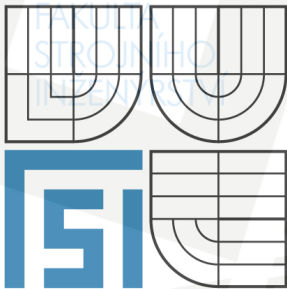


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MECHANICKÉ SHRABOVACÍ ČESLE

MECHANICAL RAKE SCREEN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN ŽEMLIČKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Žemlička

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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 diplomové práce:

Mechanické shrabovací česle

v anglickém jazyce:

Mechanical rake screen

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte konstrukci mechanických česlí pro čističku odpadních vod dle projektových podkladů a zadaných parametrů.

Proveďte výběr nejméně vhodného zatěžujícího stavu tohoto zařízení včetně kontroly napjatosti konstrukcí.

Zadané parametry:

šířka kanálu	860mm
hloubka kanálu	1750mm
výsypná výška	700mm
průlina	6mm
sklon česlí	75°

Cíle diplomové práce:

Posouzení optimálního návrhu konstrukce vzhledem k provozním podmínkám a zatížení.

Provedení mechanického a pevnostního výpočtu.

Zhotovení výkresu sestavy zařízení a důležitých detailních výkresů.

Seznam odborné literatury:

1. Gere J.M. and Timoshenko: Mechanics of materials. Chapman and Hall. Third SI Edition, 1989, ISBN 55-503-79.
2. Maláček, J.: Stroje pro výrobu stavebních materiálů a stavebních dílců, Brno, 2005.
3. Medek, J.: Mechanické pochody PC DIR s.r.o., Brno 2000
4. Polický, Z.: Úpravářské stroje, ES VUT Brno, 1987
5. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004
6. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Maláček, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 21.10.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne:

.....
Martin Žemlička



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Poděkování

Za cenné připomínky a rady při zpracování diplomové práce tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. Dále chci poděkovat svým rodičům za podporu při studiu na vysoké škole.

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce hřablových mechanických shrabovacích česlí a skládá se z několika hlavních částí. První část diplomové práce zpracovává přehled současné nabídky strojně stíraných česlí. V druhé části jsou řešeny základní parametry a výpočty pro návrh konstrukce mechanických česlí. Ve třetí je proveden rozbor konstrukce s pomocí modeláře SolidWorks a je vysvětlena funkce jednotlivých částí česlí. Poslední část diplomové práce je zaměřena na pevnostní kontrolu klasickými výpočtovými metodami a také Metodou konečných prvků (MKP) s použitím programu I-DEAS.

Klíčová slova: mechanické předčištění, mechanické shrabovací česle, shrabky, hřablo

Annotation

This diploma thesis deals with construction concept of mechanical rake screen and consists of several main sections. The first section of the diploma thesis covers an overview of the current supply of mechanically scraping rack. In the second section, basic parameters and calculations are solved for the mechanical rack construction concept. In the third one however, analysis of the construction is realized with SolidWorks modeller and the functions of particular parts of the rack is explained. The last section of the diploma thesis focuses on stress control using classic calculation methods and Finite Element Methods (FEM) using a program called I-DEAS.

Key words: wastewater pretreatment, mechanical rack, rackings, rake

Bibliografická citace:

ŽEMLIČKA, M. *Mechanické shrabovací česle*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 71 s.

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Obsah

Zadání

Prohlášení

Poděkování

Anotace

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Obsah	6
Seznam použité symboliky	9
1 Úvod	12
2 Funkce strojně stíraných česlí	14
3 Přehled některých druhů strojně stíraných česlí	15
3.1 Hrablové mechanické shrabovací česle	16
3.2 Strojně stírané česle řetězové	17
3.3 Hydraulicky stírané česle	17
3.3.1 Výsuvné hydraulické shrabovací zařízení	18
3.3.2 Hydraulické shrabovací zařízení RnR	19
3.4 Bubnové česle.....	20
3.4.1 Rotační bubnové česle	20
3.4.2 Bubnové česle s drtičem.....	21
3.5 Samočisticí česle.....	22
3.5.1 Samočisticí česle MEVA – Rotoscreen	22
3.5.2 Samočisticí česle MEVA – Monoscreen.....	23
3.6 Strojní česle hrubé.....	24
3.7 Strojní česle hrubé spodem stírané.....	25
4 Základní technické parametry a výpočty	26
4.1 Hydraulický poměr.....	26
4.2 Rychlostní součinitel podle Manninga	26
4.3 Rychlost proudění podle Chézyho	27
4.4 Objemový průtok	27
4.5 Ztráta tlakové výšky hladiny	28
4.5.1 Ztráta tlakové výšky hladiny dle Kirschnera	28
4.5.2 Volba tvaru česlic.....	29
5 Určení a výpočet zatížení česlí	30

