zapotřebí součinnost všech motorů. Součástí zařízení je opět dopravník a kontejner pro sběr odpadu.



Obrázek 6 Hydraulické shrabovací česle RnR [7]



### VELKOROZMĚRNÝ POJEZDOVÝ ČISTÍCÍ HYDRAULICKÝ STROJ

Pojezdový čistící stroj pracuje na podobném principu jako shrabovací stroj RnR. Pro obsluhu širokých česlí je jeho manipulační prostor rozšířený. Celý stroj je usazen na pojezdových kolejničích.

Pojízdový hydraulický stroj dvouramenný s ručním, poloautomatickým a automatickým ovládáním z ovládacího panelu, nebo bezdrátově z velínu MVE. Shrabky jsou ukládané do vany s obousměrnou shrnovací deskou. [8]

Parametry stroje instalovaného na MVE Miřejovice:

Čistící hloubka:	7,0 m
Šířka hrabla:	2,5 m
Nosnost hrabla:	500 kg
Realizace:	2009



Obrázek 7 Čistící stroj česlí MVE Miřejovice – Vltava [8]



## 2.3 ČESLE SE SPECIÁLNÍ KONSTRUKCÍ

Česle kombinující více principů dohromady. Filtraci přes česlové síto, promývání shrabků vodou, nebo mechanické zpracování větších nečistot. Často jsou česle kombinované i s dopravníkem odvádějícím shrabky do kontejneru.

### 2.3.1 ROTAČNÍ BUBNOVÉ ČESLE

Síto pro cezení odpadních vod od malých po střední průtoky. ROTAMAT® Micro Strainer je instalován přímo ve žlabu nebo ve zvláštní nádrži. Odpadní voda proudí skrz otevřený přední konec síťového koše a skrz síto na kterém se zachycují vyflotované, usazující se a suspendované látky. Účinnost této síťové separace závisí také na velikosti ok síta. Zanášení síta s sebou přináší další filtrační efekt, díky němuž mohou být zachyceny i částice menší než je velikost jeho ok.

Robustní rotační šnek odstraňuje shrabky z povrchu síta. Dalšího čištění je dosahováno díky kartáči, který je upevněn po obvodu šroubovice rotačního šneku. Díky tomuto kartáči je také eliminováno opotřebení zařízení na minimum. Šnekový dopravník transportuje shrabky skrz uzavřený tubus, kde je současně odvodňuje, zhutňuje a poté předává do kontejneru, případně dalšího dopravníku. [9]



Obrázek 8 Bubnové česle ROTAMAT® Ro 9 [9]



### 2.3.2 BUBNOVÉ ČESLE S DRTIČEM

Toto zařízení kombinuje dvě různé technologie zachytávání a zpracování nečistot. Zachovává vysoký průtok hrubých česlí a vysokou míru zachycení jemných česlí. Rotující bubnové česle zachycují drobné nečistoty a zároveň usměrňují příliš velké pevné látky do drtiče. Drtič je schopný zpracovat širokou škálu látek. Kombinace nožů je různá pro široké využití. Ze shrabků se pomocí ostříku vymyjí organické látky pro dosažení větší čistoty a snížení zápachu. Pomocí šnekového dopravníku jsou pak shrabky dopraveny do kontejneru.



*Obrázek 9 Auger Monster [10]*

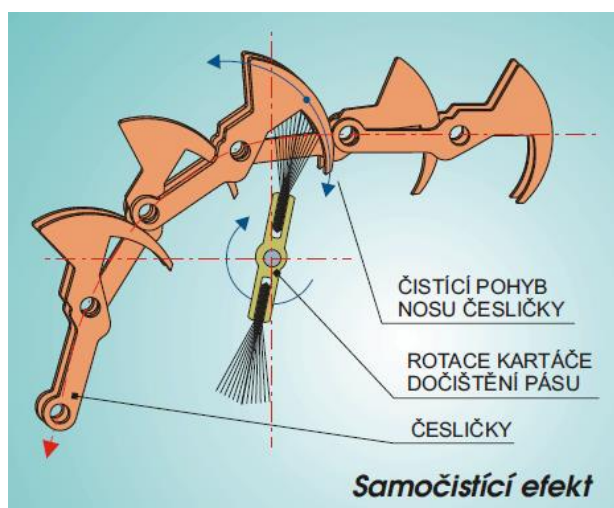


### 2.3.3 SAMOČISTÍCÍ ČESLE

Samočistící česle se svojí funkcí velmi podobají řetězovým česlím. Nečistoty jsou zachytávány na česlicovém pásu, který je vynáší do prostoru výsyvky. Odloučení shrabků od pásu se děje samočinně vlivem vhodně tvarovaných a vedených česlic. Pohyb pásu zajišťuje elektromotor přes řetězový převod a hřídel vodících kol pásu.



Obrázek 10 Samočistící česle od firmy Fontanar na ČOV v Brně – Modřicích [11]



Obrázek 11 Čištění česlicového pásu [11]



### 3 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Základní technické parametry: šířka - 2000 mm  
zdvih - 2500 mm

Řešení je navrženo jako výsuvné hydraulické shrabovací zařízení. Využívající pro pohon dva lineární hydromotory. Jeden zajišťující pracovní pohyb – dopravu shrabků z česlové mříže do vany. Druhý motor pro ovládání vedlejšího pohybu – přiklopení a odklopení hrabla.

Při jednoduchém připojení hydropohonů přímo k sobě, jako u česlí typu HX od firmy SBH water, dochází při vytažení ramene pro shrabování, k nežádoucímu ohybovému namáhání pracovního pístu hydromotoru. Koncepty možného řešení byly navrženy s ohledem na zmenšení délky ramene, na kterém působí přitlačná síla a tím i zmenšení ohybového momentu.

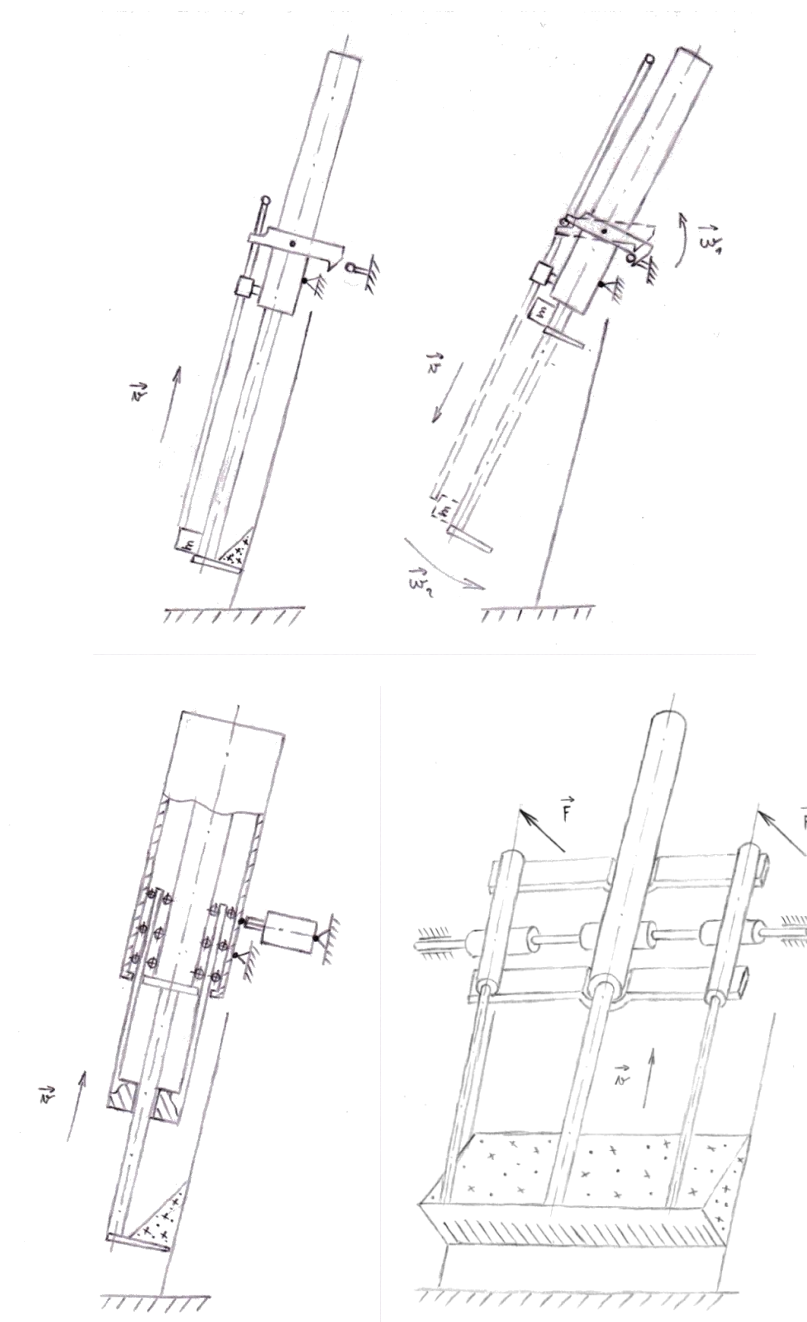


### 3.1 KONCEPTY ŘEŠENÍ

Návrhy konceptů řešení vychází z výsuvného hydraulického shrabovacího zařízení. U každého návrhu jsou vzaty v potaz jeho výhody a nevýhody. Finální řešení by mělo mít vlastnosti nejlepšího konceptu, nebo jejich kombinaci.

#### 3.1.1 KONCEPTY

V počátku řešení problému bylo k úloze přistupováno různými směry. Bylo například vzato v úvahu i jednoduché mechanické ovládání. Hlavním záměrem ovšem zůstalo odlehčení pístnice od silového působení v radiálním směru.

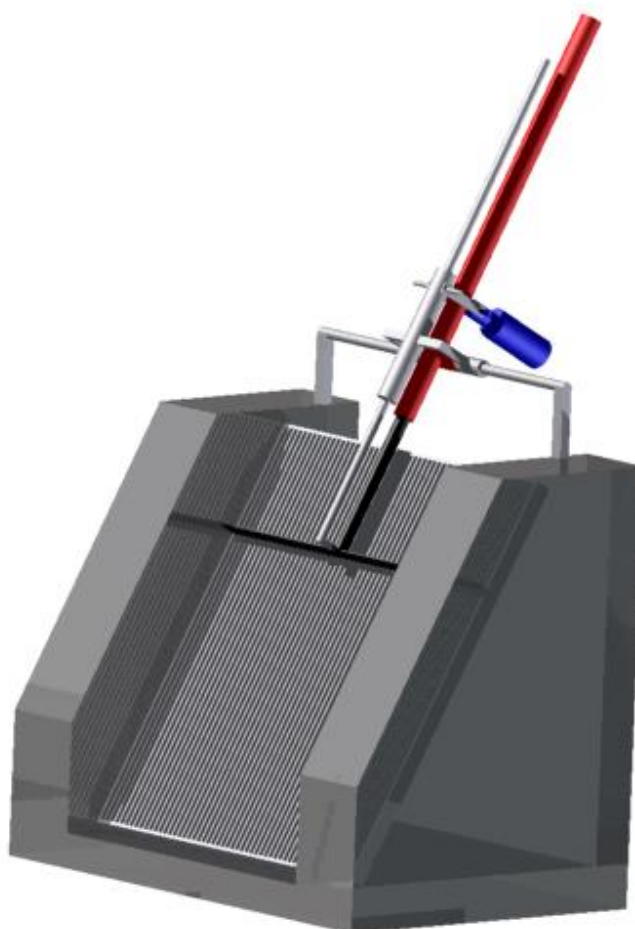


Obrázek 12 První návrhy konstrukce



### 3.1.2 KONCEPT S VÝSUVNOU TYČÍ

Ovládání shrabla (označeno černou barvou) pomocí připojeného výsuvné tyče. Tyč je umístěna ve vedení, ke kterému je připojen hydromotor (označeno modrou barvou). Ten prostřednictvím tyče vyvozuje přítlačnou sílu přímo na hrábě shrabla. S hydromotorem zajišťující vytáhnutí shrabků (označeno červenou barvou) mají společnou osu otáčení, ale nejsou spojené. Tyč shrabla tak není namáhána na ohyb od přítlačné síly, ale působí na ni pouze váha shrabků.



