



**FAKULTA  
ŠTROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

**Návrh automatického čističe česlí malé  
vodní elektrárny**

**Design of the Water Power Station Trash  
Rack Cleaner**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2020**

**Petr NEJEDLÝ**

**Studijní program:** B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD ŠTROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
**Studijní obor:** 2301R000 Studijní program je bezoborový  
**Vedoucí práce:** Ing. Jan Hoidekr

## **Poděkování**

**Chtěl bych poděkovat Ing. Janu Hoidekrovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné rady a konzultace.**

## **Prohlášení**

**Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh automatického čističe česlí malé vodní elektrárny“ vypracoval(a) samostatně pod vedením Ing. Jana Hoidekra, s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.**

**V Praze 27. 7. 2020**

**Petr Nejedlý**

## Anotační list

Jméno autora:	Petr Nejedlý
Název práce:	Návrh automatického čističe česlí malé vodní elektrárny
Název práce v angličtině:	Design of the Water Power Station Trash Rack Cleaner
Rok zpracování	2020
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Ústav:	Ú 12113 Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí práce:	Ing. Jan Hoidekr
Rozsah:	<ul style="list-style-type: none"><li>- počet stran: 48</li><li>- počet obrázků: 35</li><li>- počet tabulek: 10</li><li>- počet příloh: 3</li></ul>

**Klíčová slova:** čistič česlí, mechanický stroj, řetěz, jemné česle

**Key words:** trashrack cleaning machine, mechanical machine, chain, fine trash

**Anotace:** Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí automatického čističe jemných česlí malé vodní elektrárny. V úvodu je představen princip a důvod použití čističů. Dále je provedena rešerše a popis jednotlivých druhů. Praktická část práce se zabývá návrhem a konstrukcí konkrétního čističe. Následně jsou uvedeny pevnostní výpočty vybraných součástí. Konstrukce je podložena 3D modelem a sestavným výkresem.

**Abstract:** This bachelor's thesis deals with the design and construction of an automatic fine trashrack cleaner for a small hydroelectric power plant. The introduction introduces the principle and reason for using cleaners. Furthermore, a search and description of individual types is performed. The practical part of the work deals with the design and construction of a specific cleaner. The strength calculations of selected components are given below. The construction is based on a 3D model and an assembly drawing.

## Obsah

1. Úvod.....	6
2. Stroje na čištění česlí .....	6
2.1. Rozdělení.....	6
2.2. Stacionární čističe.....	6
2.3. Nestacionární čističe.....	7
2.4. Hydraulické.....	7
2.4.1. Ramenové.....	7
2.4.2. Teleskopické .....	9
2.5. Mechanicky poháněné.....	10
2.5.1. Řetězové .....	10
2.5.2. Lanové .....	12
3. Zadané parametry.....	13
4. Volba optimálního stroje .....	13
5. Výpočet síly působící na řetěz .....	15
5.1. Výpočet odporové síly pro šikmou desku .....	15
5.2. Řešení konkrétního případu.....	15
5.3. Výpočet vztlakové síly .....	20
5.4. Síla potřebná k vytažení samotného hrabla .....	21
5.5. Síla působící na řetěz .....	22
6. Volba kupovaných součástí.....	25
6.1. Volba řetězu.....	25
6.2. Volba řetězových kol .....	25
6.3. Volba pohonu .....	26
6.4. Volba rolen .....	27
7. Vlastní konstrukční řešení.....	28
7.1. Popis součástí: .....	29
7.2. Kinematika.....	33
8. Montážní postup.....	35
9. Pevnostní výpočty .....	36
9.1. Kontrola čepů.....	36
9.2. Kontrola hřídelů [19] .....	37
9.2.1. Hnací hřídel.....	37
9.2.2. Hnaná hřídel .....	38
9.3. Kontrola per [18].....	39
9.3.1. Pero mezi hnací hřídelí a převodovkou .....	39
9.3.2. Pera mezi hřídelí a řetězovým kolem .....	40
9.4. Kontrola pružin [19] .....	40
10. Ekonomické zhodnocení .....	41
11. Závěr .....	41
Seznam zkratk .....	43
Seznam zdrojů .....	46
Seznam obrázků .....	48
Seznam tabulek .....	49
Seznam příloh.....	49

## 1. Úvod

Malé vodní elektrárny jsou jedním z nejšetrnějších způsobů výroby energie vzhledem k životnímu prostředí. Aby taková elektrárna fungovala jsou její neodmyslitelnou částí česle. Česle jsou ochranná mříž, která zachycuje větší objekty rozptýlené ve vodě. Brání těmto předmětům před vniknutím do turbíny, kde by mohli způsobit škodu. Aby však turbína fungoval stále na co největší výkon, musí být česle čisté. K tomu slouží čistič česlí, jehož návrhem a konstrukčním řešením se budu zabývat ve své bakalářské práci.

## 2. Stroje na čištění česlí

Čistící troje česlí se používají k odstranění nečistot z ochranného roštu (česlí). Jejich úkolem je odstranit naplavená tělesa různého druhu, aby byl umožněn nepřetržitý, optimální tok vody k turbíně, a tím se maximalizovala výroba elektrické energie.

Dříve se česle čistili ručně, což bylo velice neefektivní a vyžadovalo to neustálou přítomnost pracovníků, která se negativně promítala na nákladech za provoz elektrárny. Později došlo k mechanizaci a začali se vyrábět a uvádět do provozu první čističe poháněné řetězem, které se velice osvědčili. Díky své spolehlivosti a trvanlivosti se používají s určitými modifikacemi až do teď. Hydraulické typy čističů jsou v provozu teprve pár let [1],[2]

### 2.1. Rozdělení

Z hlediska stacionarity můžeme čističe dělit na:

- Stacionární
- Nestacionární

Podle principu pohonu a konstrukce můžeme stroje dělit na:

- Hydraulické: ramenové, teleskopické
- Mechanicky poháněné: lanové/řetězové

### 2.2. Stacionární čističe

Používají se spíše na česle malých vodních elektráren, kde je možné použít hřeben čistícího zařízení stejně široký, jako jsou široké jím čištěné česle. Hřeben zasahuje po celé šířce česlí a z toho důvodu není potřeba se strojem posouvat. Tento typ lze vidět např. na obrázku 1

### **2.3. Nestacionární čističe**

Používají se spíše pro větší vodní elektrárny, kde je velikost čistícího hřebene menší než velikost česlí. A pro vyčištění celých česlí je nutné pohybovat zařízením. Tento typ lze vidět např. na obrázku 4

### **2.4. Hydraulické**

Z hlediska konstrukce existuje nespočet typů a variant čističů. V následujících kapitolách budou uvedeny pouze základní typy čističů, které mohou být dále modifikovány, či kombinovány.

#### **Výhody:**

- hrablo ponořené pouze při záběru, jinak nad vodou
- spolehlivost
- možnost vytáhnutí, při nebezpečných podmínkách provozu (např: velké naplavené objekty)
- univerzálnost (pro různě široká koryta lze použít stejné rameno, pouze odlišnou lištu)

#### **Nevýhody:**

- vysoká cena
- údržba vyžaduje odborníky

#### **2.4.1. Ramenové**

Tato čistící zařízení se vyznačují robustnější konstrukcí a používají se převážně pro menší, nebo středně velké přehrady. Skládá se z rámu, dvou ramen a stírací lišty. Tyto stroje mohou být i víceramenné. Veškeré pohyby ramena jsou ovládány dvěma hydraulickými písty. První píst, připevněný mezi rámem a prvním ramenem zajišťuje vertikální pohyb a druhý píst, mezi prvním a druhým ramenem se stírací lištou, přiklápí a odklápí druhé rameno, tak aby při pohybu dolu nedřela stírací lišta o česle. Tyto stroje se také často používají i s kombinací lanových, nebo řetězových čističů, kde zastupují funkci vytahování větších naplavenin

Z ekonomických a architektonických důvodů je celková výška omezena na asi 15 až 20 metrů. Pro větší hloubky je nutné použít teleskopický hydraulický čistič, nebo kombinaci teleskopického a ramenového. [1],[2]



Obrázek 1: Jednoramenný hydraulický čistič [3]



Obrázek 2: Dvouramenný hydraulický čistič [4]



### 2.4.2. Teleskopické

Teleskopické čistící stroje mají výhodu oproti ramenovým v tom, že je lze použít do větší hloubky. Jsou tvořeny rámem, na kterém je na čepech připojeno teleskopické rameno. Na konci ramene je pevně připojená stírací lišta. Vykonnávají dva různé pohyby. První píst umožňuje zasouvání a vysouvání teleskopické rameno se stírací lištou, která vyhrnuje nečistoty z česlí. Druhý píst odklápí a přiklápí rameno s lištou tak, aby při pohybu dolu nehrnula naplaveniny a neodírala česle. Může být konstruován také jako víceramenný. [2], [5]



*Obrázek 3: Stacionární teleskopický hydraulický čistič [6]*



Obrázek 4: Nestacionární teleskopický hydraulický čistič [7]

## 2.5. Mechanicky poháněné

### 2.5.1. Řetězové

Řetězové čističe jsou charakteristické svou robustností a velkou pracovní hloubkou. Skládají se z rámu, ve kterém jsou uloženy dvě hřídele s řetězovými koly. Elektromotor přes převodovku pohání vrchní hřídel s řetězovým kolem, které žene řetěz v nekonečné smyčce. Čistící lišta je pevně upevněna na obou krajích k článkům poháněného řetězu. Když lišta dojde na konec česlí, shrabky se z ní sesunou do výplachového žlabu. Rám může být přidělaný jak na pevně, tak také kyvně (nahore na čepch a dole pouze opřen). Nevýhodou tohoto stroje je to, že některé mechanické části jsou trvale ponořeny pod vodou. Dále také údržba/výměna řetězu, který se po více cyklech vytahá. I přes tyto nevýhody jsou jedním z nejpoužívanějších typů díky jejich poměrně nízké pořizovací ceně, velmi dlouhé životnosti a také spolehlivosti. [8], [9]

#### Výhody:

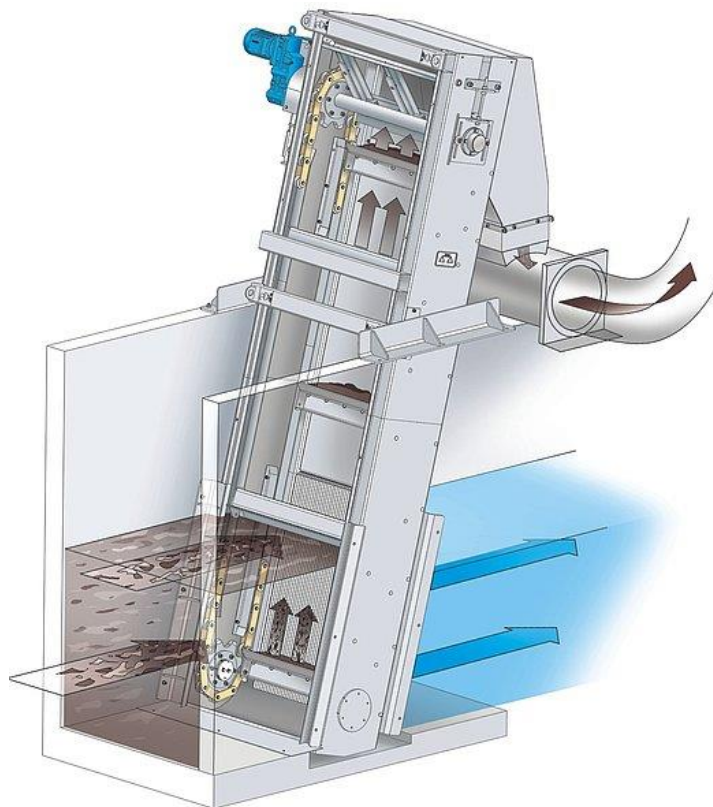
- spolehlivost
- snadná údržba
- nízká cena

**Nevýhody:**

- stroj je celou dobu pod vodou
- častá údržba (kontrola řetězu a kol)



*Obrázek 5: Jednoduché řešení řetězového čističe [10]*



*Obrázek 6: Princip řetězového čističe [11]*



### 2.5.2. Lanové

Oproti řetězovým čističům mají jednodušší konstrukci, lze je použít pro téměř neomezené délky čištění a poměrně velký objem vytahovaných naplavenin. Tento stroj se skládá z vodícího rámu, v kterém je na kolečkách uložena shrnovací lišta. Lišta je poháněna lanem, které pohání naviják umístěný ve středu konstrukce nad vodícími rámy. Když se shrnovací lišta dostane na úroveň břehu, jsou z ní shrnovačem shrnuty všechny nabrané předměty. Nevýhodou je však, že shrnovací lišta není poháněna směrem dolů, ve kterém se pohybuje důsledkem vlastní tíhy. Při naplavení větších kusů tak může dojít k zastavení shrnovací lišty. Další velkou nevýhodou je, že při pohybu shrnovací lišty směrem dolů dochází k shrnování naplavenin dolů. [8]