5.1	Výpočet zatížení česlice vodou podle změny hybnosti – šikmá deska	30
5.2	Výpočet hmotnosti shrabků jednoho cyklu	31
5.2.1	Výpočet vyhrabovaného objemu	31
5.2.2	Hmotnost shrabků	31
5.3	Síla působící na hrablo	32
5.3.1	Síla zdvihání shrabků	32
5.3.2	Síla zdvihání samotného hrabla	33
5.3.3	Celková síla potřebná k vyhrabování	34
6	Volba pohonu a řízení pojezdu	34
6.1	Volba otáček hřídele	35
6.2	Určení skutečné rychlosti vyhrabování	36
6.3	Výpočet času vyhrabování jednoho cyklu	36
6.4	Výstupní krouticí moment elektromotoru	37
6.4.1	Síla potřebná ke zvednutí samotného vozíku	37
6.4.2	Výpočet krouticího momentu	37
6.5	Volba elektromotoru	38
6.6	Ochrana a řízení elektromotoru	39
7	Rozbor konstrukce česlí	39
7.1	Rám česlí	41
7.1.1	Svarek rámu	41
7.1.2	Sestava rámu	43
7.2	Hrablový vozík	44
7.2.1	Rám vozíku	45
7.2.2	Páka hrabla	46
7.2.3	Kolo vozíku	47
7.2.4	Hrablo	48
7.2.5	Plovák	49
8	Pevnostní kontrola	50
8.1	Kontrola hřídele	50
8.1.1	Výpočet zatížení hřídele	51
8.1.2	Pevnostní kontrola navrženého hřídele	55
8.2	Kontrola hrabla Metodou konečných prvků	60
8.2.1	Výpočet tlaku působícího na lopatku hrabla	60

8.2.2	Výsledky pro zatížení při vyhrabování	60
8.2.3	Výsledky pro zatížení při zaseknutí hrabla.....	63
9	Zpracování shrabků	65
10	Závěr	66
10.1	Úvodní kapitola	66
10.2	Funkce strojně stíraných česlí	66
10.3	Přehled některých druhů strojně stíraných česlí.....	66
10.4	Základní technické parametry a výpočty	66
10.5	Určení a výpočet zatížení česlí	67
10.6	Volba pohonu a řízení pojezdu.....	67
10.7	Rozbor konstrukce česlí	67
10.8	Pevnostní kontrola.....	67
10.9	Zpracování shrabků	68
11	Literatura.....	69
	Seznam obrázků	70
	Seznam příloh.....	71

Seznam použité symboliky

a	$[-]$	faktor obrábění povrchu
B	$[mm]$	šířka kanálu
B_v	$[m]$	šířka vyhrabovaného objemu
b	$[-]$	exponent obrábění povrchu
b_p	$[mm]$	průlina – minimální velikost zachytávaných nečistot
C	$[m^{0,5}.s^{-1}]$	rychlostní součinitel podle Manninga
d_c	$[m]$	šířka česlice
d_h	$[mm]$	průměr hřídele
d_k	$[m]$	roztečný průměr kola
F_1	$[N]$	síla ke zdvižení shrabků
F_2	$[N]$	síla ke zdvižení hrabla
F_c	$[N]$	celková síla potřebná k vyhrabování
F_{ξ}	$[N]$	síla vody působící na česlice
$F_{\xi 1}$	$[N]$	síla vody působící na jednu česlici
F_h	$[N]$	síla působící na hřídel od uchycení hrabla
F_{hy}	$[N]$	síla působící na hřídel od uchycení hrabla v ose y
F_{hz}	$[N]$	síla působící na hřídel od uchycení hrabla v ose z
F_{mz}	$[N]$	síla působící na hřídel od hmotnosti motoru
F_{pz}	$[N]$	síla působící na hřídel od hmotnosti rámu vozíku
F_{Ry1}	$[N]$	síla působící na hřídel od uložení kola 1 v ose y
F_{Ry2}	$[N]$	síla působící na hřídel od uložení kola 2 v ose y
F_{Rz1}	$[N]$	síla působící na hřídel od uložení kola 1 v ose z
F_{Rz2}	$[N]$	síla působící na hřídel od uložení kola 2 v ose z
F_v	$[N]$	síla ke zvednutí vozíku
f_d	$[-]$	součinitel tření ocel-dřevo
f_o	$[-]$	součinitel tření ocel-ocel
g	$[m.s^{-2}]$	gravitační zrychlení
H	$[mm]$	hloubka vody v kanálu
H_k	$[mm]$	hloubka kanálu
H_v	$[m]$	hloubka vyhrabovaného objemu
i_e	$[\%o]$	sklon dna kanálu
k_1	$[-]$	bezpečnost vůči meznímu stavu 1
k_2	$[-]$	bezpečnost vůči meznímu stavu
k_a	$[-]$	součinitel povrchu
k_b	$[-]$	součinitel velikosti
k_c	$[-]$	součinitel zatížení
k_d	$[-]$	součinitel teploty