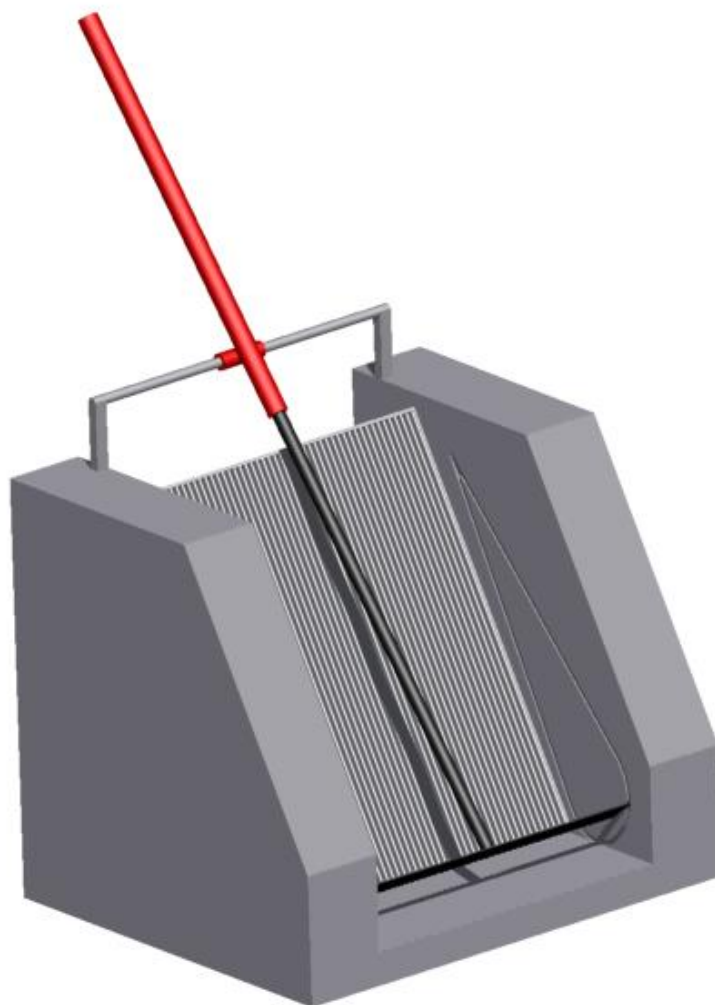
*Obrázek 13 Koncept s výsuvnou tyčí*

- |  |   |
|--|---|
| + možnost využití větší přítlačné síly | - složitější a těžší konstrukce                                     |
| + shrablo minimálně namáhané na ohyb   | - nutnost dvou hydromotorů  |
| + relativně malé rozměry               | - více ponořených součástí  |
|  | - další kuzná plocha navíc (požadavek na těsnění a kvalitu povrchu) |



### 3.1.3 KONCEPT S VODÍCÍMI DRÁŽKAMI

Shrablo je vedené dvěma drážkami v bocích žlabu. Přítlačná síla na česle je vyvozena vhodným tvarováním vedení. V horní části není umístěn druhý hydromotor. Konstrukce je jednodušší a lehčí. Rameno shrabla není v takové míře namáháno na ohyb.



Obrázek 14 Koncept s vodícími drážkami

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| + jednoduchá konstrukce  | - možné zanášení vodících drážek             |
| + pouze jeden hydromotor | - nároky na třecí kontakt drážka/čep shrabla |
| + relativně malé rozměry | - náročná výroba vodící drážky               |



## 4 VÝPOČTOVÉ ŘEŠENÍ

Výpočtové řešení se zabývá třemi typy řešení. Výpočtem silových účinků, návrhem rozměrů vybraných částí a výpočetní kontrolou zvolených součástí.

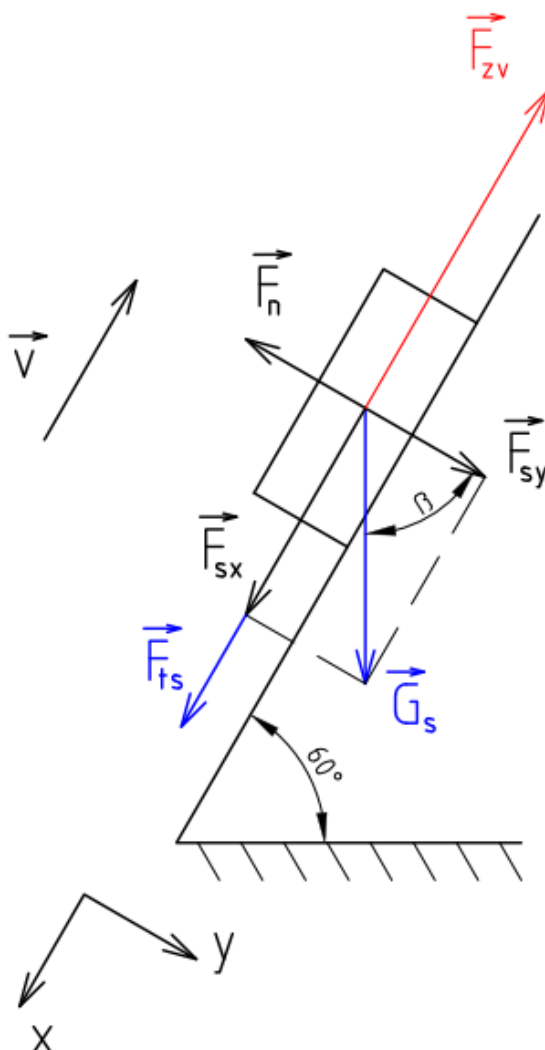
Výpočet silových účinků je rozdělený do více částí: Zjištění síly nutné k vytažení shrabků. Zjištění síly nutné k vykonání pracovního posuvu shrabla, tedy posuvu v ose  $x$ . Zjištění síly potřebné k přiklopení a odklopení shrabla, tedy pohybu v ose  $y$ .

Návrh rozměru vybrané součásti je proveden pomocí výpočetního programu ANSYS Workbench 14.5 využívající metodu konečných prvků.

Výpočtem byly zkontrolovány pouze některé vybrané součásti, které mohou být důležité pro chod, nebo funkci určité části česlí.

### 4.1 VÝPOČET SÍLY POTŘEBNÉ K VYZVEDNUTÍ SHRABKŮ

Pro zjištění velikosti ovládacích sil je nutné spočítat jaká síla je nutná k vytažení shrabků.



Obrázek 15 Silový obrazec – shrabky



Tíhová síla:

- $G_s$  [N] – tíhová síla shrabků  
 $m_s$  [kg] – hmotnost shrabků  
 $g$  [m.s<sup>-2</sup>] – gravitační zrychlení  
 $\beta$  [°] – úhel naklonění česlové mříže

$$G_s = m_s \cdot g \quad (1)$$

$$G_s = 100 \cdot 9,81$$

$$G_s = 981 \text{ N}$$

Rozložení tíhové síly do směru x a y:

- $F_{sx}$  [N] – tíhová složka v tečném směru  
 $F_{sy}$  [N] – tíhová složka v normálovém směru

$$F_{sx} = \sin\beta \cdot G_s \quad (2)$$

$$F_{sx} = \sin 60 \cdot 981$$

$$F_{sx} = 849,57 \text{ N}$$

$$F_{sy} = \cos\beta \cdot G_s \quad (3)$$

$$F_{sy} = \cos 60 \cdot 981$$

$$F_{sy} = 490,5 \text{ N}$$

Třecí síla shrabků:

- $F_{ts}$  [N] – třecí síla od shrabků  
 $f_s$  [-] – součinitel tření shrabků

$$F_{ts} = F_{sy} \cdot f_s \quad (4)$$

$$F_{ts} = 490,5 \cdot 0,65$$

$$F_{ts} = 318,83 \text{ N}$$

Zdvihová síla:

- $F_{zv}$  [N] – síla potřebná ke zdvihnutí shrabků

$$F_{zv} = F_{ts} + F_{sx} \quad (5)$$

$$F_{zv} = 318,83 + 849,57$$

$$F_{zv} \cong 1169 \text{ N}$$

## 4.2 VÝPOČET SÍLY NUTNÉ K OVLÁDÁNÍ SHRABLA

Síly nutné k ovládání byly pro zjednodušení označeny podle směru působení. Síla, kterou vyvozuje velký lineární hydropohon a vykonávající pracovní pohyb, jako síla ve směru x. A síla, kterou vyvozuje menší lineární hydropohon vykonávající příklon a odklon, jako síla ve směru y.

### 4.2.1 VÝPOČET SÍLY NUTNÉ K OVLÁDÁNÍ VE SMĚRU X

Ovládací síla musí být větší než součet sil vzniklých od hmotnosti pístní tyče a hmotnosti sestavy shrabla, dále třecí síly vzniklé v lineárních kluzných ložiskách a síly potřebné k vyzvednutí shrabků.