#### Výhody:

- nízká cena
- velmi jednoduchá konstrukce
- snadná údržba

#### Nevýhody:

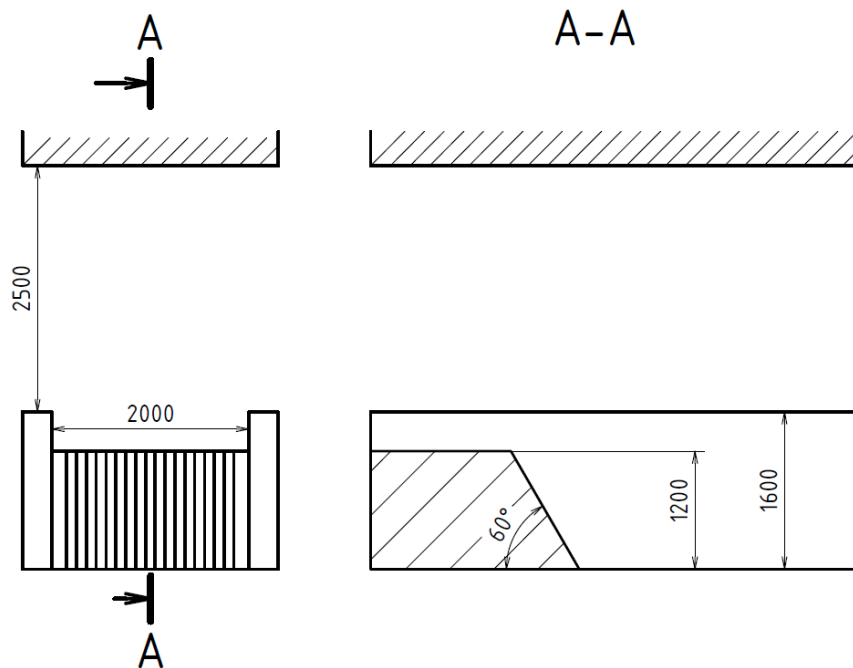
- spolehlivost (zaklínění stírací lišty)



Obrázek 7: Lanový čistič [12]

### 3. Zadané parametry

Náhon MVE je vybaven jemnými česlemi s mezerami mezi česlicemi 15-30 mm. Rozměry koryta a výška stropu jsou uvedeny na obrázku 8.



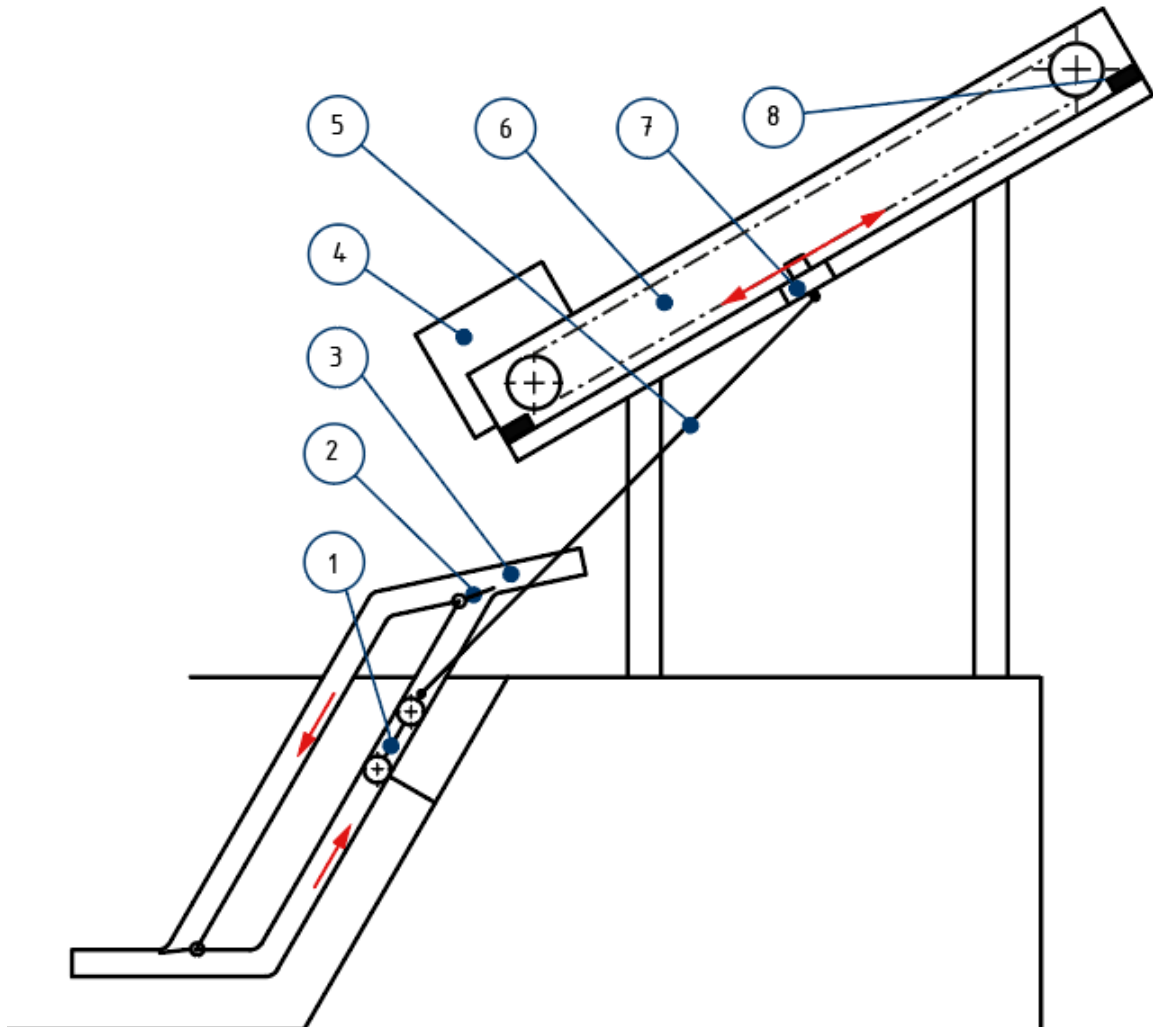
Obrázek 8: Rozměry koryta

### 4. Volba optimálního stroje

Po vzájemném porovnání běžně používaných strojů byl zvolen řetězový čistič a navrhnutá konstrukce, ve které není řetěz ponořený pod vodu a hrablo pouze dočasně. Řetěz je v konstrukci pouze jeden a neobíhá v nekonečné smyčce, ale pohybuje se tam a zpět. Řetěz pohání unašeč uložený v rámu. Hrablo se pohybuje pomocí radioaxiálních rolen v dráze z vodících profilů a je spojeno táhlem k unašeči. Pohyb hrabla v dráze je usměrňován klapkami. Směr pohybu hrabla v dráze a unašeče v rámu je naznačen na obrázku 9 červenými šipkami.

*Tabulka 1: Popis pozic na obrázku 9*

pozice	1	2	3	4	5	6	7	8
název	hrablo	klapka	dráha	pohon	táhlo	rám	unašeč	koncový spínač

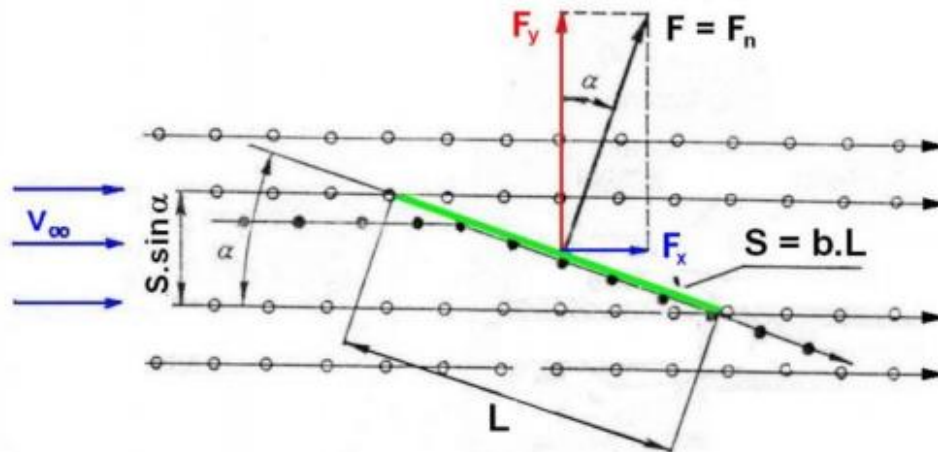


*Obrázek 9: Návrhová skica*

## 5. Výpočet síly působící na řetěz

Pro výpočet síly působící na řetěz je nutné nejprve spočítat účinky sil způsobené obtékáním hrabla ve vodě. Dále spočítat vztlakovou sílu a následně zahrnout tření mezi unašečem a vodíci profily. Pro všechny výpočty je uvažován úhel působení tažné síly jako proměnný, a to v intervalu od 30 do 60 stupňů.

### 5.1. Výpočet odporové síly pro šikmou desku



Obrázek 10: Obtékání šikmé desky [13]

Pro výpočet odporové síly pro šikmou desku platí: [13]

$$F_o = c_n \cdot S \cdot \frac{v_o^2}{2} \cdot \rho \quad (1)$$

$$F_y = F \cdot \cos \alpha_o \quad (2)$$

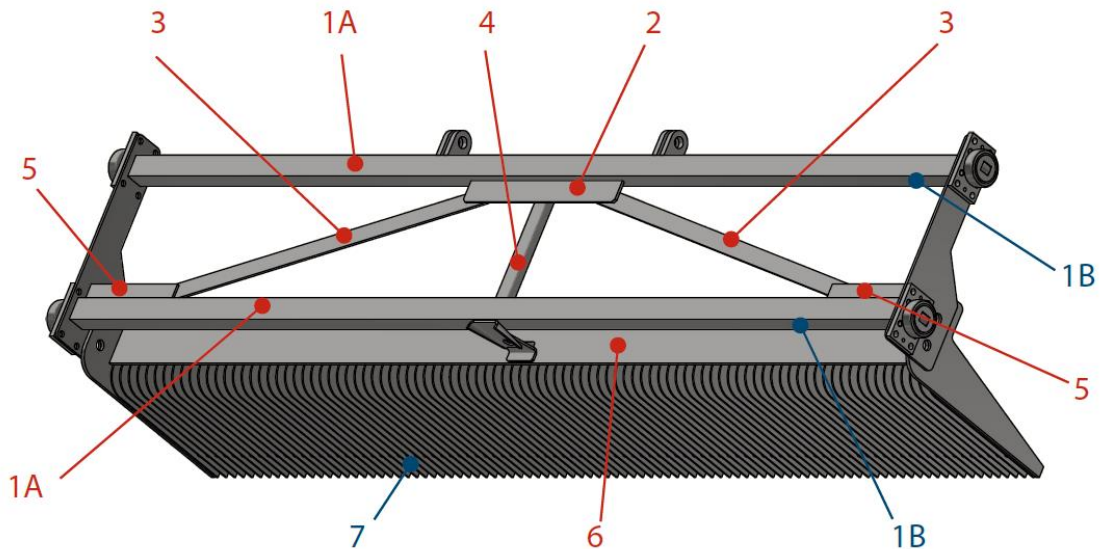
$$F_x = F \cdot \sin \alpha_o \quad (3)$$

Pro šikmou desku s úhlem náběhu  $\alpha = 8$  až  $90$  je velikost celkového odporového součinitele určena empirickou rovnicí: [13]

$$c_n = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin \alpha_o}} \quad (4)$$

### 5.2. Řešení konkrétního případu

Pro ulehčení je hrablo rozděleno na více jednotlivých těles, jako na obrázku 11. Zde jsou i barevně rozlišeny plochy, na které působí vztlak-modře a plochy, na které působí přítlak-červeně.