k_e	[-]	součinitel spolehlivosti
k_f	[-]	součinitel dalších vlivů
k_l	[-]	součinitel bezpečnosti
L_1	[mm]	vzdálenost kola a uložení hřídele
L_2	[mm]	vzdálenost kola uložení hřídele a uložení hrabla
L_3	[mm]	rozteč uložení hrabla
M_k	[Nm]	potřebný krouticí moment
M_{oA}	[Nmm]	ohybový moment v místě A
M_{ox}	[Nmm]	krouticí moment působící v místě A v ose x
M_{oyA}	[Nmm]	moment působící v místě A v provincě xz
M_{ozA}	[Nmm]	moment působící v místě A v provincě xy
m_h	[kg]	hmotnost hrabla
m_k	[kg]	hmotnost kola
m_m	[kg]	hmotnost motoru
m_s	[kg]	hmotnost shrabků z jednoho cyklu
m_v	[kg]	hmotnost shrabovacího vozíku
n_b	[-]	součinitel drsnosti betonového žlabu
n_G	[-]	součinitel bezpečnosti podle Goodmana
n_h	[s ⁻¹]	otáčky hřídele
n_m	[s ⁻¹]	otáčky výstupu převodovky
p_L	[MPa]	tlak působící na lopatku hrabla
Q	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok
R	[m]	hydraulický poměr
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
S_L	[mm]	funkční plocha lopatky hrabla
s_h	[m]	dráha vyhrabování
t_v	[s]	čas k vykonání jednoho cyklu vyhrabování
V_s	[m ³]	objem vyhrabovaných shrabků
v_c	[m.s ⁻¹]	rychlost proudění podle Chézyho
v_h	[m.s ⁻¹]	rychlost pojezdu vozíku
v_s	[m.s ⁻¹]	skutečná rychlost vyhrabování - pojezdu vozíku
α	[°]	sklon česlí
β	[-]	tvarový součinitel česlice
β_p	[-]	součinitel pro drážku pro pero - ohyb
β_τ	[-]	součinitel pro drážku pro pero – krut
Δh	[m]	ztrátová výška hladiny
π	[-]	Ludolfovo číslo
ρ_s	[kg.m ⁻³]	hustota shrabků

ρ_v	[kg.m ⁻³]	hustota vody
σ_a	[MPa]	amplituda napětí ohybového momentu
σ_c'	[MPa]	mez únavy reálné součásti
σ_{co}	[MPa]	mez únavy
σ_{co}	[MPa]	mez únavy
σ_{h1max}	[MPa]	maximální napětí na modelu
σ_{h2max}	[MPa]	maximální napětí na modelu
τ_k	[MPa]	smykové napětí od krouticího momentu

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

1 Úvod



Principem všech věcí je voda, z vody je vše a vše se do vody vrací.