Hmotnost pístní tyče:

$m_{p1}$  [kg] - hmotnost pístní tyče

$$m_{p1} = 30,5 \text{ kg}$$

Hmotnost sestavy shrabla:

$m_{ss}$  [kg] - hmotnost sestavy shrabla

$$m_{ss} = 143,1 \text{ kg}$$

Celková hmotnost sestavy:

$m_{cs}$  [kg] - celková hmotnost sestavy

$$m_{cs} = m_{p1} + m_{ss} \quad (6)$$

$$m_{cs} = 30,5 + 143,1$$

$$m_{cs} = 173,6 \text{ kg}$$

$G_{cs}$  [N] - tíhová síla sestavy ovládané hydrophonem ve směru x

$$G_{cs} = m_{cs} \cdot g \quad (7)$$

$$G_{cs} = 173,6 \cdot 9,81$$

$$G_{cs} = 1703 \text{ N}$$

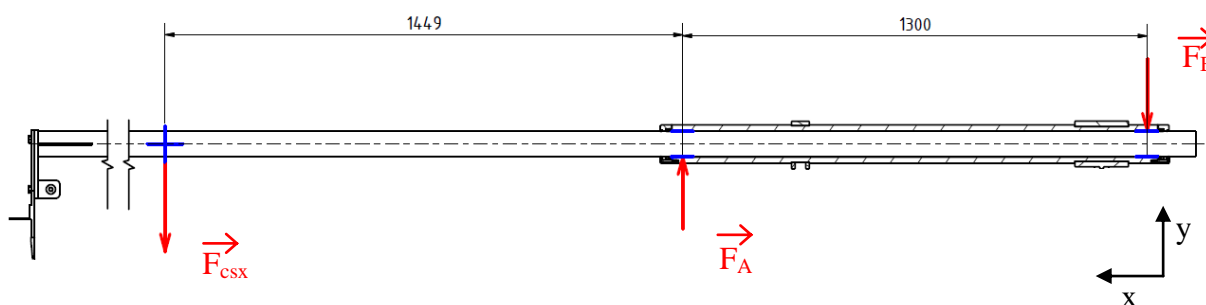
Rozložení do směru x:

$F_{csx}$  [N] - složka tíhové síly sestavy ve směru x

$$F_{csx} = \sin\beta \cdot G_{cs} \quad (8)$$

$$F_{csx} = \sin 60 \cdot 1703$$

$$F_{csx} = 1474,8 \text{ N}$$



Obrázek 16 Silové poměry kontakt shrablo-vedení

Reakce v kontaktu shrablo – ložisko:

$F_A$  [N] - silová reakce v dolním ložisku vedení

$F_B$  [N] - silová reakce v horním ložisku vedení

$a$  [mm] - vzdálenost těžiště sestavy shrabla ke středu dolního ložiska

$b$  [mm] - rozteč silových působišť na ložiscích vedení

y:

$$-F_{csx} + F_A - F_B = 0 \quad (9)$$

$$F_B = F_A - F_{csx}$$

$$F_B = 3176,5 - 1474,8 = 1701,7 \text{ N}$$

 $M_{B0}$ :

$$F_{CSx} \cdot (a + b) - F_A \cdot b = 0 \quad (10)$$

$$F_A = \frac{F_{CSx} \cdot (a + b)}{b}$$

$$F_A = \frac{1474,8 \cdot (1,5 + 1,3)}{1,3} = 3176,5 \text{ N}$$

Celková třecí síla působící v ložiscích:

$\mu$ [-]	-součinitel tření – kontakt lineární ložisko/ocel
$F_{tA}$ [N]	-třecí síla v dolním ložisku
$F_{tB}$ [N]	-třecí síla v horním ložisku
$F_{tloz}$ [N]	-celková třecí síla v ložiscích
$F_{minx}$ [N]	-minimální ovládací síla ve směru x

$$F_{tA} = F_A \cdot \mu = 3176,5 \cdot 0,15 = 476,475 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_{tB} = F_B \cdot \mu = 1701,7 \cdot 0,15 = 255,255 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_{tloz} = F_{tA} + F_{tB} = 476,475 + 255,255 \cong 732,005 \text{ N} \quad (13)$$

Minimální ovládací síla ve směru x:

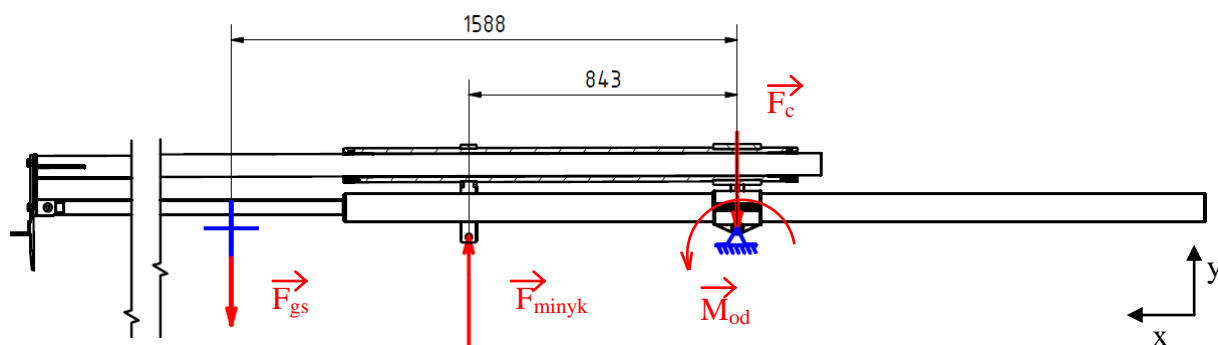
$$F_{minx} = F_{CSx} + F_{tloz} + F_{zv} \quad (14)$$

$$F_{minx} = 1474,8 + 732,005 + 1169$$

$$F_{minx} = 2717 \text{ N}$$



## 4.2.2 VÝPOČET SÍLY NUTNÉ K OVLÁDÁNÍ VE SMĚRU Y



Obrázek 17 Silové poměry pro kontakt vedení-stojan

Hmotnost celé sestavy:

- $m_{vs}$  [kg] - hmotnost sestavy ovládané hydropohonem ve směru y
- $F_{gs}$  [N] - tíhová síla sestavy ovládané hydropohonem ve směru y

$$m_{vs} = 299,8 \text{ kg}$$

$$F_{gs} = m_{vs} \cdot g = 299,8 \cdot 9,81 = 2941 \text{ N} \quad (15)$$

Reakce v podporách mimo čepové tření:

- $F_{minyk}$  [N] - ovládací síla ve směru y bez čepového tření
- $c$  [m] - vzdálenost těžiště sestavy od rotační podpory
- $d_o$  [m] - vzdálenost upevnění pohonu od rotační podpory
- $F_c$  [N] - silová reakce v rotační podpoře

$$F_{minyk} = \frac{F_{gs} \cdot c}{d_o} \quad (16)$$

$$F_{minyk} = \frac{2941 \cdot 1,59}{0,84}$$

$$F_{minyk} = 5567 \text{ N}$$

$y_k$ :

$$-F_{gs} + F_{minyk} - F_c = 0 \quad (17)$$

$$F_c = F_{minyk} - F_{gs}$$

$$F_c = 5567 - 2941$$

$$F_c = 2626 \text{ N}$$

Moment vzniklý od čepového tření:

- $M_{od}$  [Nm] - moment vzniklý od čepového tření
- $F_t$  [N] - třecí síla v čepu
- $r_{\check{c}}$  [mm] - poloměr čepu
- $\mu_{\check{c}}$  [-] - součinitel tření v čepu

$$M_{od} = F_t \cdot r_{\check{c}} \quad (18)$$



Třecí síla:

$$\begin{aligned}F_t &= F_C \cdot \mu_{\zeta} \\F_t &= 2626 \cdot 0,15 \\F_t &= 393,9 \text{ N}\end{aligned}\tag{19}$$

$$\begin{aligned}M_{od} &= 393,9 \cdot 0,02 \\M_{od} &= 7,878 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Celková minimální síla nutná k ovládní ve směru y:

$F_{miny}$  [N] - minimální ovládací síla pro hydropohon ve směru y

$$\begin{aligned}M_0: \\F_{gs} \cdot c + M_{od} - F_{miny} \cdot d_o &= 0 \\F_{miny} &= \frac{F_{gs} \cdot c + M_{od}}{d_o} \\F_{miny} &= \frac{2941 \cdot 1,59 + 7,878}{0,84} \\F_{miny} &\cong 5577 \text{ N}\end{aligned}\tag{20}$$

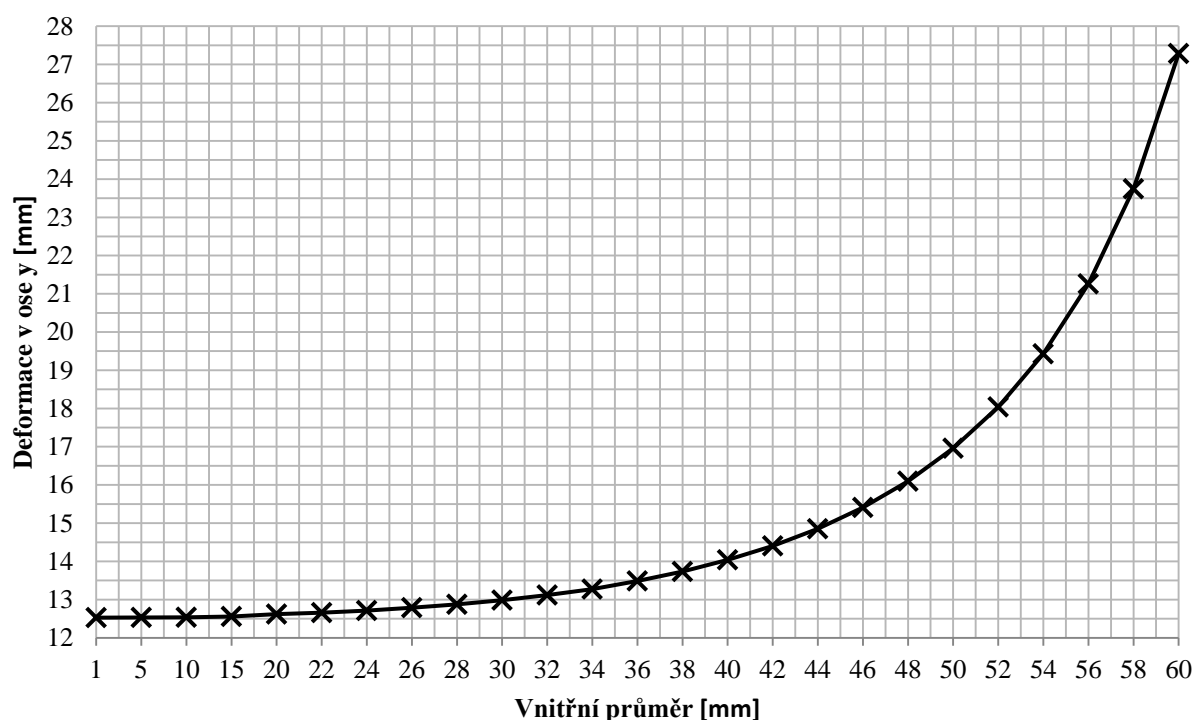


### 4.3 NÁVRH PRŮMĚRŮ TRUBKY VODÍCÍ TYČE

Návrh byl proveden pomocí programu ANSYS Workbench 14.5. Vnější průměr byl stanoven na hodnotě 70mm. Analýza byla provedena v poloze, kde lze předpokládat největší zatížení. V této poloze je shrablo je spuštěné dole a odkloněné od česlové mříže

Optimální vnitřní průměr byl stanoven na základě deformační analýzy průhybu na konci trubky tj. deformace ve směru osy y. V koncové oblasti prutu byla konečněprvková síť zjemněna.