Obrázek 11: Označení jednotlivých obtékaných částí

Výslednice odporových a vztlakových sil umístíme do jejich těžišť. Přičemž velikost výsledné odporové a vztlakové síly bude rovna součtu vektorů jednotlivých sil působících na tělesa, podobně jako na obrázku 13:

$$\vec{F}_{Ox} = \vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x} + \vec{F}_{3x} + \vec{F}_{4x} + \vec{F}_{5x} + \vec{F}_{6x} + \vec{F}_{7x} \quad (5)$$

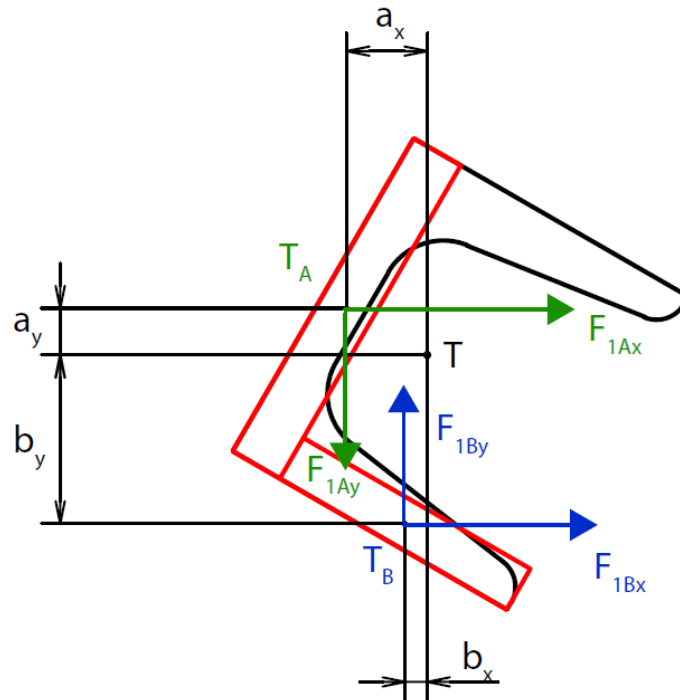
$$\vec{F}_{Oy} = \vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y} + \vec{F}_{3y} + \vec{F}_{4y} + \vec{F}_{5y} + \vec{F}_{6y} + \vec{F}_{7y} \quad (6)$$

Nejdříve vypočítáme velikosti sil a klopné momenty působící v jednotlivých těžištích. Po vypočtení všech hledaných sil a momentů je přeneseme do celkového těžiště celého tělesa. Přenesením všech sil do těžiště nám v něm vzniknou odporová síla, vztlaková/přítlaková síla a klopný moment.

### TĚLESO 1

Jelikož je těleso jedna složeno z dvou podobně velkých ploch, je ho potřeba pro výpočet rozdělit. Zvláště se spočítají účinky odporové síly na jednu plochu (síly s indexem A), zvláště na druhou (síly s indexem B) a nakonec se přesunou do celkového těžiště tělesa.





Obrázek 12: Rozklad sil na tělese 1

$$F_{1x} = F_{1Ax} + F_{1Bx} \quad F_{1y} = F_{1By} - F_{1Ay} \quad M_1 = M_{Ax} - M_{Ay} - M_{Bx} + M_{By}$$

$$c_{n60} = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin 60^\circ}} = 1,822$$

$$c_{n30} = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin 30^\circ}} = 1,269$$

$$F_{1A} = c_{n60} \cdot S_{1A} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 1,822 \cdot 0,0766 \cdot \frac{1^2}{2} \cdot 1000 = 69,78 \text{ N}$$

$$F_{1B} = c_{n30} \cdot S_{1B} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 1,269 \cdot 0,067 \cdot \frac{1^2}{2} \cdot 1000 = 42,51 \text{ N}$$

$$F_{1Ax} = F_{1A} \cdot \sin 60^\circ = 69,78 \cdot \sin 60^\circ = 60,43 \text{ N}$$

$$F_{1Ay} = F_{1A} \cdot \cos 60^\circ = 69,78 \cdot \cos 60^\circ = 34,89 \text{ N}$$

$$F_{1Bx} = F_{1B} \cdot \sin 30^\circ = 42,51 \cdot \sin 30^\circ = 21,26 \text{ N}$$

$$F_{1By} = F_{1B} \cdot \cos 30^\circ = 42,51 \cdot \cos 30^\circ = 36,81 \text{ N}$$

$$M_{1Ax} = F_{1Ax} \cdot a_{1y} \quad M_{1Ay} = F_{1Ay} \cdot a_{1x}$$

$$M_{1Bx} = F_{1Bx} \cdot b_{1y} \quad M_{1By} = F_{1By} \cdot b_{1x}$$

$$F_{1x} = F_{1Ax} + F_{1Bx} = 60,43 + 21,26 = 81,69 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_{1By} - F_{1Ay} = 36,81 - 34,89 = 1,92 \text{ N}$$

$$M_1 = F_{1Ax} \cdot a_{1y} - F_{1Ay} \cdot a_{1x} - F_{1Bx} \cdot b_{1y} + F_{1By} \cdot b_{1x}$$

$$M_1 = 60,43 \cdot 5,4 - 34,89 \cdot 9,353 - 21,26 \cdot 16,649 + 36,81 \cdot 4,763 = -184,99 \text{ Nmm}$$

Pro ostatní tělesa bude výpočet jednodušší, protože obtékaný povrch jedné z ploch je mnohem větší, plocha s velmi malým obsahem lze zanedbat. Tím vzniknou síly pouze v těžišti tělesa a klopný moment nebude žádný.

Ostatní tělesa se budou počítat stejným způsobem, jako jednoduchá deska. Jediné, čím se budou výpočty mezi sebou lišit je směr ypsilónové složky odporové síly. Pro těleso 7 bude směřovat nahoru, pro ostatní dolů.

## TĚLESA 2-6

$$F_i = c_{n60} \cdot S_i \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

$$F_{ix} = F_i \cdot \sin 60^\circ$$

$$F_{iy} = -F_i \cdot \cos 60^\circ$$

Tabulka 2: Vypočtené hodnoty sil působících na tělesa 2-6

$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$
12,75 N	16,58 N	4,19 N	6,38 N	34,62 N
$F_{2x}$	$F_{3x}$	$F_{4x}$	$F_{5x}$	$F_{6x}$
11,04 N	14,36 N	3,63 N	5,52 N	29,98 N
$F_{2y}$	$F_{3y}$	$F_{4y}$	$F_{5y}$	$F_{6y}$
-6,38 N	-8,29 N	-2,10 N	-3,19 N	-17,31 N

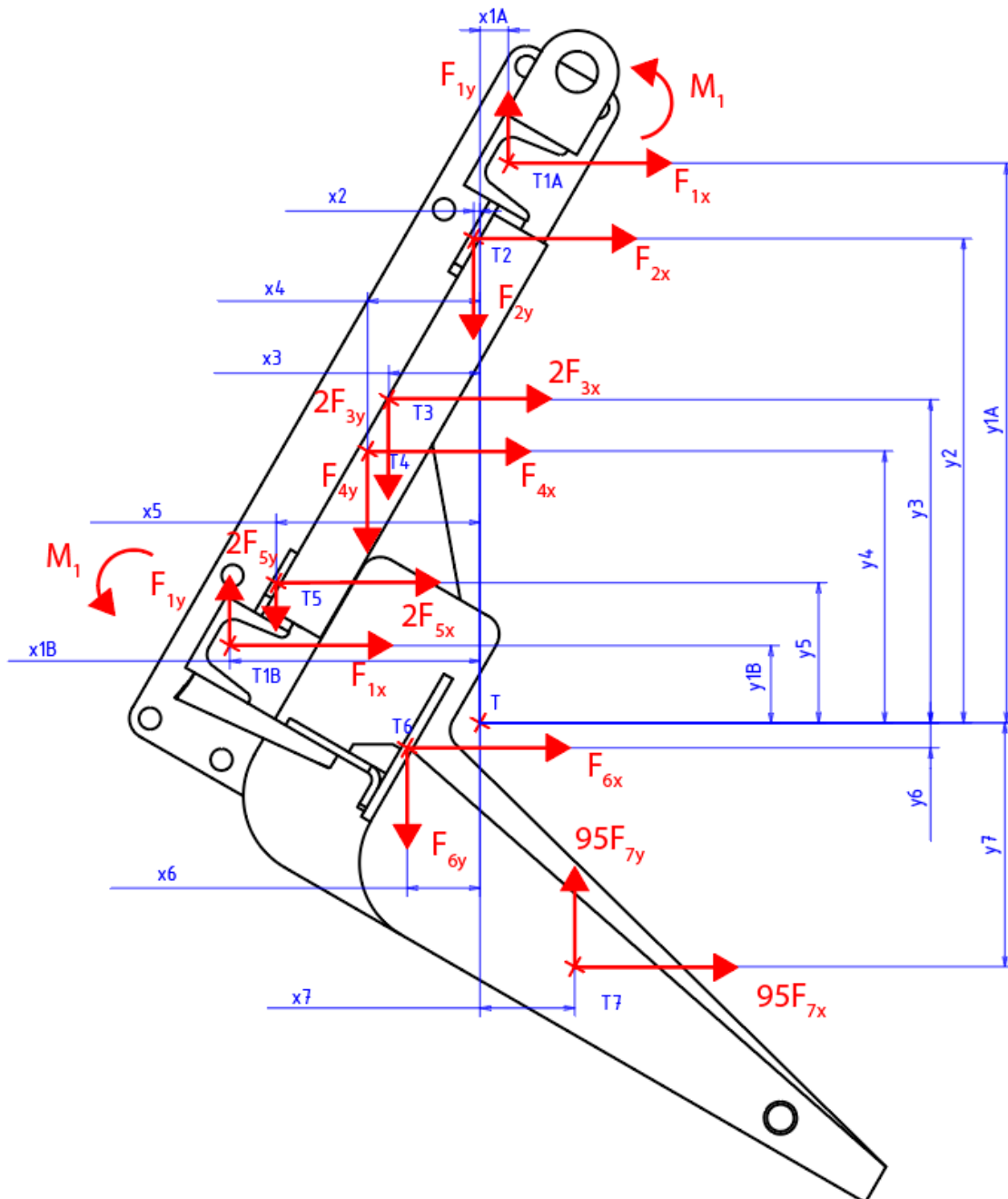
## TĚLESO 7

$$F_7 = c_{n30} \cdot S_7 \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 1,269 \cdot 0,0009 \cdot \frac{1^2}{2} \cdot 1000 = 0,57 \text{ N}$$

$$F_{8x} = F_8 \cdot \cos 60^\circ = 0,29 \text{ N}$$

$$F_{8y} = F_8 \cdot \sin 60^\circ = 0,49 \text{ N}$$

CELKOVÉ TĚLESO



Obrázek 13: Účinky odporových a vzlakových sil na celé těleso

$$F_{Ox} = 2 \cdot F_{1x} + F_{2x} + 2 \cdot F_{3x} + F_{4x} + 2 \cdot F_{5x} + F_{6x} + 95 \cdot F_{7x}$$

$$F_{Oy} = 2 \cdot F_{1y} + F_{2y} + 2 \cdot F_{3y} + F_{4y} + 2 \cdot F_{5y} + F_{6y} + 95 \cdot F_{7y}$$

$$F_{Ox} = 81,69 \cdot 2 + 11,04 + 14,36 \cdot 2 + 3,63 + 6,38 \cdot 2 + 34,62 + 0,29 \cdot 95 = 281,7 \text{ N}$$

$$F_{Oy} = 1,92 \cdot 2 - 6,38 - 8,29 \cdot 2 - 2,10 - 3,19 \cdot 2 - 17,31 + 0,49 \cdot 95 = 1,64 \text{ N}$$

Obecné vzorce pro výpočty momentů:

$$M_{ix} = F_{ix} \cdot y_i \quad (7)$$

$$M_{iy} = F_{iy} \cdot x_i \quad (8)$$

Tabulka 3: Vypočtené hodnoty momentů

$M_{1xA}$	$M_{1xB}$	$M_{2x}$	$M_{3x}$	$M_{4x}$	$M_{5x}$	$M_{6x}$	$M_{7x}$
22 169,85	3 068,28	2 593,30	4 502,43	478,47	750,06	-360,96	-3 257,51
$M_{1yA}$	$M_{1yB}$	$M_{2y}$	$M_{3y}$	$M_{4y}$	$M_{5y}$	$M_{6y}$	$M_{7y}$
-26,34	232,86	-19,59	-734,16	-114,51	-630,92	-612,25	-2 133,39

$$M_{KL} = M_{1xA} + M_{1yA} + M_{1xB} + M_{1yB} + M_{2x} + M_{2y} + M_{3x} + M_{3y} + M_{4x} + M_{4y} + M_{5x} \\ + M_{5y} + M_{6x} + M_{6y} + M_{7x} + M_{7y} + M_1 = 25 905,62 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### 5.3. Výpočet vztlakové síly

Z Archimédova zákona platí: [14]

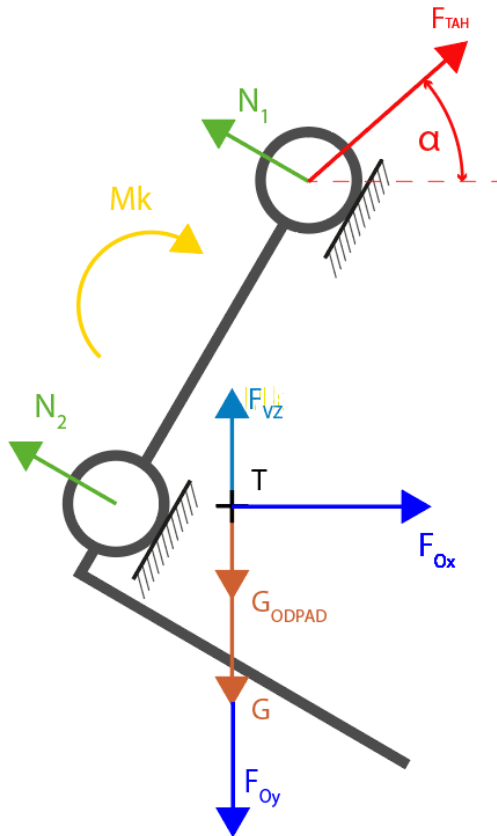
$$F_{VZ} = V \cdot \rho \cdot g \quad (9)$$

$$F_{VZ} = 0,009 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 88,29 \text{ N}$$