Thálés z Milétu

Voda bezpochyby tvoří jednu ze základních podmínek života na Zemi. S rostoucí populací a průmyslovou výrobou stoupá spotřeba vody a zvyšují se i nároky na její kvalitu. Zároveň se však zvyšuje znečištění životního prostředí a jeho ochrana – včetně ochrany čistoty vod – se stává velkým problémem. Kvůli tomu jsou kladeny stále větší nároky na ochranu životního prostředí a na hospodaření s vodními zdroji. Požadavek Evropské Unie je, aby každá obec nad 2000 obyvatel měla do roku 2010 svoji čistírnu odpadních vod [5].

Vodní zákon definuje odpadní vody takto: *Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z nich odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť nebo ze skládek odpadu* [3].

Vody přiváděné do městských čistíren odpadních vod (dále jen ČOV) jsou směsí splaškových a průmyslových odpadních vod, které odtékají do veřejné kanalizace. Jejich škodlivost se posuzuje podle obsahu suspendovaných látek, rozpuštěných organických látek, toxických látek a množství zárodků nakažlivých nemocí a parazitů.

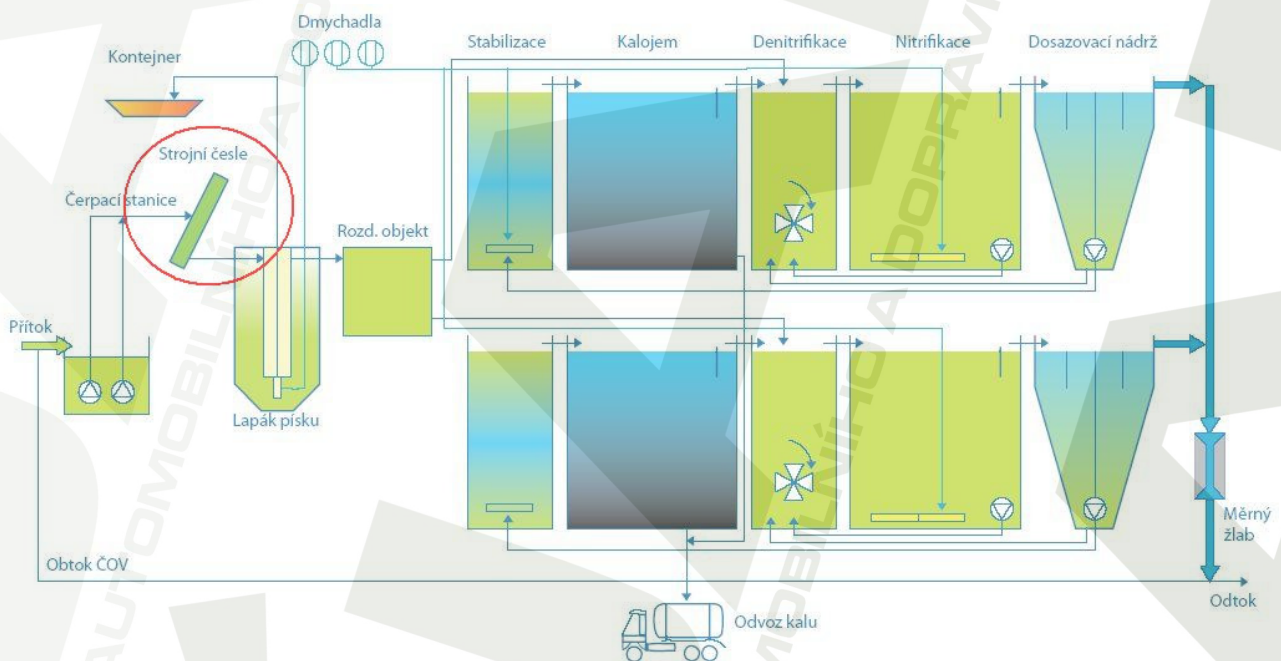
Tyto vody jsou čištěny v městských ČOV, v kterých probíhají v mnoha ohledech tytéž děje jako při samočištění vody v tocích. Jsou však soustředěny do menších prostorů a podmínky pro jejich průběh jsou uměle podporovány. Proto je čištění v umělých čistírnách intenzivnější a rychlejší než v podmínkách přirozených. Čistírna musí být samozřejmě přizpůsobena druhu a vlastnostem odpadní vody, tj. především hlavnímu typu znečištění.

Proces čištění odpadní vody v čistírně je několikastupňový (viz Obr. 1):

- Mechanické předčištění
- Biologické čištění
- Fyzikálně – chemické čištění

Kromě čištění odpadní vody je nutno v čistírně řešit také zneškodnění kalů, shrabků a dalších látek zkoncentrovaných, z odpadní vody.