Vnitřní průměr byl zvolen jako parametr v rozmezí 1 mm až 60 mm. Od 1 mm do 20 mm s krokem po 5 mm a od hodnoty 20 mm s krokem 2 mm. Na základě vzniklého grafu byl zvolen průměr s přípustnou deformací. Z katalogu firmy Nerezové materiály, s.r.o. byl vybrán polotovar pro výrobu vedení o vnějším průměru 71 mm a vnitřním průměru 40 mm, vyrobený z korozivzdorné oceli 1.4301. [17]

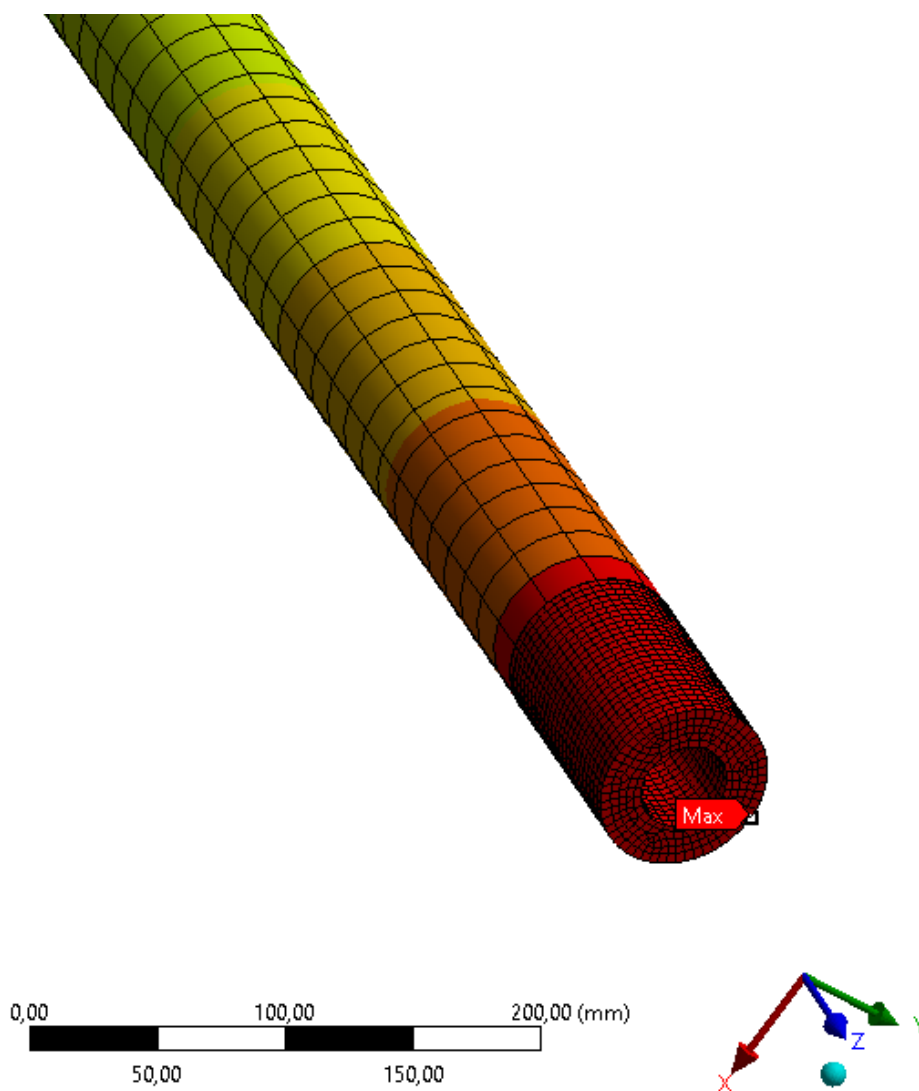
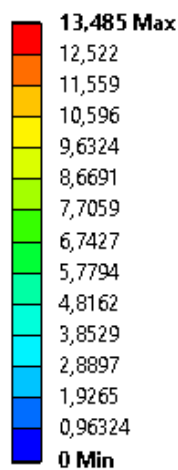


Graf 1 Závislost deformace ve směru osy y na vnitřním průměru

Trubka byla zvolena s přídatkem 1 mm a vnější průměr bude obroben na 70mm. Na délce vyložení ramene 2,5 m je deformace ve směru osy y pro vnitřní průměr 40 mm přibližně 14 mm.

**B: Static Structural**

Figure  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
29. 4. 2013 20:51



Obrázek 18 Deformační analýza ve směru osy y

Pro ilustraci je přiložen obrázek deformační analýzy pro trubku s vnitřním průměrem 36 mm. Maximální hodnota průhybu na konci trubky je přibližně 13,5 mm.



#### 4.4 VOLBA A KONTROLNÍ VÝPOČET ŠROUBOVÉHO SPOJE

Spojovací materiál byl vybrán z nabídky firmy STARÁ plus, v.o.s. [21]

Volen materiál A4 1.4436 odpovídající ČSN 17 348. Jedná se o chrom-nikl-molibdenovou korozivzdornou austenitickou ocel používanou v chemickém, potravinářském, farmaceutickém, papírenském, textilním a jiném průmyslu. [12]

Pro spojení byl zvolen šroub a matice M12 z důvodu malé citlivosti k mechanickému poškození během manipulace a montáže.

Vlastnosti šroubu:

- $d_1$  [mm] – vnější průměr šroubu
- $E_s$  [MPa] – Youngův modul pružnosti šroubu
- $A_s$  [mm<sup>2</sup>] – výpočtový průřez šroubu
- $S_1$  [mm<sup>2</sup>] – průřez šroubu

$$d_1 = 12 \text{ mm}$$

$$E_s = 193000 \text{ MPa}$$

$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = 113,097 \text{ mm}^2$$

Rozměry šroubu:

- $l_s$  [mm] – počáteční délka šroubu
- $b_z$  [mm] – délka závitu
- $l_o$  [mm] – skutečná délka šroubu
- $l_g$  [mm] – délka dřívku bez závitu
- $l_b$  [mm] – délka části dřívku se závitem nacházející se v sevření
- $m_m$  [mm] – maximální výška matice
- $p$  [mm] – rozteč závitu

Pro závit M12:  $m_m = 12 \text{ mm}$   
 $p = 1,75 \text{ mm}$

$$l_s = 10 + 10 = 20 \text{ mm} \quad (21)$$

$$b_z = 2 \cdot d_1 + 6 = 2 \cdot 12 + 6 = 46 \text{ mm} \quad (22)$$

$$l_o = l_s + m_m + 2 \cdot p = 20 + 12 + 2 \cdot 1,75 = 35,5 \text{ mm} \quad \text{volím} \quad \Rightarrow l_o = 40 \text{ mm} \quad (23)$$

$$l_g = l_o - b_z = 40 - 46 = -6 \text{ mm} \quad \text{volím šroub se závitem k hlavě} \quad \Rightarrow l_g = 0 \text{ mm} \quad (24)$$

$$l_b = l_s - l_g = 20 - 0 = 20 \text{ mm} \quad (25)$$



Stanovení tuhosti šroubu [13]:

$k_s$  [kN/mm] – tuhost šroubu

$$k_s = \frac{S_1 \cdot A_s \cdot E_s}{S_1 \cdot l_b + A_s \cdot l_g} \quad (26)$$

$$k_s = \frac{113,097 \cdot 84,3 \cdot 193000}{113,097 \cdot 20 + 84,3 \cdot 0}$$

$$k_s = 813,5 \frac{kN}{mm}$$

Vlastnosti desek:

Pro obě desky zvolen materiál totožný s materiálem šroubů - ČSN 17 348.

$E_d$  [MPa] – Youngův modul pružnosti desky  
 $h$  [mm] – tloušťka spojovaných součástí (stejná u shrabla i desky)  
 $D_p$  [mm] – průměr dolní podstavy komolého kuželu

$$E_d = 193000 \text{ MPa}$$

$$h = 10 \text{ mm}$$

$$D_p = 1,5 \cdot d_1 = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ mm} \quad (27)$$

Tuhost desky [13]:

$k_{p1}$  [kN/mm] – tuhost desky

$$k_{p1} = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot E_d \cdot d}{\ln \left( \frac{(1,155 \cdot h + D - d_1) \cdot (D + d_1)}{(1,155 \cdot h + D + d_1) \cdot (D - d_1)} \right)} = \quad (28)$$

$$k_{p1} = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot E_d \cdot d}{\ln \left( \frac{(1,155 \cdot 10 + 18 - 12) \cdot (18 + 12)}{(1,155 \cdot 10 + 18 + 12) \cdot (18 - 12)} \right)} = 5620 \frac{kN}{mm}$$

Tuhost shrabla:

$k_{p2}$  [kN/mm] – tuhost shrabla

$$k_{p1} = k_{p2} = 5620 \frac{kN}{mm}$$

Celková tuhost spojovaných součástí [13]:

$k_p$  [kN/mm] – celková tuhost shrabla a desky

$$k_p = \left( \frac{1}{k_{p1}} + \frac{1}{k_{p2}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{5620} + \frac{1}{5620} \right)^{-1} = 2810 \frac{kN}{mm} \quad (29)$$



Mechanické vlastnosti šroubu – ocel A4 zvolena standartní pevnostní třída 70. [14]

$R_{ms}$ [MPa]	– mez pevnosti
$R_{es}$ [MPa]	– mez kluzu
$S_p$ [MPa]	– zkušební napětí

$$R_{ms} = 700 \text{ MPa}$$

$$R_{es} = 450 \text{ MPa}$$

$$S_p = 350 \text{ MPa} \quad (\text{pro zkušební napětí vzhledem k mezi kluzu})$$

Síla předpětí [13]:

$$F_i [\text{N}] \quad - \text{ síla předpětí}$$

$$F_i = 0,75 \cdot S_p \cdot A_s = 0,75 \cdot 350 \cdot 84,3 = 22130 \text{ N} \quad (30)$$

Provozní síla vztažená na jeden šroub:

$F_{prov}$ [N]	- provozní síla působící na jeden šroub
$F_{vyt}$ [N]	- součet síly nutné k vytažení šrabků, y složky tíhové síly desky a třecí síly mezi deskou a česlovou mříží
$i$ [-]	- počet šroubů

$$F_{vyt} = 1632 \text{ N}$$

$$i = 6$$

$$F_{prov} = \frac{F_{vyt}}{i} = \frac{1632}{6} = 272 \text{ N} \quad (31)$$

Tuhostní konstanta spoje [13]:

$$c_{tuh} [-] \quad - \text{ tuhostní konstanta celého spoje}$$

$$c_{tuh} = \frac{k_s}{k_s \cdot k_p} = \frac{813,5}{813,5 \cdot 2810} = 0,225 \quad (32)$$

Síla ve šroubovém spoji [13]:

$$F_{sp} [\text{N}] \quad - \text{ síla působící ve šroubovém spoji}$$

$$F_{sp} = F_i + c_{tuh} \cdot F_{prov} = 22130 + 0,225 \cdot 272 = 22190 \text{ N} \quad (33)$$

Silové zatížení spojovaných součástí v provozním stavu [13]:

$$F_p [\text{N}] \quad - \text{ síla zatěžující součásti v provozním stavu}$$

$$F_p = F_i - (1 - c_{tuh}) \cdot F_{prov} = 22130 - (1 - 0,225) \cdot 272 = 21920 \text{ N} \quad (34)$$



Bezpečnosti [13]:

$k_{sp}$ [-]	– bezpečnost vůči zkušebnímu napětí
$k_{msp}$ [-]	– bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti
$k_o$ [-]	– bezpečnost vůči zániku sevření

$$k_{sp} = \frac{S_p \cdot A_S - F_i}{c_{tuh} \cdot F_{prov}} = \frac{350 \cdot 84,3 - 22130}{0,225 \cdot 272} \cong 121 \quad (35)$$

$$k_{msp} = \frac{R_{es} \cdot A_S - F_i}{c_{tuh} \cdot F_{prov}} = \frac{450 \cdot 84,3 - 22130}{0,225 \cdot 272} \cong 259 \quad (36)$$

$$k_o = \frac{F_i}{F_{prov} \cdot (1 - c_{tuh})} = \frac{22130}{272 \cdot (1 - 0,225)} \cong 105 \quad (37)$$

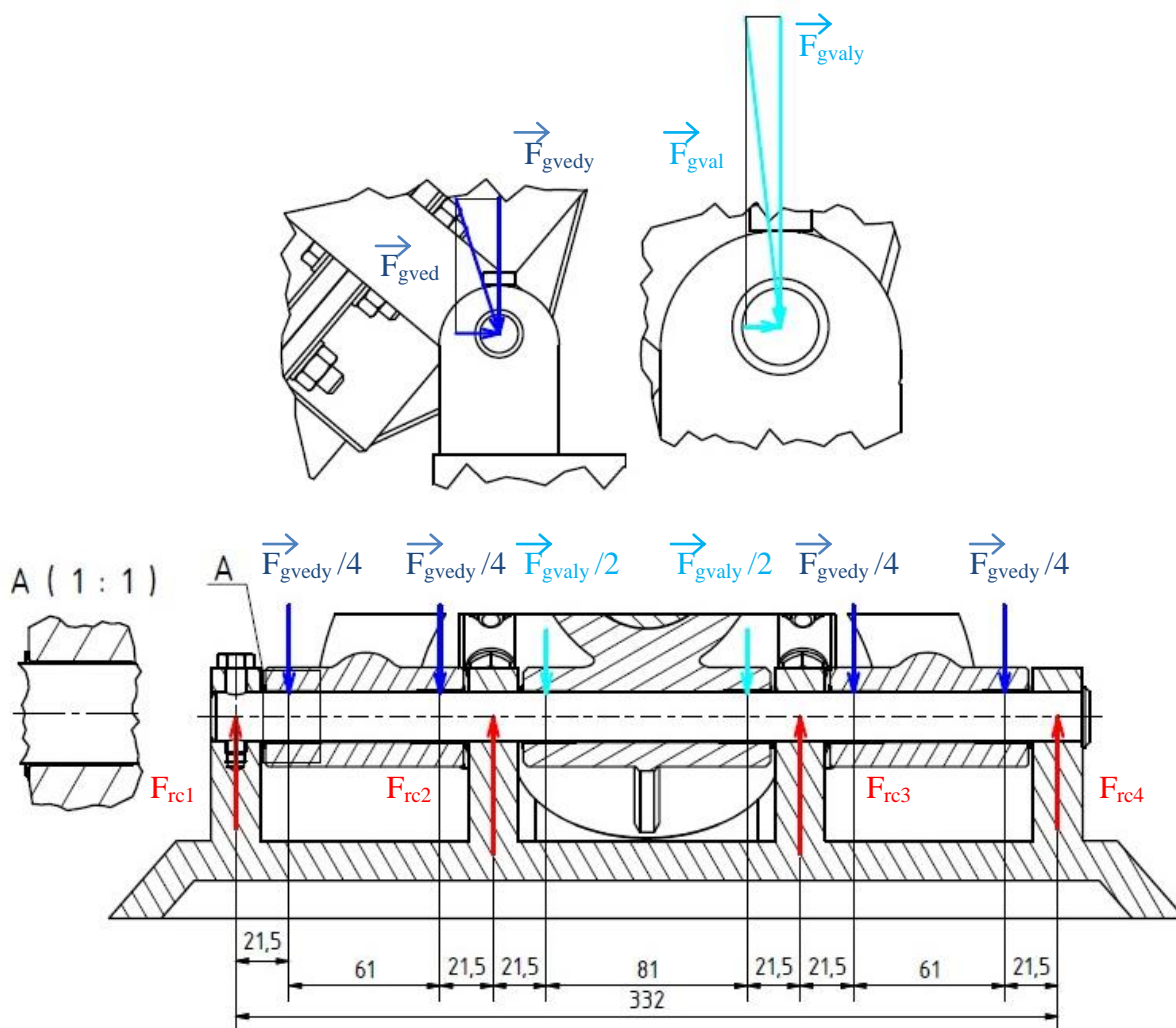
Návrh šroubového spoje je značně předimenzovaný, ale z výše uvedených důvodů byl použit šrouby a matice M12.



#### 4.5 VOLBA A KONTROLNÍ VÝPOČET NOSNÉHO ČEPU

Průměr nosného čepu byl volen vzhledem k velikosti celé konstrukce na hodnotu 20 mm. Větší rozměr také zajišťuje určitou necitlivost vůči poškození při manipulaci a při montáži.

Sestava horního vedení je uložena na čtyřech kluzných ložiscích. Síla vzniklá od hmotnosti sestavy je proto rozložena na čtyři kluzná ložiska. Hydraulický válec ZH2T-75/45×2500 je uložena na dvou kluzných ložiscích a jeho tíhová síla je opět rozložena na tyto dvě ložiska. Působíště tíhových sil byly umístěny do středu kluzných ložisek (detail A).



Obrázek 19 Silové účinky působící na nosný čep zobrazeny v řezu sestavy

Tíhové síly byly rozloženy do směru x a y (řešeno graficky), složka ve směru x byla zanedbána. K složkám ve směru y tj.  $F_{gvedy}$  a  $F_{gvaly}$  byly zjištěny reakce v podporách.

Pro výpočet silových reakcí byla použita volně dostupná aplikace Autodesk® ForceEffect™.

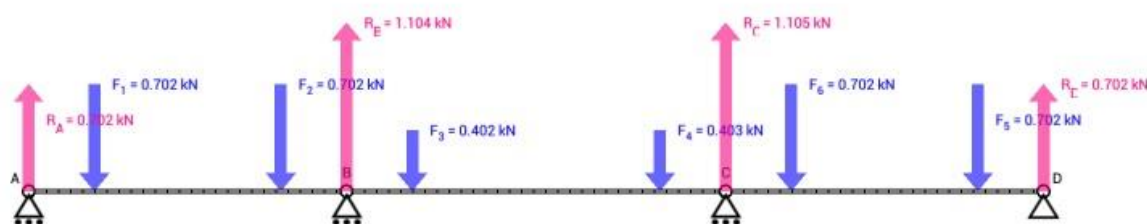
Vstupní hodnoty:

$$F_{gvedy} = 2808 \text{ N}$$

$$F_{gvaly} = 804 \text{ N}$$

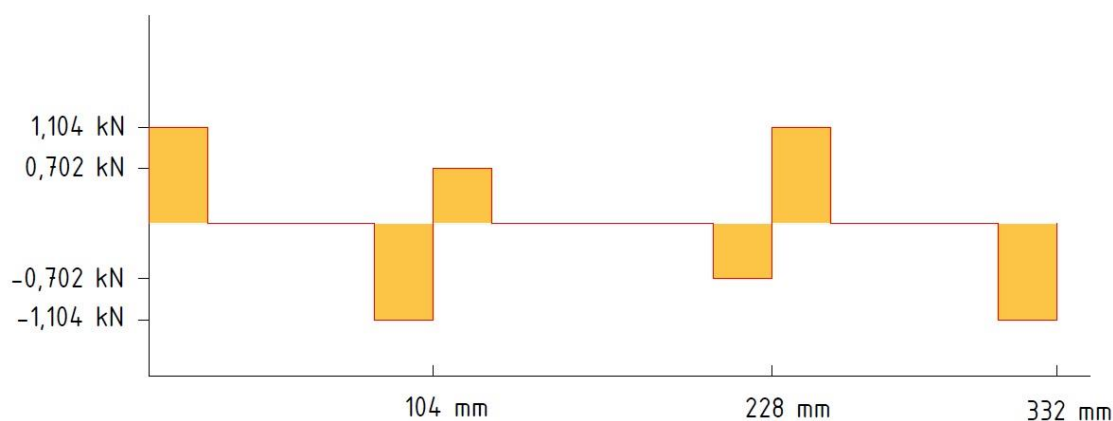


## AUTODESK® FORCEEFFECT™



Obrázek 20 Reakce zjištěné pomocí aplikace Autodesk Forceeffect

Značení na obrázku 20 neodpovídá značení, které je používáno v celém dokumentu. Aplikace si vytváří své vlastní, pro orientaci ve správném značení použijte obrázek 19.



Obrázek 21 Průběh VVU ve smeru y

Největší posuvové síly v ose y jsou reakce  $F_{rc2}$  a  $F_{rc3}$  s hodnotou 1104 N. Vůči těmto silám bude provedena kontrola a stanovena bezpečnost.

Stanovení smykového napětí:

$\tau$ [MPa]	- smykové napětí
$F_{rc2}$ [N]	- silová reakce na nosném čepu
$S_1$ [mm <sup>2</sup> ]	- plocha průřezu nosného čepu
$d_c$ [mm]	- průměr nosného čepu
$R_{p0,2}$ [MPa]	- smluvní mez kluzu
$k_m$ [-]	- koeficient bezpečnosti smykového napětí vůči mezi kluzu

$$\tau = \frac{F_{rc2}}{S_1} = \frac{F_{rc2}}{\frac{\pi \cdot d_c^2}{4}} \quad (38)$$

$$\tau = \frac{1104}{\frac{\pi \cdot 0,02^2}{4}} = 3514141,14 \text{ Pa} \cong 3,5 \text{ MPa}$$



Stanovení bezpečnosti vůči mezi kluzu:

Hodnota meze kluzu:  $R_{p0,2} = 240 \text{ MPa}$  [15]

$$k_m = \frac{0,6 \cdot R_{p0,2}}{\tau} \quad (39)$$

$$k_m = \frac{0,6 \cdot 240}{3,5} \cong 41$$

Ze zjištěné hodnoty bezpečnosti lze usoudit, že průměr čepu je předimenzovaný. Hodnota průměru čepu byla z výše uvedených důvodů ponechána.

#### 4.6 VOLBA A KONTROLNÍ VÝPOČET KLUZNÝCH LOŽISEK

Pro otáčivé uložení byla zvolena kluzná samomazná ložiska GFM 2021-20 od firmy Igus [16]. Ložiska je nutné kontrolovat vůči otláčení, dovolené hodnoty poskytuje výrobce ve svém katalogu.