## 5.4. Síla potřebná k vytažení samotného hrabla

Tabulka 4: Známé hodnoty pro výpočet síly k vytažení samotného hrabla

$G$	$G_{odpad}$	$F_{VZ}$	$F_{Oy}$	$F_{Ox}$	$M_{KL}$
707,28 N	500 N	88,29 N	1,64 N	281,7 N	25,91 N · m



$F_O$  - odporová síla

$F_{VZ}$  - vztlaková síla

$G$  - tíhová síla

$G_{ODPAD}$  - tíha vytahovaných naplavenin

$N$  - normálová reakce

$F_{TAH}$  - síla potřebná k vytažení hrabla

$M_k$  - klopný moment

$T$  - těžiště

Obrázek 14: Uvolnění hrabla

UVOLNĚNÍ TĚLESA:

$$X: -N_{1x} - N_{2x} + F_{TAHx} + F_{Ox} = 0 \quad (10)$$

$$Y: +N_{1y} + N_{2y} - G - G_{odpad} + F_{TAHy} + F_{VZ} - F_{Oy} = 0 \quad (11)$$

$$M(T): 38,11 \cdot N_2 - 246,89 \cdot N_1 + M_{KL} + 273,62 \cdot F_{TAHx} - 19,86 \cdot F_{TAHy} = 0 \quad (12)$$

$$N_{1x} = N_1 \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} N_1$$

$$N_{2x} = N_2 \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} N_2$$

$$N_{1y} = N_1 \sin 30^\circ = \frac{1}{2} N_1$$

$$N_{2y} = N_2 \sin 30^\circ = \frac{1}{2} N_2$$

$$F_{TAHy} = F_{TAH} \sin \alpha$$

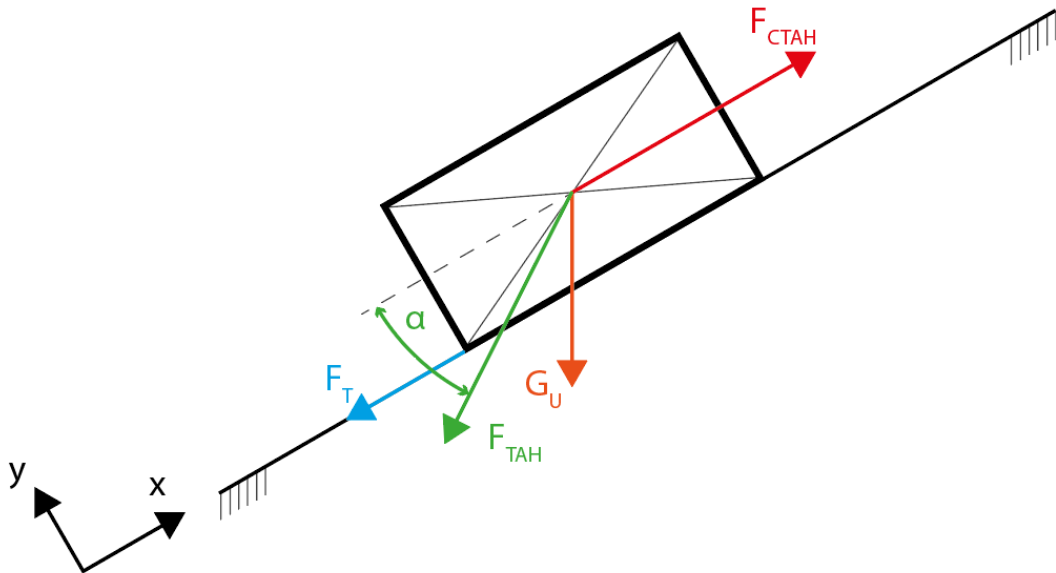
$$F_{TAHx} = F_{TAH} \cos \alpha$$

$$X: -\frac{\sqrt{3}}{2}N_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}N_2 + F_{TAH} \cos \alpha + F_{Ox} = 0$$

$$Y: +\frac{1}{2}N_1 + \frac{1}{2}N_2 - G - G_{odpad} + F_{TAH} \sin \alpha + F_{VZ} - F_{Oy} = 0$$

$$M_{(T)}: -0,03811 \cdot N_2 - 0,24689 \cdot N_1 + M_{KL} + 0,27362 \cdot F_{TAH} \cos \alpha - 0,01986 \cdot F_{TAH} \sin \alpha = 0$$

### 5.5. Síla působící na řetěz



Obrázek 15: Uvolnění unašeče

Zadané hodnoty:  $f = 0,1$ ;  $G_u = 104,82 \text{ N}$

$$F_T = f \cdot (F_{TAH} \cdot \sin \alpha + G_U \cdot \cos 30^\circ) \quad (13)$$

$$F_{CTAH} = F_{TAH} \cdot \cos \alpha + G_U \cdot \sin 30^\circ + F_T \quad (14)$$

$$F_{CTAH} = F_{TAH} \cdot \cos \alpha + G_U \cdot \sin 30^\circ + f \cdot (F_{TAH} \cdot \sin \alpha + G_U \cdot \cos 30^\circ)$$

V programu MATLAB R2020a byl vytvořen Script, ve kterém se spočítala maximální

$F_{CTAH}$ , síla působící na řetěz potřebnou následně sestrojen graf závislosti  $F_{CTAH}$  na úhlu  $\alpha$ :

```

Fox =281.7;
Foy =91.46;
Fvz =88.29;
G =707.28;
Godp =490.5;
Gu =104.82;
Mk =25.90562;
alfa =29;
f =0.1;

for i=1:31

A=[-sqrt(3)/2 -sqrt(3)/2 cosd(alfa); 1/2 1/2 sind(alfa);
  -0.24689 0.03811 (0.27362*cosd(alfa))-(0.01986*sind(alfa))];

B=[-Fox; G+Godp-Fvz+Foy; -Mk];

X(:,i)=A\B;

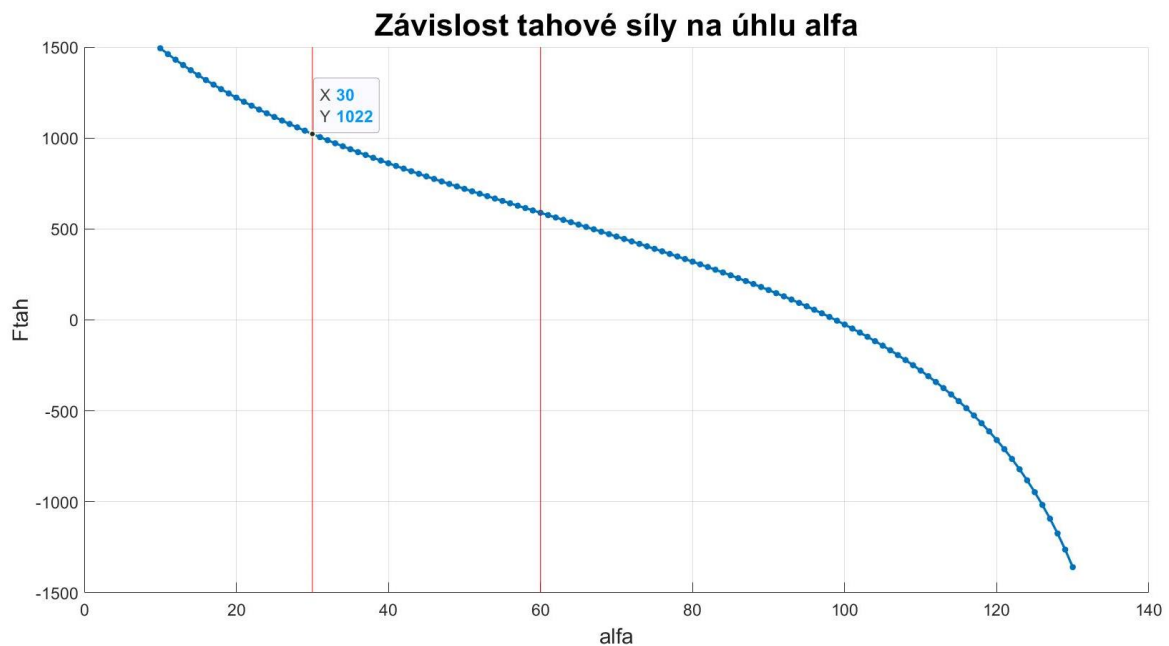
alfa=alfa+1;

Fc=((X(3,i))*cosd(alfa))+(Gu*sind(30))+(f*((X(3,i))*sind(alfa))+(Gu*cosd(30)))));

Y(:,i)=Fctah;
end

alfa_g=30:60;
N2=max(X(2,:))
N1=max(X(1,:))
Ftah=max(X(3,:))
Fctah=max(Y(1,:))

```



Z celé závislosti tahové síly na úhlu alfa se v tomto konstrukčním řešení pohybuje úhel alfa v intervalu od 30 do 60 stupňů. Největší hodnota síly  $F_{CTAH}$  je 939,33 N, při hodnotě úhlu  $\alpha = 30^\circ$ . S touto hodnotou se bude dále počítat v pevnostních a návrhových výpočtech.

Dále byla zjištěna největší hodnota normálové síly, která činí 942,31 N. Tato síla bude použita pro návrh rolen. Maximální velikost síly potřebné k vytažení samotného hrabla je 958,31 N.



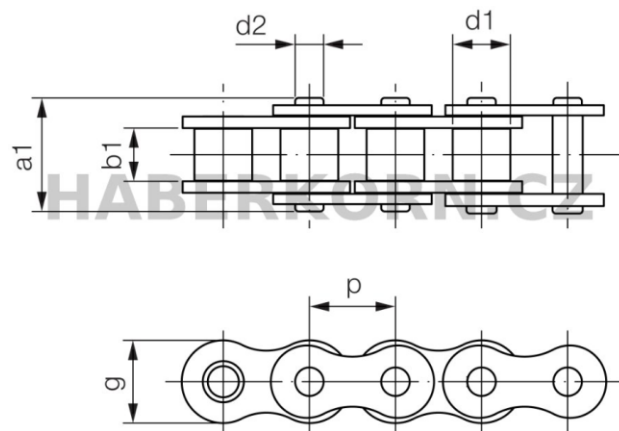
## 6. Volba kupovaných součástí

### 6.1. Volba řetězu

Maximální síla působící na řetěz je 0,9 kN, vzhledem k proporcím celého stroje a velikosti síly působící na řetěz jsem zvolil jednořadý válečkový řetěz 06 B-1 dle DIN 8187, s rozměry uvedenými v tabulce

Tab. 3: parametry řetězu

ISO	p [mm]	b1 min. [mm]	d1 max. [mm]	d2 max. [mm]	a1 max. [mm]	g [mm]	Síla k přetržení [kN]	Hmotnost [kg/m]
06 B - 1	9,52	5,72	6,35	3,28	13,5	8,26	9	0,4



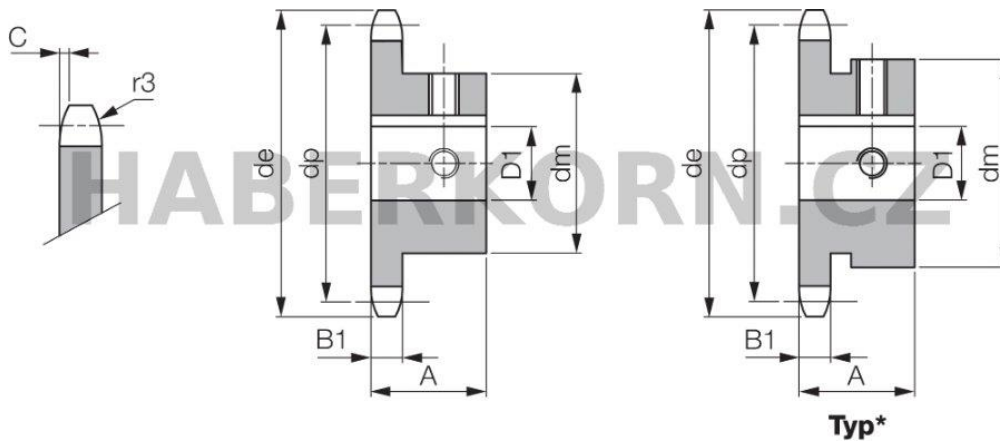
Obrázek 16: Rozměry řetězu [15]

### 6.2. Volba řetězových kol

Řetězová kola jsem zvolil 06B-1-24-NKZ/D30 podle DIN 8187 s rozměry uvedenými v tabulce

Tab. 4: rozměry řetězového kola

ISO	počet zubů	D1 [mm]	de [mm]	dp [mm]	dm [mm]	A [mm]	B1 [mm]
06B-1-25-NKZ	30	30	94,8	91,12	60	30	5,3



Obrázek 17: Rozměry řetězového kola [16]

### 6.3. Volba pohonu

Vzhledem k malým výstupním otáčkám byla zvolena šneková převodovka. Pro volbu motoru a převodovky se musí nejdříve určit minimální výkon motoru a výstupní otáčky převodovky.

Tabulka 5: Zadané parametry pro výpočet pohonu

$v$ [m/s]	$d_{\dot{r}}$ [m]	$k$ [-]	$F_{CTAH}$ [N]
0,4	0,091	2	939,33

#### Výpočty:

Výkon motoru:

$$P = F_{CTAH} \cdot v \cdot k = 939,33 \cdot 0,4 \cdot 2 = 751,46 \text{ W} \rightarrow 0,75 \text{ kW} \quad (15)$$

Výstupní otáčky na hřídeli:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d_{\dot{r}}} = \frac{60 \cdot 0,4}{\pi \cdot 0,091} = 83,95 \text{ ot/min} \quad (16)$$

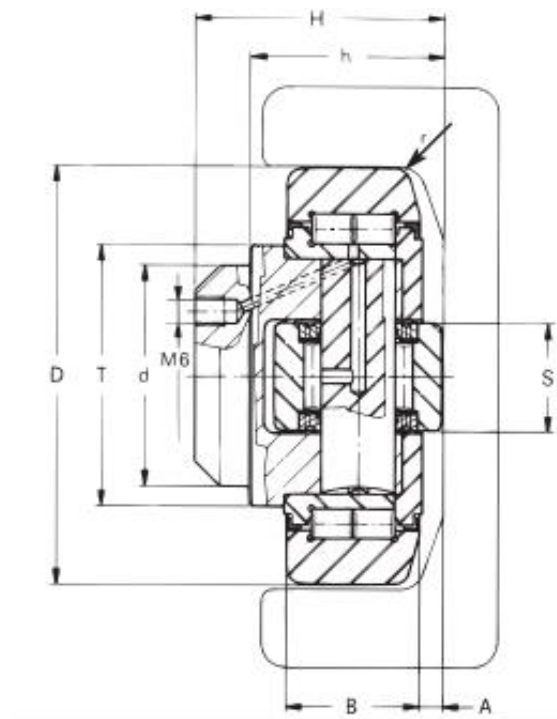
Z vypočtených hodnot byl zvolen 4-pólový, třífázový, asynchronní motor s výkonem 0,93 kW, otáčkami 1 400 ot/min a šneková převodovka typu RT s převodovým poměrem  $i=15$ .

## 6.4. Volba rolen

Největší hodnota normálové síly je 939,33 N. To je síla působící na dvě rolny, takže na jednu bude působit síla poloviční. Vzhledem k celkovým rozměrům konstrukce a síly působící na rolny byly zvoleny radioaxiální rolny s upínací deskou. Rozměry rolen jsou uvedeny v tabulce:

*Tab. 6: Rozměry rolen*

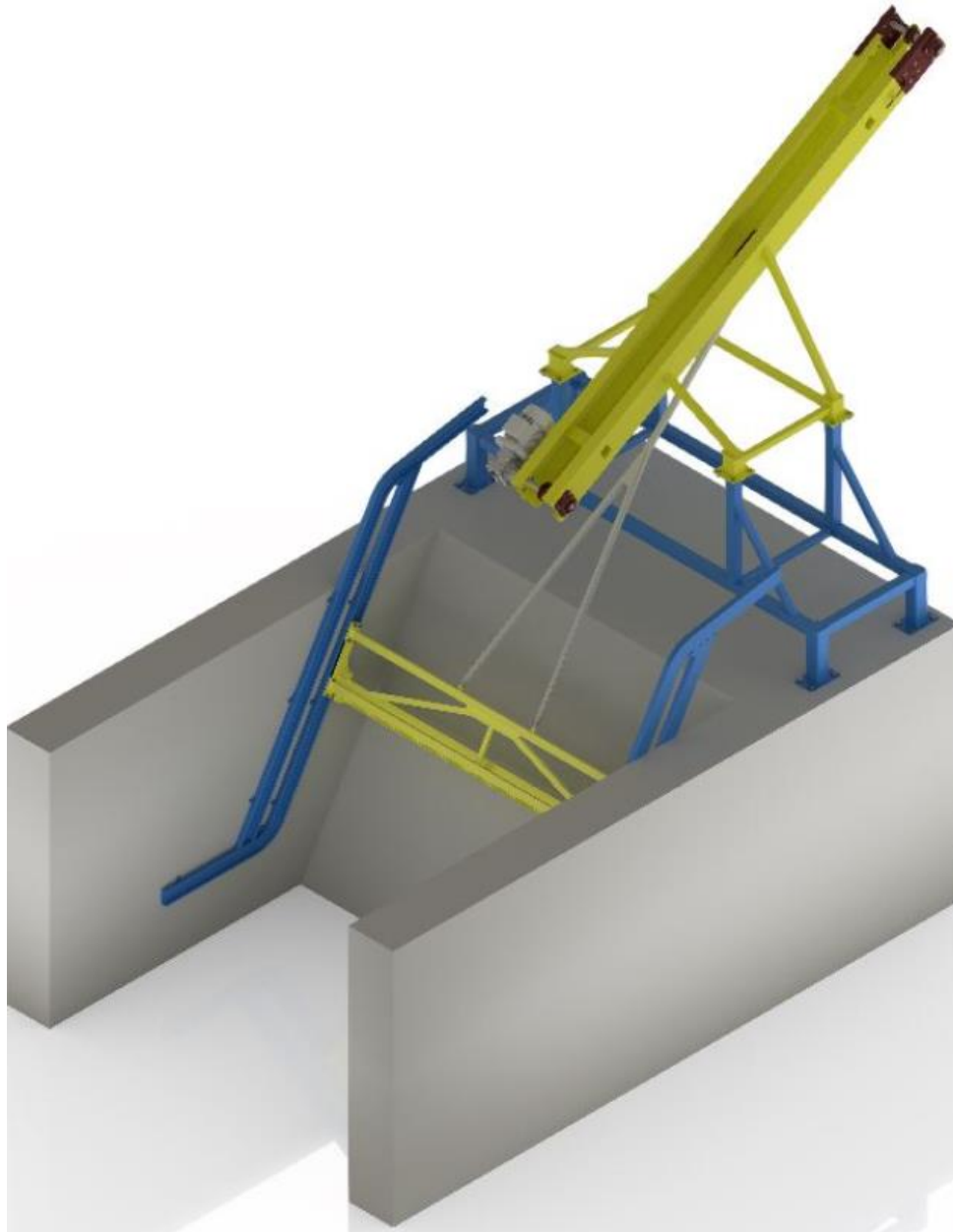
Označení	Rozměry [mm]			Únosnost [kN]	
	$\varnothing D$	$\varnothing d^{-0,05}$	h	$F_a$	$F_r$
4.054	62,5	30	30,5	3,20	10,30



*Obrázek 18: Rozměry rolny [17]*

## 7. Vlastní konstrukční řešení

Konstrukce čističe vychází ze skici na obrázku 9. Skládá se z rámu, pohonu, řetězky, vodících dráh, hrabla, táhla a unašeče. Celková sestava je na obrázku 19. Při návrhu konstrukce byla kladena snaha o to použít co nejvíce normalizovaných a kupovaných součástí z důvodu nižších nákladů.



*Obrázek 19: Celková sestava*

## 7.1. Popis součástí:

### ŘETĚZKA:

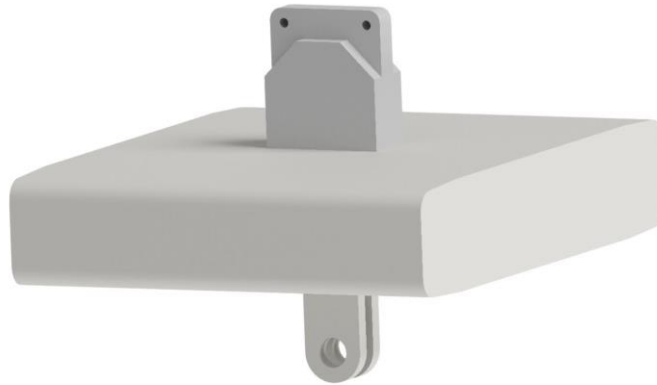
Rám řetězky je svařenec složený z jeklů a U profilů. Na rámu jsou přichyceny ložiskové domky s radiálními kuličkovými ložisky, ve kterých jsou uloženy hřídele a na nich řetězová kola, pohánějící řetěz. Napínání řetězu je řešeno pomocí závitové tyče a dvou matek, díky kterým se může řetěz napínat a povolovat. Aby řetěz přenášel pouze sílu ve směru jeho pohybu, jsou k rámu přivařené dva menší U profily, ve kterých je uložen unašeč, který přenesení složku síly tahající hrablo do profilů.



*Obrázek 20: Řetězka*

### UNAŠEČ:

Kvádr obrobený, aby kopíroval povrch U profilu, ve kterém se posuvně pohybuje. Vespod je navařena vidlice, do které se čepem upevní oko přivařené na táhlu. Nahoře je přivařen unašeč. V něm jsou díry na čep, přes který je spojen s řetězem.



*Obrázek 21: Unašeč řetězu*

### **VODÍCÍ DRÁHA:**

Vodící dráha je svařena z dvou ohnutých vodících U profilů. Je vybavena klapkami, které jsou napnuté přes zkrutné pružiny, aby se klapky otevřely musí být pružina přetlačena. Pružina je na jedné straně nasunuta do klapky a s ní nasazena na pant a pojištěna podložkou a závlačkou provlečenou pantem. Na druhé se opírá o přivařený kus pásovin.



*Obrázek 22: Vodící dráha pro rolny*



*Obrázek 23: Detail klapky*

## **HRABLO:**

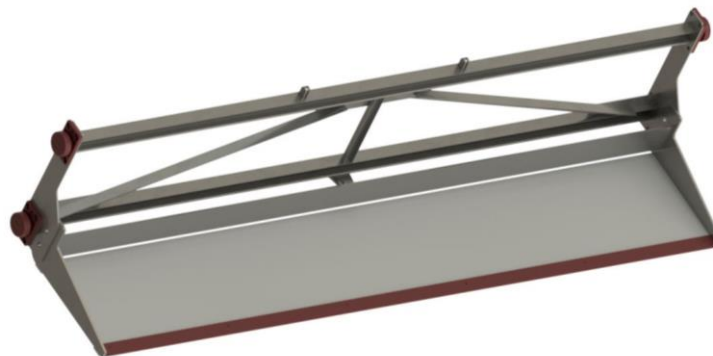
Zvolil jsem dva typy. Jeden se stírací lištou a druhý s hráběmi, přičemž rám s rolkami je u obou stejný. Rám hrabla je svařenec U profilů, L profilů a plechů, ke kterému jsou přidělané radioaxiální rolky. Hrábě/lišta jsou s rámem spojeny čepy na stranách a jedním čepem uprostřed. Obě tyto varianty mají své výhody a nevýhody.

Varianta se stírací lištou je nevýhodná v tom, že stírací lišta se tře o česle, tím dochází k abrazivnímu opotřebení stěrky. Z tohoto důvodu jsem konec lišty navrhnul vyměnitelný, aby se po opotřebení nemuselo vyměnit celé hrablo, ale pouze konec lišty. Další jeho nevýhodou je, že nezvládne vyčistit prostor mezi mřížemi česlí.

Varianta s hráběmi se o česle netře a je schopna vyčistit i mezery mezi mřížemi. Její nevýhodou je, že při nepřesné výrobě, nebo montáži by mohlo dojít k zadrhávání hrábí do česlí.



*Obrázek 24: Varianta hrábě*



*Obrázek 25: Varianta lišta*

## **TÁHLO:**

Svařenec ze čtvercových jeklů 30x30x3, přeplátovaných plechem a navařenými oky na čep. Spojuje unašeč s hrablem. Konstrukce je řešena tak, aby všechny jekly zůstaly otevřené. Táhlo je totiž vystaveno dvěma prostředím: vodě a vzduchu. Jejich rozdílné

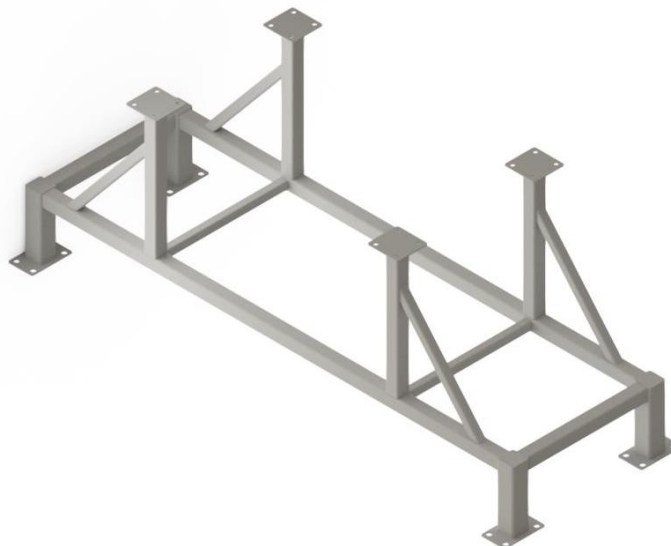
vlastnosti by mohly způsobit kondenzaci vody v uzavřeném profilu, což by mělo nežádáný vliv na korozi konstrukce.