$F_{gved}$ [N]	- tíhová síla od sestavy vedení
$p_{loz}$ [MPa]	- tlak působící na plochu ložiska
$S_{loz}$ [mm <sup>2</sup> ]	- plocha průmětu ložiska na normálovou rovinu
$p_{ldov}$ [MPa]	- dovolený tlak stanovený výrobcem
$k_p$ [-]	- koeficient bezpečnosti otláčení ložiska

Stanovení tlaku působící na ložisko:

$$F_{gved} = 2948 \text{ N}$$

$$p_{loz} = \frac{F_{gved}}{S_{loz}} \quad (40)$$

$$p_{loz} = \frac{2948}{382,2} \cong 7,7 \text{ MPa}$$

Stanovení bezpečnosti vůči dovolenému tlaku:

Dovolená hodnota tlaku stanovená výrobcem:  $p_{ldov} = 80 \text{ MPa}$  [16]

$$k_p = \frac{p_{ldov}}{p_{loz}} \quad (41)$$

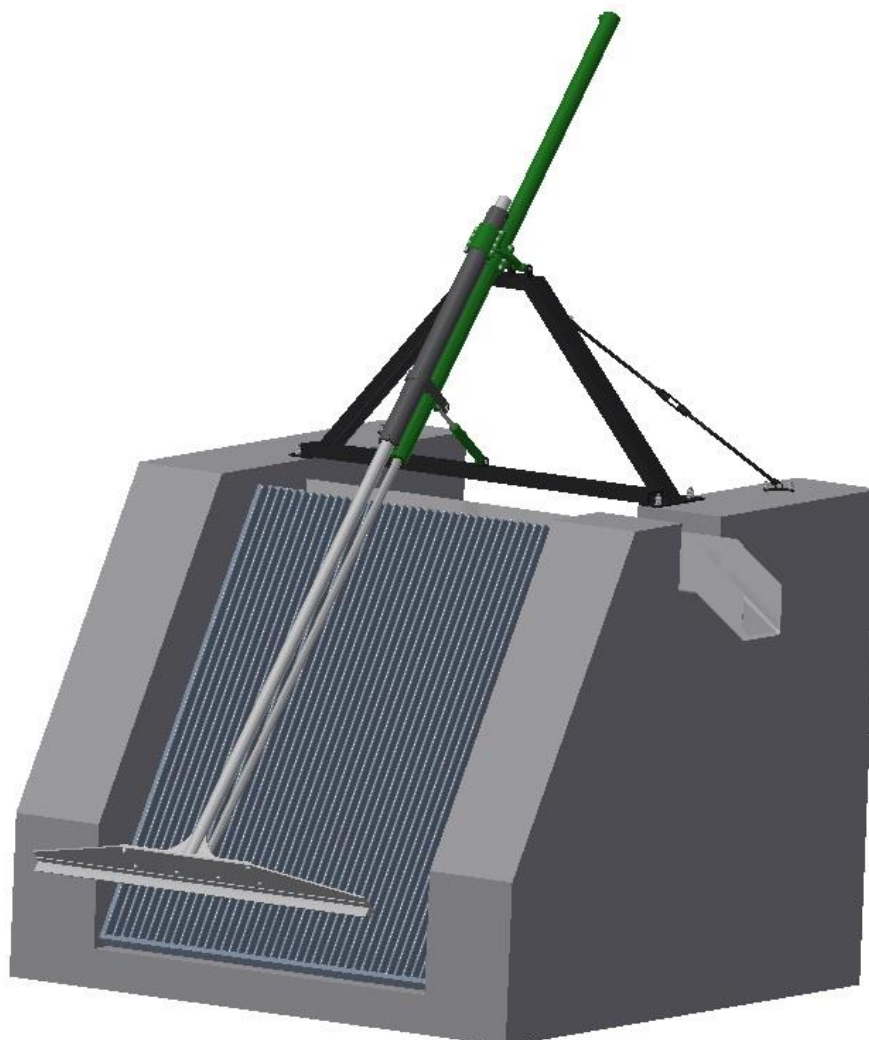
$$k_p = \frac{80}{7,7} \cong 10,5$$

Hodnota bezpečnosti vůči otláčení ložiska je dostatečná.



## 5 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Finální konstrukční řešení vychází z části z navrhnutých konceptů a z části z již realizovaných konstrukcí strojně stíraných česlí. Záměrem autora bylo vytvořit nový koncept a vymyslet nový vlastní způsob řešení a nedržet se pouze osvědčených konstrukcí.



*Obrázek 22 Celkový pohled na sestavu*

### 5.1 PRINCIP FUNKCE MECHANISMU

Pro vysvětlení funkce můžeme mechanismus rozdělit do dvou částí: na vedení se shrablem a vodící tyčí a na lineární hydropon. Obě tyto části jsou uloženy na nosném čepu, každá ve svém uložení, mohou se tedy vůči sobě nezávisle otáčet.

K vedení je připojen menší hydropon, který přiklápí shrablo s vodící tyčí k česlové mříž. Ke shrablu je v dolní části připojena pístní tyč velkého hydroponu. Veškeré namáhání a část váhy hydroponu tedy přenese vodící tyč a vedení. Velký hydropon se volně natáčí podle polohy shrabla a stará se pouze o spuštění nebo vyzvednutí shrabla v ose x.

Hlavní smyslem celého mechanismu je odlehčit velkému hydroponu od radiálního zatížení a většinu namáhání převést na vodící tyč a vedení.



## 5.2 KONSTRUKCE SHRABLA

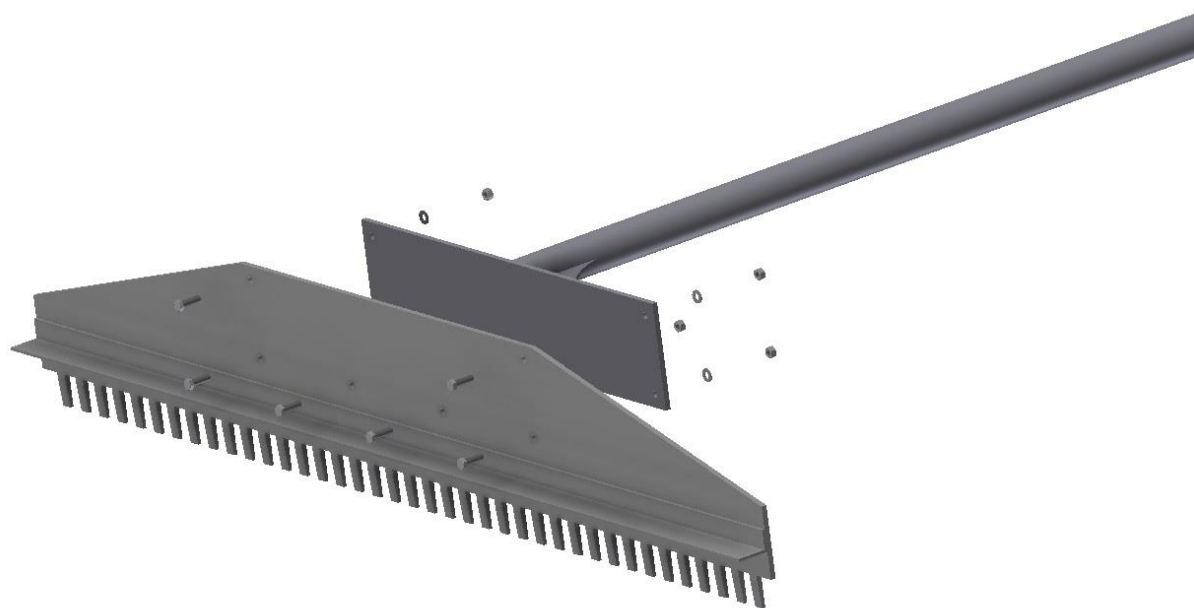
Shrablo se skládá ze dvou částí spojených k sobě šrouby a maticemi se závitem M12 z korozivzdorné oceli A4 1.4436. [12]

Spodní část-samotné shrablo je navrženo jako svarek hřebene a L profilu. Hřeben lze vyrobit pomocí technologie vypalování laserem z plechu. L profil má za úkol zvýšit pevnost shrabla v ohybu a zmenšit deformaci v případě zachycení, nebo přetížení některé strany hřebene.

Horní část shrabla je opět svařena z více dílů. Z trubky, desky a žebra. Trubka je uložena ve vedení a pomocí ní se ovládá pohyb v ose y. Je vyrobena z polotovaru dodávaného firmou Nerezové materiály, s.r.o z oceli třídy 1.4301. [17]

K dolní části desky je také přivařeno oko, slouží k provlečení čepu ke spojení s lineárním hydropohonem. Tento pohon slouží k vykonání pohybu ve směru x tedy pracovního pohybu.

Veškeré části shrabla se dostanou do kontaktu s vodou, jsou proto vyrobeny z korozivzdorné oceli.



*Obrázek 23 Rozstřel sestavy shrabla a vodící tyče*



### 5.3 KONSTRUKCE VEDENÍ

Vedení pro tyč shrabla je konstruováno jako svarek. Skládá se ze samotné trubky vedení a ohnuté tyče obdelníkového profilu doplněné o žebro. V trubce jsou z každé strany zasazeny kluzná samomazná ložiska od firmy IguS označená jako GSM-7075-60. [16] Ložiska jsou zajištěnana na své pozici víky, které jsou přišroubovány šrouby M6 s vnitřním šestihranem. Víka jsou opatřena pohybovým těsněním OMEGAT 70 a standartním stíracím kroužkem S1 70 od firmy Hydraulics. [18]

Přivařená ohnutá tyč slouží k připojení lineárního hydropohonu, který zajišťuje pohyb shrabla ve směru y, tedy příklon a odklon shrabla k česlové mříži.



*Obrázek 24 Rozstřel sestavy vedení*



## 5.4 KONSTRUKCE STOJANU

Stojan můžeme rozdělit do dvou částí. Na samotný stojan pevně ukotvený do podložky a na součásti určené k uložení vedení a lineárního hydropohonu. Spojení mezi nimi zprostředkovává ocelový čep a samomazná kluzná ložiska.

### 5.4.1 KONSTRUKCE PEVNÉHO STOJANU

Stojan je navržen jako svařenec z profilu U200/A ČSN 42 5570 – 11 523 – 42 0135.00. [19] Je pevně ukotven šrouby do základny. Jeho součástí jsou tyče s napínacími maticemi. [20] Slouží k zachycení složky síly vzniklé posunutím těžiště sestavy před osu otáčení na stojanu. Na horní části stojanu jsou oka určené k provlečení čepu, ke spojení s uložením pohonu a uložením vedením. Tento čep je zajištěn proti posunutí šroubem. Na příčně položeném nosníku je přivařeno oko pro připojení lineárního hydraulického pohonu pro ovládání příklonu shrabla.