*Obrázek 26: Táhlo spojující unašeč s hrablem*

**RÁM:**

Svařená jeklová konstrukce. Stojny rámu jsou z čtvercového jeklu 80x80x5, na nich přivařené patky slouží k upevnění rámu do země. Nosné jekly mají velikost 60x60x4 a ostatní vzpěry a zpevnění jsou z jeklu 40x40x4.

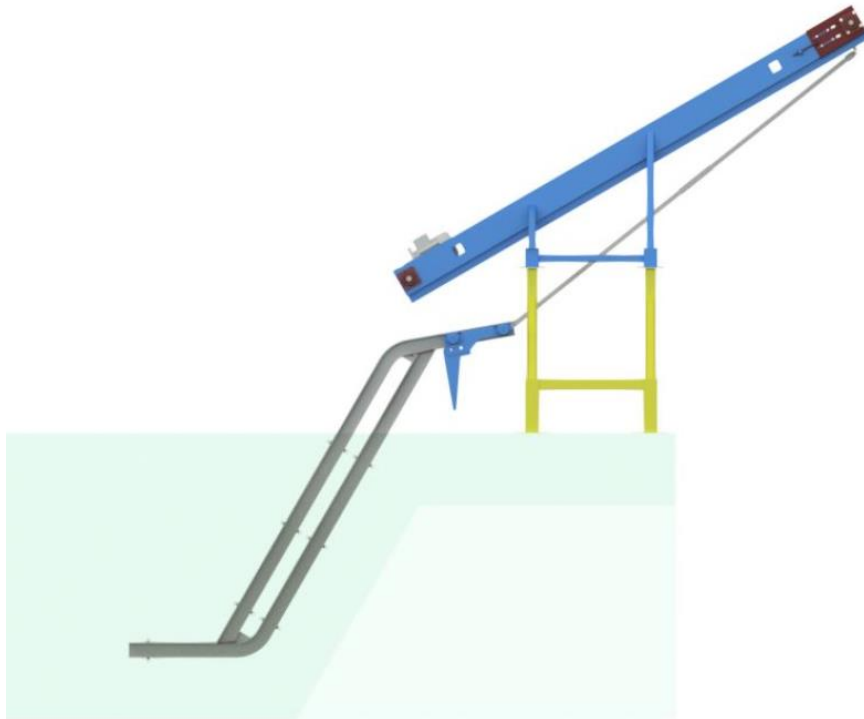


*Obrázek 27: Nosný rám řetězky*



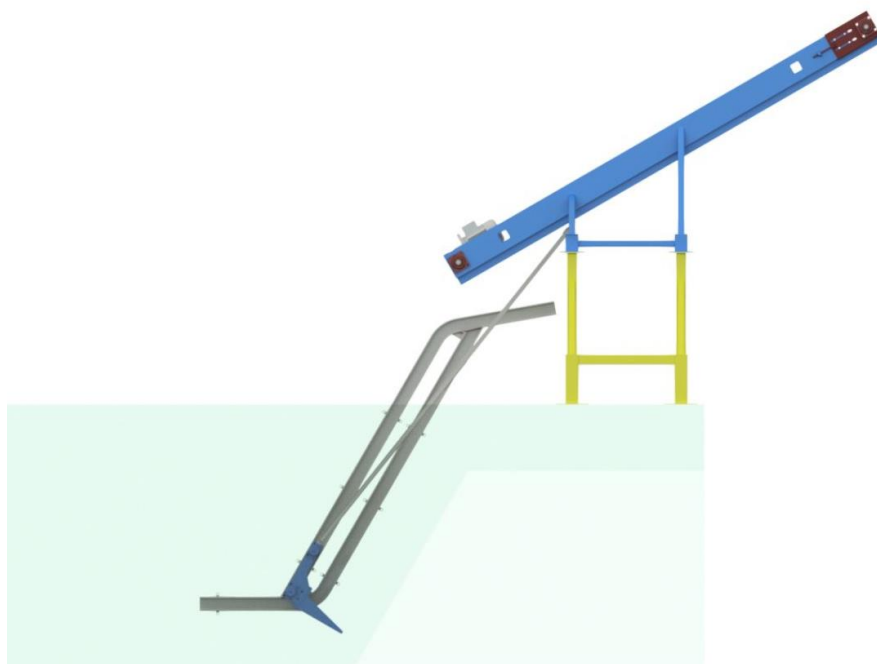
## 7.2. Kinematika

Hrablo je v horní úvrati, horní i dolní klapka zavřena. Koncový spínač sepne elektromotor a hrablo se začne pohybovat směrem dolů.



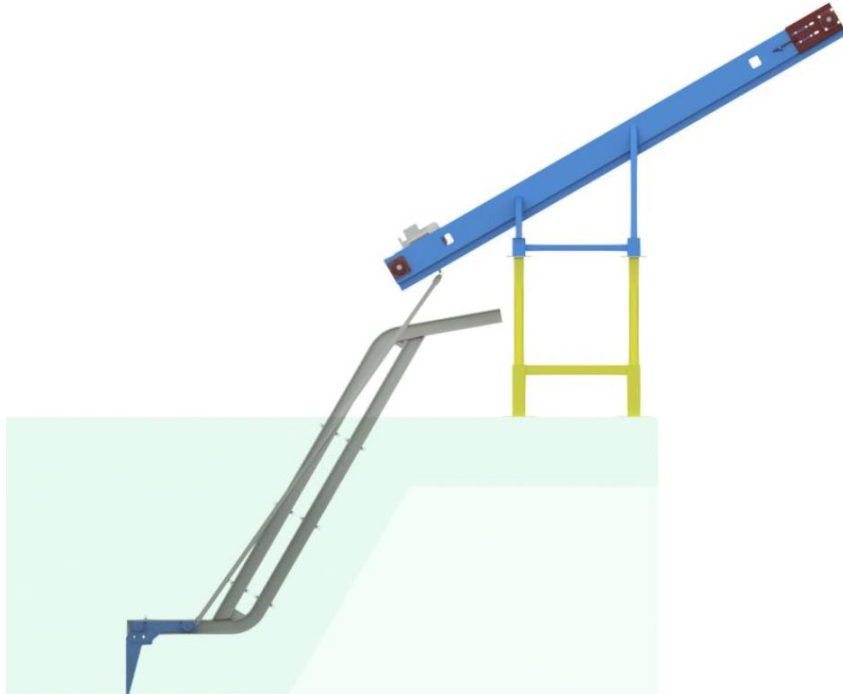
*Obrázek 28: Hrablo v horní úvrati*

Hrablo se pohybuje stále směrem dolů a přetlačí pružinku, která drží spodní klapku zavřenou.



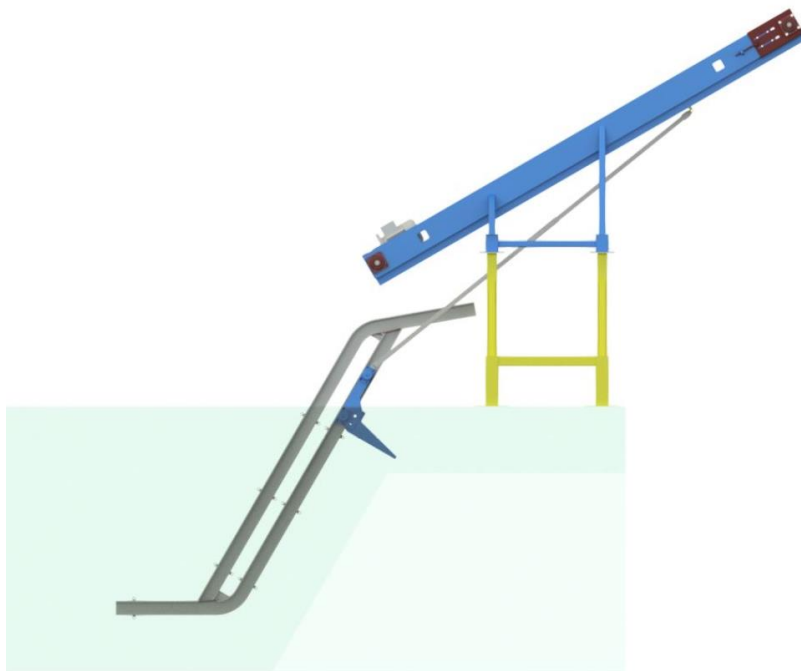
*Obrázek 29: Hrablo jede dolů*

Hrablo úplně přetlačí spodní klapku, která se zavře a pokračuje až do dolní úvratě. Koncový spínač se sepne, elektromotor se zastaví a začne se točit na druhou stranu a hrablo se začne pohybovat nahoru.



*Obrázek 30: Hrablo v dolní úvratí*

Hrablo stírá česle a pohybuje se směrem nahoru, přetlačí horní klapku a dostane se do horní úvratě. Cyklus se poté opakuje.



*Obrázek 31: Hrablo jede nahoru*

## 8. Montážní postup

Navrtáme díry do koryta po bocích a do podlahy. Do vyvrtaných děr umístíme kotvy do betonu s vnitřním závitem. Obě vodící dráhy usadíme do koryta.

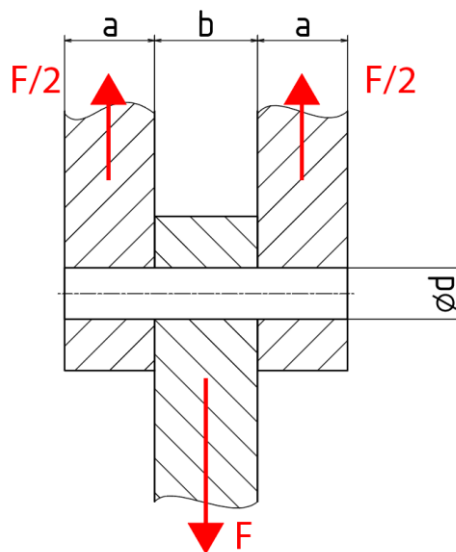
Na hřídele se uloží ozubená kola. Hnací hřídel nasuneme do rámu a přiděláme ložiskový domek, ve kterém je hřídel na jedné straně uložena. Hřídel axiálně zajistíme KM maticí a MB podložkou. Z druhé strany namontujeme motor se šnekovou převodovkou. Hřídel hnanou nasuneme do ložiskových domků s pojezdy na napínání. Pojezdy přiděláme k rámu a hřídel na jedné straně axiálně pojistíme KM maticí a MB podložkou. Nasuneme unašeč do vodících U-profilů. Nasadíme řetěz na ozubená kola a spojíme s unašečem. Celou tuto konstrukci přiděláme k podlaze.

Pomocí čepů spojíme hrablo s táhlem a hrablo nasuneme do vodící dráhy. Čepem spojíme táhlo s unašečem a na závěr napneme řetěz.

## 9. Pevnostní výpočty

### 9.1. Kontrola čepů

Pro méně složitou výrobu byly velikosti všech ok a vidlic zvoleny stejné, i když dolní čepy přenášejí pouze poloviční zatížení. Přesto, že se oko vyrábí dvounásobně široké, než je vidlice, aby tlak působící na jednotlivé části byl stejný, byla zvolena šířka částí stejná. Pro jednoduchost výroby (stačí pořídit jedna tloušťka plechu). Kontrola byla provedena pouze pro horní čep, jelikož na spodní čepy bude působit síla poloviční.



Obrázek 32: Čep

Tabulka 6: Zadané hodnoty pro kontrolu čepů

$a$ [mm]	$b$ [mm]	$d$ [mm]	$F_{CTAH}$ [N]	$Re$ [ $N \cdot mm^{-2}$ ]	$k$ [-]
5	5	10	939,33	355	4

**Kontrola na otláčení:** [18]

$$p_1 = \frac{F_{CTAH}}{2 \cdot d \cdot a} \leq \sigma_D = \frac{Re}{k} \quad (17)$$

$$\frac{939,33}{2 \cdot 10 \cdot 5} \leq \frac{355}{4} \rightarrow 9,39 \leq 88,75 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$p_2 = \frac{F_{CTAH}}{d \cdot b} \leq \sigma_D = \frac{Re}{k} \quad (18)$$

$$\frac{939,33}{10 \cdot 5} \leq \frac{355}{4} \rightarrow 18,79 \leq 88,75 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Kontrola na stříh: [18]**

$$\tau_S = \frac{2 \cdot F_{CTAH}}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_{SD} \approx 0,6 \cdot \sigma_D = 0,6 \cdot \frac{Re}{k} \quad (19)$$

$$\frac{2 \cdot 939,33}{\pi \cdot 10^2} \leq 0,6 \cdot \frac{355}{4} \rightarrow 5,98 \leq 53,25 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 9.2. Kontrola hřídelů [19]

### 9.2.1. Hnací hřídel

Na obrázku 33 jsou zeleně vyznačeny kritická místa na hřídeli (nejmenší průměry), ve kterých budou provedeny kontrolní výpočty. V místě označeném číslem 1 bude hřídel kontrolována na krut a v místě 2 na kombinaci ohybu s krutem.

*Tabulka 7: Zadané hodnoty pro kontrolu hnací hřídele*

$a_1$ [mm]	$b_1$ [mm]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$r_w$ [mm]	$F_{CTAH}$ [N]	$Re$ [N · mm <sup>-2</sup> ]	$k$ [-]
276,2	148,4	19,9	25,9	45,56	939,33	355	3

**Místo 1:**

$$M_K = F_{CTAH} \cdot r_w = 939,33 \cdot 45,56 = 42\,795,87 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\tau_k = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_K}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{16}} \leq \tau_{kD} \approx 0,6 \cdot \sigma_D = 0,6 \cdot \frac{Re}{k} \quad (20)$$

$$\tau_k = \frac{42\,795,87}{\frac{\pi \cdot 19,9^3}{16}} \leq 0,6 \cdot \frac{355}{3} \rightarrow 27,66 \leq 71 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Místo 2:**

$$a_1 \cdot F_{CTAH} - (a_1 + b_1) \cdot R_B = 0 \rightarrow R_B = \frac{a_1 \cdot F_{CTAH}}{(a_1 + b_1)} \quad (21)$$

$$a_1 \cdot F_{CTAH} - (a_1 + b_1) \cdot R_B = 0 \rightarrow R_B = \frac{a_1 \cdot F_{CTAH}}{(a_1 + b_1)}$$

$$R_B = \frac{276,2 \cdot 939,33}{(276,2 + 148,4)} = 611,03 \text{ N}$$

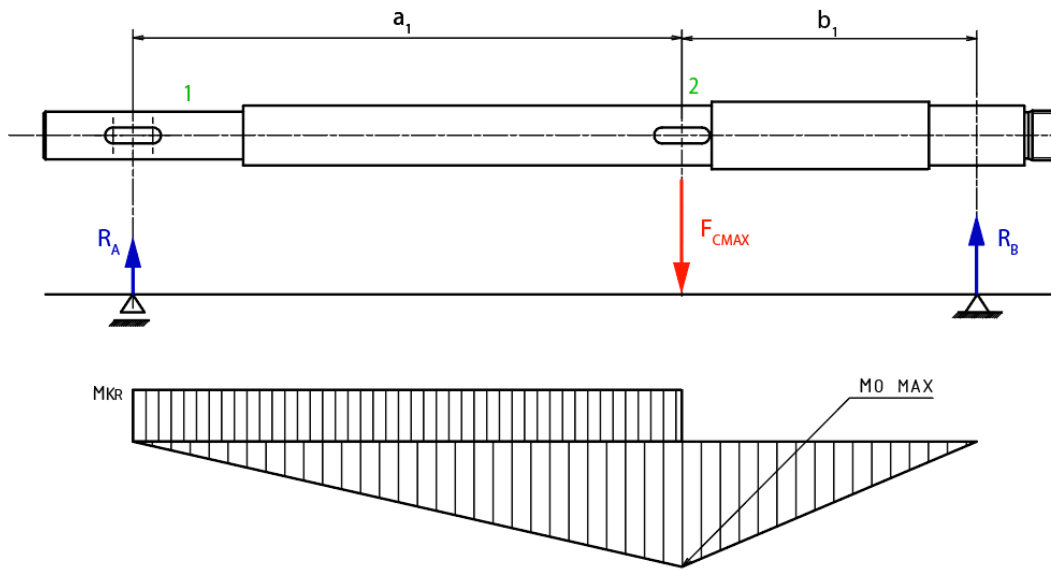
$$M_O = -b_1 \cdot R_B = -148,4 \cdot 611,03 = 90\,676 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Red} = \sqrt{M_O^2 + \left(\frac{\alpha_{HMH} \cdot M_K}{2}\right)^2} \quad (22)$$

$$M_{Red} = \sqrt{90\,676^2 + \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 42\,795,87}{2}\right)^2} = 37\,062,42 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{Red} = \frac{M_{Red}}{W_o} = \frac{M_{Red}}{\frac{\pi \cdot d_2^3}{32}} \leq \sigma_D \approx 0,6 \cdot \sigma_D = 0,6 \cdot \frac{Re}{k} \quad (23)$$

$$\sigma_{Red} = \frac{37\,062,42}{\frac{\pi \cdot 25,9^3}{32}} \leq 0,6 \cdot \frac{355}{3} \rightarrow 21,73 \leq 71 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 33: Hnací hřídel

### 9.2.2. Hnaná hřídel

Hřídel je namáhána pouze ohybem

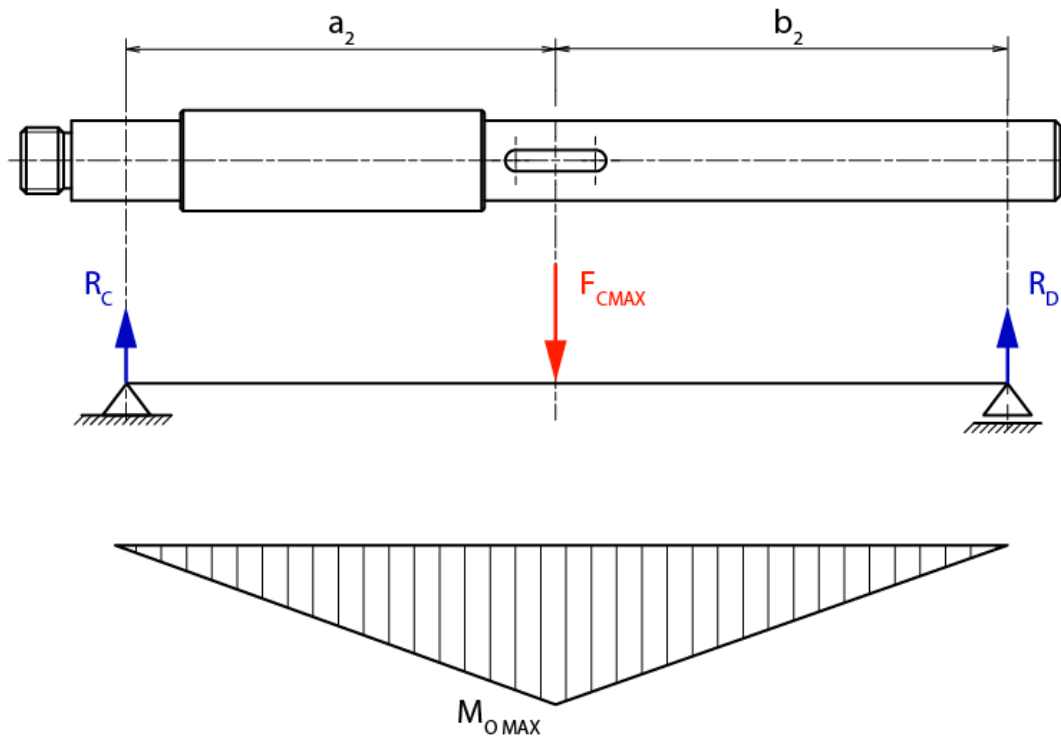
Tabulka 8: Zadané hodnoty pro kontrolu hnané hřídele

$a_2[\text{mm}]$	$b_2[\text{mm}]$	$d_3[\text{mm}]$	$F_{CTAH} [N]$	$Re[N \cdot \text{mm}^{-2}]$	$k[-]$
166	166	25,9	939,33	355	3

Ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F_{CTAH} \cdot a_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{32}} \leq \sigma_D \approx 0,6 \cdot \sigma_D = 0,6 \cdot \frac{Re}{k} \quad (24)$$

$$\sigma_{Red} = \frac{939,33 \cdot 166}{\frac{\pi \cdot 25,9^3}{32}} \leq 0,6 \cdot \frac{355}{3} \rightarrow 45,7 \leq 71 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 34: Hnaná hřídel

### 9.3. Kontrola per [18]

#### 9.3.1. Pero mezi hnací hřídelí a převodovkou

Bylo zvoleno pero 8 e7 x 7 x 28 ČSN 02 2562.

Tabulka 9: Zadané hodnoty pro kontrolu per

$t_1$ [mm]	$b_p$ [mm]	$l$ [mm]	$d_h$ [mm]	$r_w$ [mm]	$F_{CTAH}$ [N]	$Re$ [ $N \cdot mm^{-2}$ ]	$k$ [–]
2,9	8	20	30	45,56	939,33	355	4

Kontrola na stříh:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{M_K}{\frac{d_h}{2} \cdot S} = \frac{F_{CTAH} \cdot r_w}{\frac{d_h}{2} \cdot b_p \cdot l} \leq \tau_{DS} \approx 0,6 \cdot \sigma_D = 0,6 \cdot \frac{Re}{k} \quad (25)$$

$$\tau_s = \frac{939,33 \cdot 45,56}{\frac{30}{2} \cdot 8 \cdot 20} \leq 0,6 \cdot \frac{355}{4} \rightarrow 17,83 \leq 53,25 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Kontrola na otlačení:**

$$p = \frac{F_{CTAH}}{t_1 \cdot l} \leq p_D = \frac{Re}{k} \quad (26)$$

$$p = \frac{939,33}{2,9 \cdot 20} \leq \frac{355}{4} \rightarrow 16,20 \leq 88,75 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 9.3.2. Pera mezi hřídelí a řetězovým kolem

Byla zvolena dvě pera 8 e7 x 7 x 18 ČSN 02 2562. Jelikož jsou pera dvě, tak počítaná napětí jsou poloviční oproti napětím u pera přenášejícího točivý moment mezi hřídelí a převodovkou. Funkční délka per je ale také poloviční ( $l = 10 \text{ mm}$ ). Z toho vyplývá, že napětí budou mít stejnou hodnotu jako v kapitole 9.3.1. a není potřeba dělat kontrolu znovu.

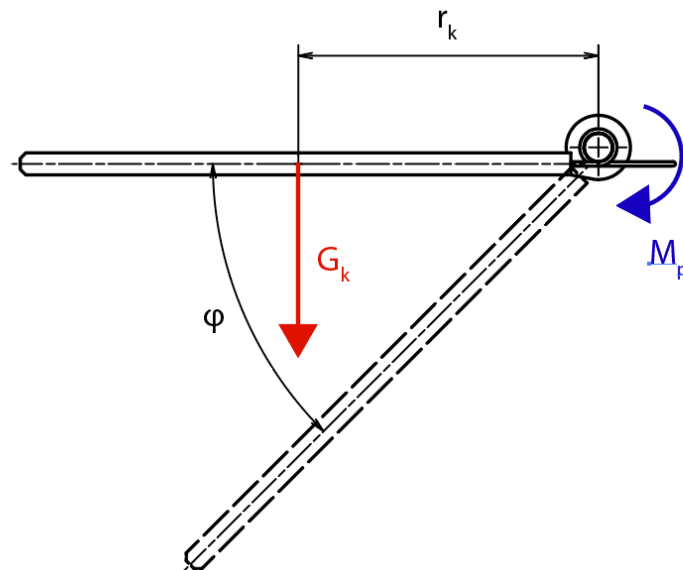
### 9.4. Kontrola pružin [19]

Je nutné, aby se pružina po přetlačení hrablem vrátila do své počáteční polohy, proto je potřeba navrhnout pružinu s dostatečnou torzní tuhostí. Na obrázku 35 jsou uvedeny síly působící na pružinu. Ještě by měla být uvedena odporová síla způsobena obtékáním vodou. Klapka je ale umístěna ve vodícím profilu a v tomto konkrétním stavu je před ní hrablo, takže obtékání nelze jednoduše popsat.

*Tabulka 10: Zadané hodnoty pro kontrolu pružin*

$r_k [\text{mm}]$	$G_k [\text{N}]$	$k_p [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-2}]$	$\varphi [^\circ]$
54,5	0,79	0,093	45





Obrázek 35: Síly působící na zkrutnou pružinu

$$G_k \cdot r_k < M_p \rightarrow G_k \cdot r_k < k_p \cdot \varphi \rightarrow k_p > \frac{G_k \cdot r_k}{\varphi} \quad (27)$$

$$0,093 > \frac{0,79 \cdot 0,0545}{0,785} \rightarrow 0,093 > 0,055 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 10. Ekonomické zhodnocení

I přes to, že byla kladena snaha použít co nejvíce normalizovaných a kupovaných součástí, bude tato konstrukce o něco dražší než typické lanové a řetězové čističe. Bude potřeba vyrobit celý unašeč, klapky, hrablo, a také zohýbat vodící profily. Konstrukce by však měla vyžadovat menší náklady na údržbu, a to proto, že většina mechanických částí není trvale ponořena pod vodu. Oproti hydraulickým čističům, bude konstrukce levnější.

## 11. Závěr

Podle zadaných parametrů byla navržena konstrukce automatického čističe česlí. Konstrukce splňuje všechny zadané parametry.