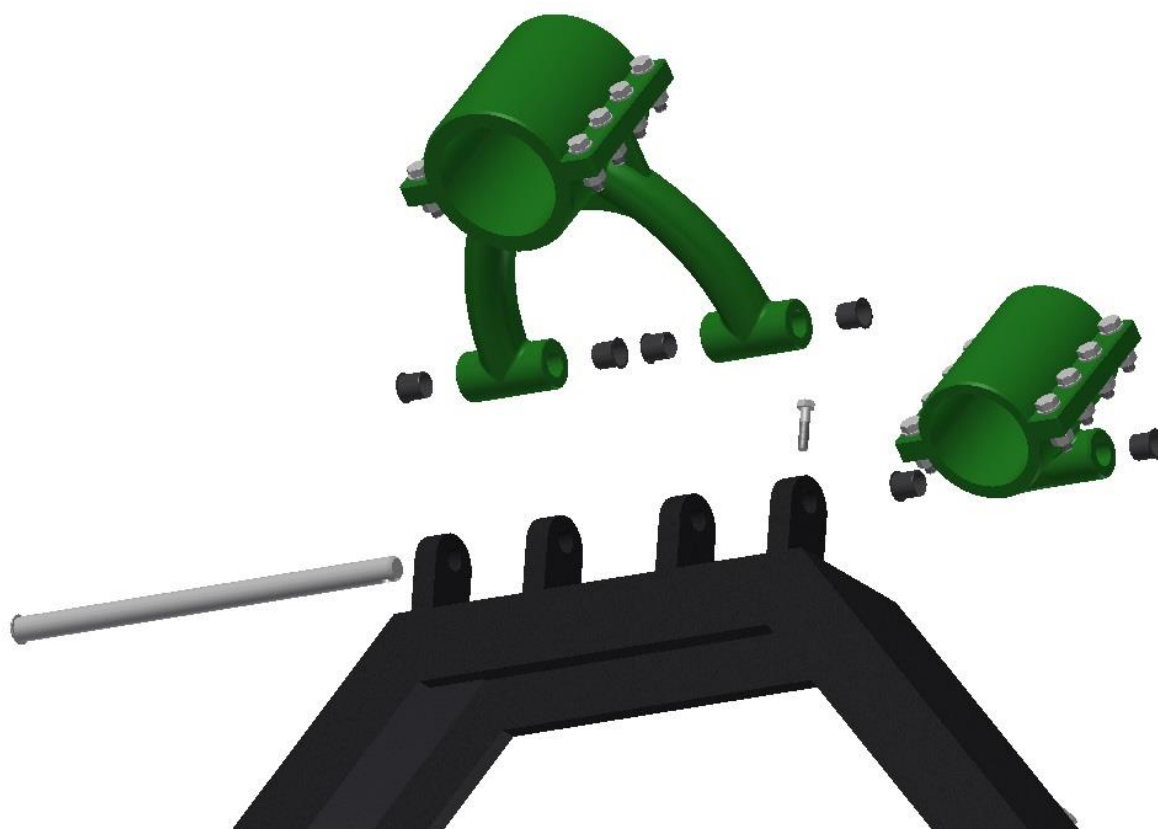


*Obrázek 25 Pohled na konstrukci stojanu*



#### 5.4.2 KONSTRUKCE OTÁČIVÉHO ULOŽENÍ

Skládá se z uložení vedení a z uložení pro lineární hydraulický pohon. Obě objímky jsou opatřeny kluznými samomaznými ložisky GFM 2021-20 [16] a skrz ně je provlečen nosný čep. Obě objímky jsou vyrobeny jako svarky. Jako polotovary byly použity trubky a plechová žebra pro větší pevnost. Vedení a lineární hydropohon jsou uchyceny v těchto dělených objímkách, jejich části jsou k sobě spojeny šrouby M10×40-8.8 a maticemi M10-9. [21]



Obrázek 26 Detail na rozstřel spojení mezi uložením a stojanem



## 5.5 VOLBA HYDROPOHONŮ

Lineární hydrophony byli vybírány od firmy Hydraulics. Pro hlavní pracovní pohyb ve směru x byl zvolen hydrophon, který bude nutné z důvodu dlouhého zdvihu vyrobit na zakázku. Pro vedlejší pohyb ve směru y byl vybrán běžný katalogový hydrophon.

### 5.5.1 VOLBA LINEARNÍ HYDROPHONU VE SMĚRU X

Pro hlavní pracovní pohyb stírání shrabků z česlové mříže, byl zvolen hydrophon z katalogu firmy Hydraulics ze série ZH2T, který je nutné upravit zvětšením zdvihu. Jedná se o dvojčinný přímočarý hydrophon s tlumením v koncových polohách. Maximální přípustný tlak je 25 MPa a maximální rychlost pracovního pohybu je 0,5 m/s. [22]

Hydrophon je nestandardní svým dlouhým zdvihem, pro kompletní návrh by bylo vhodné, zkontrolovat vzpěrnou pevnost. Jeho použití ale zatížení vzpěrem vylučuje. Přesto byla pro představu kontrola provedena pomocí diagramu vzpěrné pevnosti z katalogu přímočarých hydromotorů. Pro redukovanou délku 3705 mm a průměr pístní tyče 45 mm je dovolená hodnota zatížení silou přibližně 14,8 kN. (minimální ovládací síla ve směru x je 2717N).

Hlavní rozměry charakterizující hydrophon (značení převzato z katalogu:)

Vnitřní průměr válce	$D = 75 \text{ mm}$
Vnější průměr válce	$D_1 = 90 \text{ mm}$
Průměr pístní tyče	$d = 45 \text{ mm}$
Zdvih	$z = 2500 \text{ mm}$

#### Objednací kód:

**ZH2T-75/45×2500-0-4-0**

Na válci hydrophonu není připojeno žádné oko k upevnění, jeho horní část je pouze zaslepena. Celý hydrophon je uložen v přírubě, která se může volně otáčet okolo hlavního čepu. Jako ukončení pístní tyče bylo zvoleno provedení č.4. tedy pouze jednoduché vytvoření bočních ploch a otvoru pro čep.

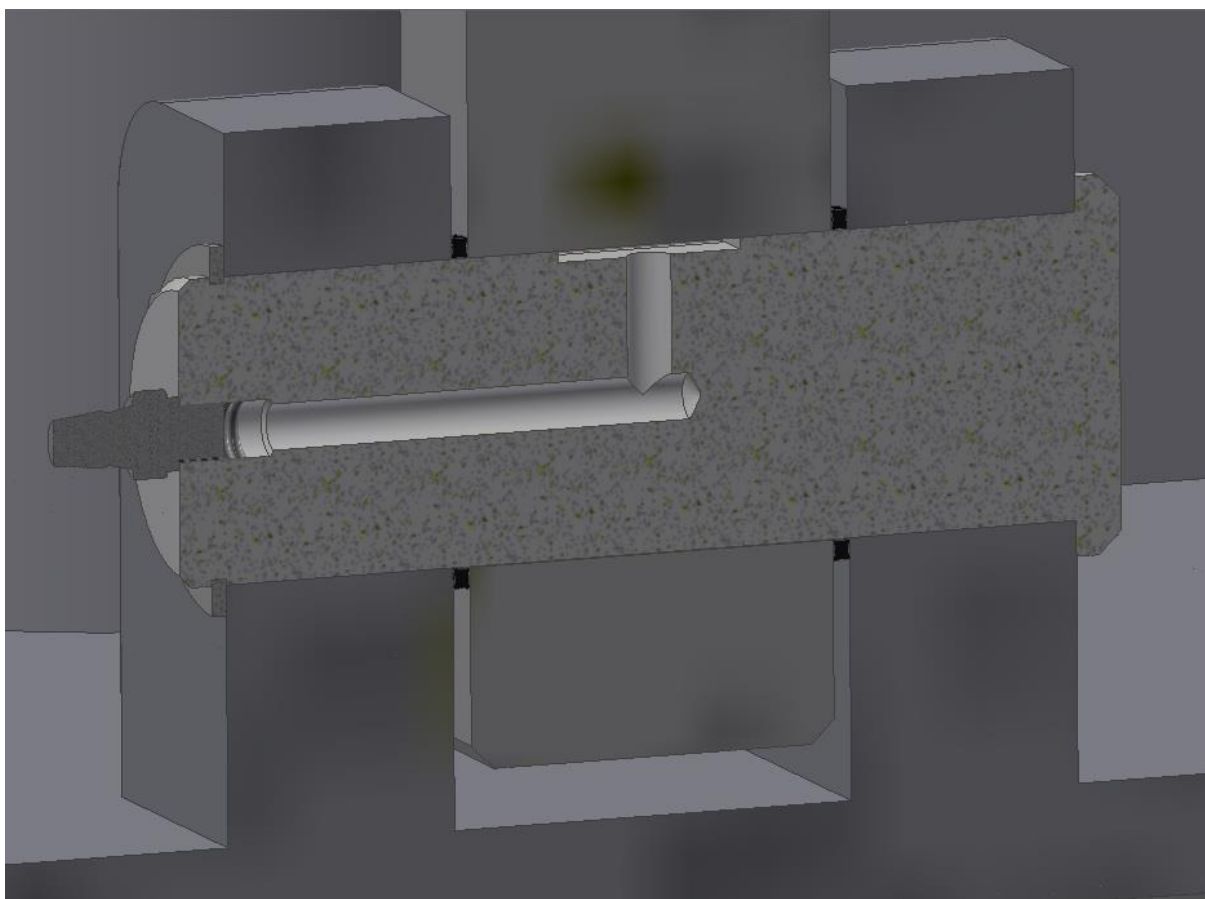


Obrázek 27 Hydrophon ZH2T-75/45×2500 s uložením



### 5.5.2 SPOJENÍ SE SHRABLEM

Spojení mezi lineárním hydroponem a sestavou shrabla je realizováno pomocí čepu a pojistného kroužku. Protože, se toto spojení bude při pracovním pohybu nacházet pod vodou, je čep i kroužek vyroben z nerezové oceli. Čep je také vybaven přímou mazací hlavicí DIN 71 412-A-M16×1 [24] a kanálkem a drážkou pro rozvod maziva podle ČSN 01 5906.[19] Mezera mezi pístnicí a shrablem je utěsněna pomocí pryžových těsnících X-kroužků. [23]



*Obrázek 28 Detail spojení shrabla s lineárním hydroponem*



### 5.5.3 VOLBA LINEARNÍHO HYDROPOHONU VE SMĚRU Y

Pro vedlejší pohyb příklon a odklon shrabla, byl zvolen standartní hydropohon z katalogu firmy Hydraulics ze série ZH2T. Jedná se o dvojčinný přímočarý hydropohon s tlumením v koncových polohách s maximálním doporučeným zdvihem 200mm. Maximální přípustný tlak je 25 MPa a maximální rychlost pracovního pohybu je 0,5 m/s. [22]

Hydropohon bude zatížen vzpěrem. Je tedy nutné provést kontrolu vzpěrné pevnosti. Kontrola byla provedena pomocí diagramu vzpěrné pevnosti z katalogu přímočarých hydromotorů prodejce. Pro redukovanou délku 535 mm a průměr pístní tyče 22 mm je dovolená hodnota zatížení silou přibližně 40 kN (minimální ovládací síla ve směru y je 5577N).

Hlavní rozměry charakterizující hydropohon (značení převzato z katalogu:)

Vnitřní průměr válce	D = 40 mm
Vnější průměr válce	D <sub>1</sub> = 50 mm
Průměr pístní tyče	d = 22 mm
Zdvih	z = 200 mm

#### Objednací kód:

**ZH2T-40/22×200-R**

Hydropohon je osazen standartním ukončením pístní tyče a standartním uchycovacím okem. Polohou vstupů tlaků je rovnoběžně vůči navařenému oku, toto provedení je označeno jako R.