Po rešerši vyšel najevo, jako nejvhodnější typ řetězový čistič. Při návrhu byla kladena snaha na to eliminovat nevýhody řetězového čističe a zároveň navrhnout takový čistič, který bude podobně spolehlivý. Po různých možnostech řešení byl zvolen mechanismus s řetězovým pohonem, kde se řetěz nepohybuje v nekonečné smyčce, ale pouze z jedné krajní polohy do druhé. Hrablo není přiděláno přímo na řetěz, je jím pouze poháněno přes unašeč a táhlo. Hrablo se pohybuje ve své vlastní dráze.

Lze vidět, že tato konstrukce se podstatně liší od typického řetězového čističe. Při rešerši nebyl nalezen žádný čistič podobný této konstrukci. Většina česlí je vybavena standardními typy čističů, pouze s menšími modifikacemi. Z tohoto důvodu bylo nutné udělat několik návrhových výpočtů, které by měli zaručit funkčnost stroje.

V rámci výpočtové části bakalářské práce byla vypočtena maximální síla působící na řetěz, síla potřebná k vytažení hrabla a normálová síla působící na rolny. Tyto výpočty byly dále použity pro návrh motoru, převodovky, řetězu, řetězových kol a radioaxiálních rolen. Pro zaručenou funkci a chod stroje bylo zároveň nutné pevnostně zkontrolovat čepy, pera, hřídele a pružiny. Všechny kontrolní výpočty vyhovují.

Pro demonstraci kinematiky stroje byla vytvořena animace, přiložená k práci. Celá práce je podložena 3D modelem a výkresovou dokumentací v přílohách.

## Seznam zkratek

Veličina	Jednotka	Význam
$F_O$	$[N]$	Odporová síla
$F_y$	$[N]$	Síla ve směru osy y
$F_x$	$[N]$	Síla ve směru osy x
$v_o^2$	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost obtékání
$S$	$[m^2]$	Obsah obtékané části
$\alpha_o$	$[^\circ]$	Úhel náběhu obtékané desky
$c_n$	$[-]$	Součinitel odporu pro obtékání šikmé desky
$c_{n60}$	$[-]$	Součinitel odporu pro obtékání šikmé desky pod úhlem $60^\circ$
$c_{n30}$	$[-]$	Součinitel odporu pro obtékání šikmé desky pod úhlem $30^\circ$
$F_{Ox}$	$[N]$	Odporová síla ve směru osy x
$F_{Oy}$	$[N]$	Odporová síla ve směru osy y
$M_{KL}$	$[N \cdot m]$	Klopný moment
$F_{VZ}$	$[N]$	Vztlaková síla
$V$	$[m^3]$	Objem hrabla
$\rho$	$[kg/m^3]$	Hustota vody
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
$G$	$[N]$	Tíhová síla hrabla
$G_{odpad}$	$[N]$	Tíha shrabovaných odpadků
$F_{TAH}$	$[N]$	Síla potřebná na vytažení hrabla
$N_1$	$[N]$	Normálová reakce na horní rolny
$N_2$	$[N]$	Normálová reakce na spodní rolny
$\alpha$	$[^\circ]$	Úhel mezi táhlem a hrablem
$F_T$	$[N]$	Třecí síla
$f$	$[-]$	Součinitel tření
$G_U$	$[N]$	Tíha táhla a unašeče
$F_{CTAH}$	$[N]$	Maximální síla působící na řetěz
$P$	$[W]$	Výkon motoru
$v$	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost řetězu
$k$	$[-]$	Bezpečnost



$d_f$	[mm]	Průměr řetězového kola
$n$	[ot/min]	Otáčky hřídele
$p_1$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Tlak na vidlici
$a$	[mm]	Tloušťka vidlice
$b$	[mm]	Tloušťka oka
$d$	[mm]	Průměr čepu
$p_2$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Tlak na oko
$\sigma_D$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Dovolené napětí
$Re$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Mez kluzu
$\tau_S$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Smykové napětí
$\tau_{SD}$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Dovolené smykové napětí
$\tau_k$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Smykové napětí v krutu
$a_1$	[mm]	Vzdálenost reakce A od síly
$b_1$	[mm]	Vzdálenost reakce B od síly
$d_1$	[mm]	Průměr hřídele v místě 1
$d_2$	[mm]	Průměr hřídele v místě 2
$M_K$	[N · m]	Kroutící moment
$W_K$	[mm <sup>3</sup> ]	Modul průřezu v krutu
$r_w$	[mm]	Roztečný průměr
$M_{Red}$	[N · m]	Redukovaný moment
$M_O$	[N · m]	Ohybový moment
$\alpha_{HMH}$	[-]	Součinitel pro kombinované namáhání podle teorie HMM
$\sigma_{Red}$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Redukované napětí
$W_o$	[mm <sup>3</sup> ]	Modul průřezu v ohybu
$\sigma_O$	[N · mm <sup>-2</sup> ]	Napětí v ohybu
$a_2$	[mm]	Vzdálenost reakce C od síly
$b_2$	[mm]	Vzdálenost reakce D od síly
$d_3$	[mm]	Průměr hřídele v místě největšího ohybového momentu
$t_1$	[mm]	Hloubka drážky v náboji
$b_p$	[mm]	Šířka pera



$l$	$[mm]$	Funkční délka pera
$d_h$	$[mm]$	Průměr hřídele
$r_k$	$[mm]$	Rameno, na kterém působí tíhová síla
$G_k$	$[N]$	Tíha klapky
$k_p$	$[N \cdot m \cdot rad^{-2}]$	Torzni tuhost pružiny
$\varphi$	$[^\circ]$	Úhel zkroucení

## Seznam zdrojů

- [1] TRASHRACK CLEANING: THE PAST – THE PRESENT – THE FUTURE [online]. , 1-16 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.radhuber.com/pdfs/reinigung.pdf>
- [2] Trashrack cleaning the German way. In: *International Water Power* [online]. UK: Progressive Trade Media, 10 March 1998 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.waterpowermagazine.com/features/featuretrashrack-cleaning-the-german-way/>
- [3] O3\_big. In: *CINK Hydro-Energy | Supplier of small hydro power equipment* [online]. CINK Hydro – Energy, 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.cink-hydro-energy.com/cs/cistici-stroje-cesli/>
- [4] Degrilleur-hydraulique-fixe-hydroelectrique.jpg. In: *MA Industrie, Constructeur d'équipements spécialisés de production et de manutention, intégrateur de robots - Lorraine Alsace - MA Industrie - Machines spéciales, intégration de robots, sous-traitance mécanique, centrales hydroélectriques - Lorraine, Alsace, Vosges* [online]. MA Industrie, 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.maindustrie.fr/en/hydroelectric-power-plants/trash-racks-and-trash-rack-cleaners>
- [5] Telescopic Rake | API Spa. *Sewage and Rakers for WasteWater | API S.p.a.* [online]. IT: API, 2018 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.apispa.net/eng/prodotti/trash-rack-cleaners/api-telescopic-trashrake>
- [6] Gallery\_Classico\_660x900\_6. In: *Sewage and Rakers for WasteWater | API S.p.a.* [online]. IT: API, 2018 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.apispa.net/eng/prodotti/trash-rack-cleaners/api-trashrake#gallery-6>
- [7] Gallery\_Telescopic\_660x600\_7. In: *Sewage and Rakers for WasteWater | API S.p.a.* [online]. IT: API, 2018 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.apispa.net/eng/prodotti/trash-rack-cleaners/api-telescopic-trashrake#gallery-7>
- [8] Dipl.-Ing. Wolfgang Radhuber. *TRASHRACK CLEANERS TYPES - EXPERIENCES* [online]. 2006, , 1-11 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.radhuber.com/pdfs/machines.pdf>
- [9] Catenary Trash Rack Cleaner. *Sewage and Rakers for WasteWater | API S.p.a.* [online]. IT: API, 2018 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.apispa.net/eng/prodotti/trash-rack-cleaners/api-roto-trashrakes>
- [10] 0001-35. In: *Hydrohrom s.r.o.* [online]. Hydrohrom, 2020, 02.2017 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://hydrohrom.cz/cesle-cistici-stroje-cesli/>
- [11] Csm\_skizze\_rakemax\_01\_2ca8f85755. In: *HUBER SE - HUBER SE* [online]. HUBER SE, 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.huber.de/products/storm-sewer-equipment/pumping-station-screens/huber-multi-rake-bar-screen-rakemaxr.html>
- [12] Rrm\_kohl02. In: *Radhuber Consulting - Spezialkonstruktionen, Stahlwasserbau, Sachverständiger* [online]. DO 4 YOU, 2012 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://www.radhuber.com/images/>
- [13] JANALÍK, Jaroslav. *Obtékání a odpor těles*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN ISBN978-80-248-1911-2.



- [14] BUDINSKÁ, Zuzana, Petr DUCHÁČEK, Zdeněk KOHOUT a Miroslav JÍLEK. *Fyzika I*. V Praze: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06673-7.Dd
- [15] ANOG000101. In: *Eshop s komponenty pro stavbu strojů - Haberkorn* [online]. Haberkorn, 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/valeckovy-retez-standardni-1-rady-din-8187.html>
- [16] BDPG000101. In: *Eshop s komponenty pro stavbu strojů - Haberkorn* [online]. Haberkorn, 2020 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/retezove-kolo-system-bea-3-8-x-7-32-retezove-kolo-system-bea-3-8-x-7-32-1-78.html>
- [17] WINKEL GmbH | *Produktkatalog 2018* [online]. 2018, , 30 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: [http://www.birlikrulman.com/Assets/Documents/\\_2018\\_Katalog\(BRG\)\\_20190823\\_142157.pdf](http://www.birlikrulman.com/Assets/Documents/_2018_Katalog(BRG)_20190823_142157.pdf)
- [18] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů /: spoje a části spojovací*. Vyd. 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04138-3.
- [19] PUCHMAJER, Pavel. *Pružnost a pevnost*. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02059-2.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Jednoramenný hydraulický čistič [3].....	8
Obrázek 2: Dvouramenný hydraulický čistič [4].....	8
Obrázek 3: Stacionární teleskopický hydraulický čistič [6] .....	9
Obrázek 4: Nestacionární teleskopický hydraulický čistič [7] .....	10
Obrázek 5: Jednoduché řešení řetězového čističe [10] .....	11
Obrázek 6: Princip řetězového čističe [11] .....	11
Obrázek 7: Lanový čistič [12] .....	12
Obrázek 8: Rozměry koryta .....	13
Obrázek 9: Návrhová skica .....	14
Obrázek 10: Obtékání šikmé desky [13] .....	15
Obrázek 11: Označení jednotlivých obtékaných částí .....	16
Obrázek 12: Rozklad sil na tělese 1 .....	17
Obrázek 13: Účinky odporových a vztlakových sil na celé těleso .....	19
Obrázek 14: Uvolnění hrabla .....	21
Obrázek 15: Uvolnění unašeče .....	22
Obrázek 16: Rozměry řetězu [15].....	25
Obrázek 17: Rozměry řetězového kola [16].....	26
Obrázek 18: Rozměry rolny [17].....	27
Obrázek 19: Celková sestava .....	28
Obrázek 20: Řetězka .....	29
Obrázek 21: Unašeč řetězu .....	30
Obrázek 22: Vodící dráha pro rolny .....	30
Obrázek 23: Detail klapky .....	30
Obrázek 24: Varianta hrábě .....	31
Obrázek 25: Varianta lišta .....	31
Obrázek 26: Táhlo spojující unašeč s hrablem .....	32
Obrázek 27: Nosný rám řetězky .....	32
Obrázek 28: Hrablo v horní úvrati .....	33
Obrázek 29: Hrablo jede dolů .....	33
Obrázek 30: Hrablo v dolní úvrati.....	34
Obrázek 31: Hrablo jede nahoru .....	34
Obrázek 32: Čep .....	36
Obrázek 33: Hnací hřídel.....	38
Obrázek 34: Hnaná hřídel .....	39
Obrázek 35: Síly působící na zkrutnou pružinu .....	41





## Seznam tabulek

Tabulka 1: Popis pozic na obrázku 9.....	14
Tabulka 2: Vypočtené hodnoty sil působících na tělesa 2-6.....	18
Tabulka 3: Vypočtené hodnoty momentů .....	20
Tabulka 4: Známé hodnoty pro výpočet síly k vytažení samotného hrabla .....	21
Tabulka 5: Zadané parametry pro výpočet pohonu .....	26
Tabulka 6: Zadané hodnoty pro kontrolu čepů.....	36
Tabulka 7: Zadané hodnoty pro kontrolu hnací hřídele .....	37
Tabulka 8: Zadané hodnoty pro kontrolu hnané hřídele.....	38
Tabulka 9: Zadané hodnoty pro kontrolu per .....	39
Tabulka 10: Zadané hodnoty pro kontrolu pružin .....	40

## Seznam příloh

- Příloha 1: Výkres sestavy čistícího stroje a kusovník
- Příloha 2: 3D model čistícího stroje
- Příloha 3: Animace pohybu hrabla v dráze