Obrázek 29 Umístění hydropohonu ZH2T-40/22×200 v sestavě



## ZÁVĚR

Na začátku práce byla vytvořena rešeršní studie, nutná k získání orientace v problematice mechanického čištění vody. Česle byly rozděleny podle způsobu předepsaného normou, podle druhu pohonu a nakonec je věnován prostor česlům se speciální konstrukcí.

Bylo vytvořeno několik konceptů řešení a z nich byl vybrán způsob nejvhodnější k realizaci. Vybraný koncept je řízený dvěma lineárními hydropohony. Jeden pohon zajišťuje pracovní pohyb shrabla, který stírá shrabky zachycené na česlové mříži. Druhý pohon ovládá příklon a odklon shrabla od mříže. V mechanismu je použito také vedení, které má za účel odlehčit hydropohonu od nežádoucího radiálního zatížení.

Pomocí výpočtů byly řešeny především silové účinky na sestavu vedení, shrabla a některých jeho částí. Dále také síly, které musí hydropohony vytvořit, k ovládní celého mechanismu. Výpočty byly kontrolovány ložiska na otláčení, hlavní nosný čep na střih a šrouby spojující desku shrabla s deskou vedení. Pro návrh vnitřního průměru vodící trubky byla použita metoda konečných prvků, konkrétně program ANSYS Workbench 14.5.

Součástí bakalářské práce bylo vytvoření výkresové dokumentace. Výkresová dokumentace obsahuje výkres celková sestavy zařízení včetně kusovníku. Dále vybrané podsestavy a některé jejich součásti. Výkresy jsou přiloženy ve formátu PDF a v tištěné podobě v příloze bakalářské práce.

Závěrem lze říci, že návrh takto komplexního a složitého zařízení přesahuje svým rozsahem prostor, který mu lze v bakalářské práci věnovat. Vhodné by bylo na tuto práci dále navázat například v diplomové práci.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN EN 12255-3: 2002. Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění. Praha: Český normalizační institut, 2002. 7 s.
- [2] Ručně stírané česle. EKOSYSTEM [online]. 2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.ekosystem.cz/dalsi-cinnosti/vyroba-z-nerezu/rucne-stirane-cesle>
- [3] Hrubé předčištění. INKOS [online]. 2013 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-technologie/hrube-predcisteni>
- [4] Mechanické stírané česle řetězové. Gentec [online]. © 2002 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.gentec.cz/gt-cr.htm>
- [5] Mechanicky stírané česle vertikální. Gentec [online]. © 2003 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.gentec.cz/gt-cs.htm>
- [6] Strojně stírané česle HX. SBH water [online]. 2012 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.sbhwater.cz/strojne-stirane-cesle-HX>
- [7] ŽEMLIČKA Martin. Název: *Mechanické čištění odpadních vod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 25 s.
- [8] Čistící stroj vtokových česlí vodních turbín MVE Měřejovice. P&S [online]. 2013 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.p-s.cz/reference-c12z310.html>
- [9] ROTAMAT® šnek se sítím Ro 9. HUBER technology [online]. © 2011 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.huberics.cz/cz/produkty/cesle-a-sita/cesle-a-sita-rotamatr/rotamatr-snek-se-sitem-ro-9.html>
- [10] Auger Monster. In: JWC International [online]. © 2004 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: [http://www.kk-technology.cz/useruploads/images/vyrobky/03\\_Auger\\_Monster.pdf](http://www.kk-technology.cz/useruploads/images/vyrobky/03_Auger_Monster.pdf)
- [11] Samočistící česle. In: Fontanar [online]. 2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCC-CZ.pdf>
- [12] STARÁ PLUS, v.o.s Materiály nerezových šroubů a matic HTML web pages poslední revize: 31.7. 2013  
Dostupné z <http://www.stara.cz/technicke-informace/material-a-mechanicke-vlastnosti-nerezovych-sroubu-a-matic.html>
- [13] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [14] TECAM spol. s r.o. Šrouby a matice [online]. 2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.tecam.cz/srouby-a-matice>



- [15] MATKOV s.r.o. Mechanické hodnoty [online]. 2011 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.matkov.cz/katalog/mechanicke-hodnoty/>
- [16] The General Purpose Bearing. In: IGUS [online]. 2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.igus.cz/iProsvc/Download.aspx?File=P02010100GBen.pdf&Name=iglidur%2520G%2c%2520typ%2520S%2c%2520mm.pdf>
- [17] Bezešvé nerezové duté tyče. In: Nerezové materiály, s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.nerezove-materialy.cz/files/1360767827-bezesve-nerezove-dute-tyce.pdf>
- [18] Prodejní katalog těsnění. In: Hydraulics [online]. 2011 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: [http://www.hydraulics.cz/katalog\\_tesniv.pdf](http://www.hydraulics.cz/katalog_tesniv.pdf)
- [19] LEINVEBER, Jan. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [20] Napínací matice. In: FABORY [online]. 2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.fabory.cz/pdf/cs/1400/16150.160.001.pdf>
- [21] Nerezový spojovací materiál katalog. In: STARÁ plus, v.o.s. [online]. 2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.stara.cz/download/nerezovy-spojovaci-material-katalog.pdf>
- [22] Výrobní katalog přímočarých hydropohonů. In: Hydraulics [online]. 2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: [http://www.hydraulics.cz/system/pdf\\_czs/1/original/vyrobní\\_katalog\\_primocarych\\_hydro\\_motoru\\_CZ\\_2012.pdf?1358944317](http://www.hydraulics.cz/system/pdf_czs/1/original/vyrobní_katalog_primocarych_hydro_motoru_CZ_2012.pdf?1358944317)
- [23] X-kroužky. Rubena a.s. [online]. 2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.rubena.cz/DetailPage.asp?DPG=142348>
- [24] MAZACÍ TECHNIKA. Zboží Arkov [online]. 2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://zbozi.arkov.cz/i/17855-maznice-kulova-m-6x1-prima-maznice-kulova-h1-m6-prima-din-71-412-csn-23-1470-luko.html>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a$	[m]	vzdálenost těžiště sestavy shrabla ke středu dolního ložiska
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	výpočtový průřez šroubu
$b$	[m]	rozteč silových působišť na ložiscích vedení
$b_z$	[mm]	délka závitu
$c$	[m]	vzdálenost těžiště sestavy od rotační podpory
$c_{tuh}$	[-]	tuhostní konstanta celého spoje
$D$	[mm]	vnitřní průměr válce
$d$	[mm]	průměr pístní tyče
$d_1$	[mm]	vnější průměr šroubu
$D_1$	[mm]	vnější průměr válce
$d_c$	[mm]	průměr nosného čepu
$d_o$	[m]	vzdálenost upevnění pohonu od rotační podpory
$D_p$	[mm]	dolní průměr podstavy komolého kuželu
$E_d$	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu desky
$E_s$	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu šroubu
$F_A$	[N]	silová reakce v dolním ložisku vedení
$F_B$	[N]	silová reakce v horním ložisku vedení
$F_c$	[N]	silová reakce v rotační podpoře
$F_{csx}$	[N]	x složka tíhové síly sestavy
$F_{gs}$	[N]	tíhová síla sestavy ovládané hydropohonem ve směru y
$F_{gval}$	[N]	tíhová síla od hmotnosti sestavy válce působící na hlavní čep
$F_{gvaly}$	[N]	svislá složka tíhové síly od hmotnosti sestavy válce působící na hlavní čep
$F_{gved}$	[N]	tíhová síla od hmotnosti vedení působící na hlavní čep
$F_{gvedy}$	[N]	svislá složka tíhové síly od hmotnosti vedení působící na hlavní čep
$F_i$	[N]	síla předpětí
$F_{minx}$	[N]	minimální ovládací síla pro hydropohon ve směru x
$F_{miny}$	[N]	minimální ovládací síla pro hydropohon ve směru y
$F_{minyk}$	[N]	ovládací síla ve směru y bez čepového tření
$F_p$	[N]	síla zatěžující součásti v provozním stavu
$F_{prov}$	[N]	provozní síla působící na jeden šroub
$F_{rc}$	[N]	silová reakce na nosném čepu



$f_s$	[-]	součinitel tření šhrabků
$F_{sp}$	[N]	síla působící ve šroubovém spoji
$F_{sx}$	[N]	složka tíhové síly šhrabků v tečném směru
$F_{sy}$	[N]	složka tíhové síly šhrabků v normálovém směru
$F_t$	[N]	třecí síla v čepu
$F_{tA}$	[N]	třecí síla v dolním ložisku
$F_{tB}$	[N]	třecí síla v horním ložisku
$F_{tloz}$	[N]	celková třecí síla v ložiscích
$F_{ts}$	[N]	třecí síla šhrabků
$F_{vyt}$	[N]	síla k vytažení šhrabků, včetně sil. účinků od hmotnosti desky šhrabla
$F_{zv}$	[N]	síla potřebná ke zdvihnutí šhrabků
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	gravitační zrychlení
$G_{cs}$	[N]	tíhová síla sestavy ovládané hydropohonem ve směru x
$G_s$	[N]	tíhová síla šhrabků
$h$	[mm]	tloušťka spojovacích součástí
$i$	[-]	počet šroubů
$k_0$	[-]	bezpečnost vůči zániku sevření
$k_m$	[-]	koeficient bezpečnosti smykového napětí vůči mezi kluzu
$k_{msp}$	[-]	bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti
$k_p$	[kN/mm]	celková tuhost spojovaných součástí
$k_p$	[-]	koeficient bezpečnosti otlačení ložiska
$k_{p1}$	[kN/mm]	tuhost desky
$k_{p2}$	[kN/mm]	tuhost šhrabla
$k_s$	[kN/mm]	tuhost šroubu
$k_{sp}$	[-]	bezpečnost vůči zkušebnímu napětí
$l_0$	[mm]	skutečná délka šroubu
$l_b$	[mm]	délka části dříku se závitem nacházející se v sevření
$l_g$	[mm]	délka dříku bez závitu
$l_s$	[mm]	počáteční délka šroubu
$m_{cs}$	[kg]	hmotnost sestavy ovládané hydropohonem ve směru x
$m_m$	[mm]	maximální výška matice
$M_{od}$	[Nm]	moment vzniklý od čepového tření
$m_{p1}$	[kg]	hmotnost písní tyče



$m_s$	[kg]	hmotnost shrabků
$m_{ss}$	[kg]	hmotnost sestavy shrabla
$m_{vs}$	[N]	hmotnost sestavy ovládané hydropohonem ve směru y
$p$	[mm]	rozteč závitu
$p_{ldov}$	[MPa]	dovolený tlak
$p_{loz}$	[MPa]	tlak působící na plochu ložiska
$r_{\check{c}}$	[mm]	poloměr čepu
$R_{es}$	[MPa]	mez kluzu
$R_{ms}$	[MPa]	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	mez kluzu
$S_1$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez šroubu
$S_1$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha průřezu nosného čepu
$S_{loz}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha průmětu ložiska na normálovou rovinu
$S_p$	[MPa]	zkušební napětí
$z$	[mm]	zdvih
$\beta$	[°]	úhel sklonu česlové mříže
$\mu$	[-]	součinitel tření – kontakt lineární ložisko/ocel
$\mu_{\check{c}}$	[-]	součinitel tření v čepu
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\tau$	[MPa]	smykové napětí