Zařízení pro mechanické čištění se nalézají hned za vtokovým objektem (hrubé česle) případně čerpací stanicí (jemné česle). Z technologického hlediska se jedná o procesy založené na jevech jako je sedimentace (lapáky písku, lapáky šterku), flotace (lapáky tuků a olejů) nebo cezení (česle). Při návrhu těchto zařízení je nutno zohlednit druh, charakter a stav stokové sítě, stupeň technického zabezpečení stokové sítě před průnikem hrubých nečistot, písku a šterku, úroveň provozu stokové sítě z hlediska ochrany stokového systému a řešení následujících stupňů čištění odpadních vod. Toto čištění nelze použít samostatně, protože neodstraní všechny látky spotřebovávající kyslík. Je tedy možné je použít jen jako předčištění.



Mechanické předčištění na česlích je jeden z prvních stupňů čištění odpadních vod. Je to proces sloužící k zachycování hrubých plovoucích a vodou unášených nečistot. Tyto nečistoty by mohly poškodit navazující technologie jako jsou čerpadla a potrubní trasy, proto se česle nazývají také ochranné. Strojně čištěné česle zajišťují kontinuální a bezobslužný provoz čištění. Využívají se zejména u čistíren odpadních vod, malých vodních elektráren a úpraven vod.

Práce se zabývá návrhem jemných mechanických hrablových česlí pro použití v čistírnách odpadních vod. Česle jsou součástí mechanického přečištění přitékající odpadní vody.

2 Funkce strojně stíraných česlí

Odpadní vody přitékají do objektu předčištění. V objektu jsou umístěny česle jako součást mechanického přečištění. Odpadní voda přitékající na jemné česle je již přečištěna na hrubých česlích s průlinou 20 až 50 mm umístěných v nátoku do ČOV [4]. To zabezpečuje správnou funkci jemných česlí, které takto nemohou být poškozeny většími částicemi znečištění (např. větve). Jemné česle s průlinou 2 až 10 mm jsou umístěny v betonovém kanálu s obtokem. Kanál s jemnými česlemi je uzavíratelný stavidlovým šoupětem pro případ poruchy nebo servisu česlí. V době uzavření nátoku na česle odpadní voda natéká do ČOV obtokem s ručně shrabovanými česlemi (viz Obr. 2).



Obrázek 2: Obtokový kanál s ručně shrabovanými česlemi

Instalace česlí je realizována přímo do koryta betonového kanálu pod úhlem 60° až 90° ve směru proudu vody. Odpadní voda natéká na česlicovou mříž zachytávající vodou unášené nečistoty (tj.: listí, zbytky textilií, igelitu a hrubší organické části). Tyto nečistoty zachycené na česlicové mříži se nazývají shrabky. Při zanesení česlicové mříže je nutno tyto shrabky odstranit, aby nedocházelo k nadměrnému vzduť hladiny v kanálu před česlemi. U ručně stíraných česlí toto provádí obsluha ČOV odstraněním shrabků z česlicové mříže pomocí hrábí k tomu určených. U strojně stíraných česlí zabezpečuje stírání česlicové mříže stírací zařízení (hrablo, stírací lišta, stírací kartáče) lišící se podle druhu česlí. Čištění probíhá periodicky podle zatížení ČOV. Periodické čištění, které spouští stírací zařízení je řízeno z velína autonomním programem nainstalovaným v PC obsluhy, kterým je řízena celá ČOV respektive její jednotlivé části a stroje. Program signalizuje chod česlí, výšku hladiny v kanále (hlídáno ultrazvukovou sondou) a případné poruchy. Ovládání česlí je též možné ručně na ovládacím panelu česlí.

Při spuštění stírání se odstraňují shrabky a jsou dopravovány stíracím zařízením do výsyvky česlí. Z výsyvky shrabky dopadají do kontejneru, na transportní pás nebo do šnekového dopravníku umístěného příčně ke kanálu. Šnekové dopravníky, které jsou nejčastěji používány, dopravují shrabky a zároveň je odvodňují. Odvodněné shrabky ze šnekového dopravníku vypadávají do kontejneru. Shrabky jsou pravidelně odváženy k dalšímu zpracování.

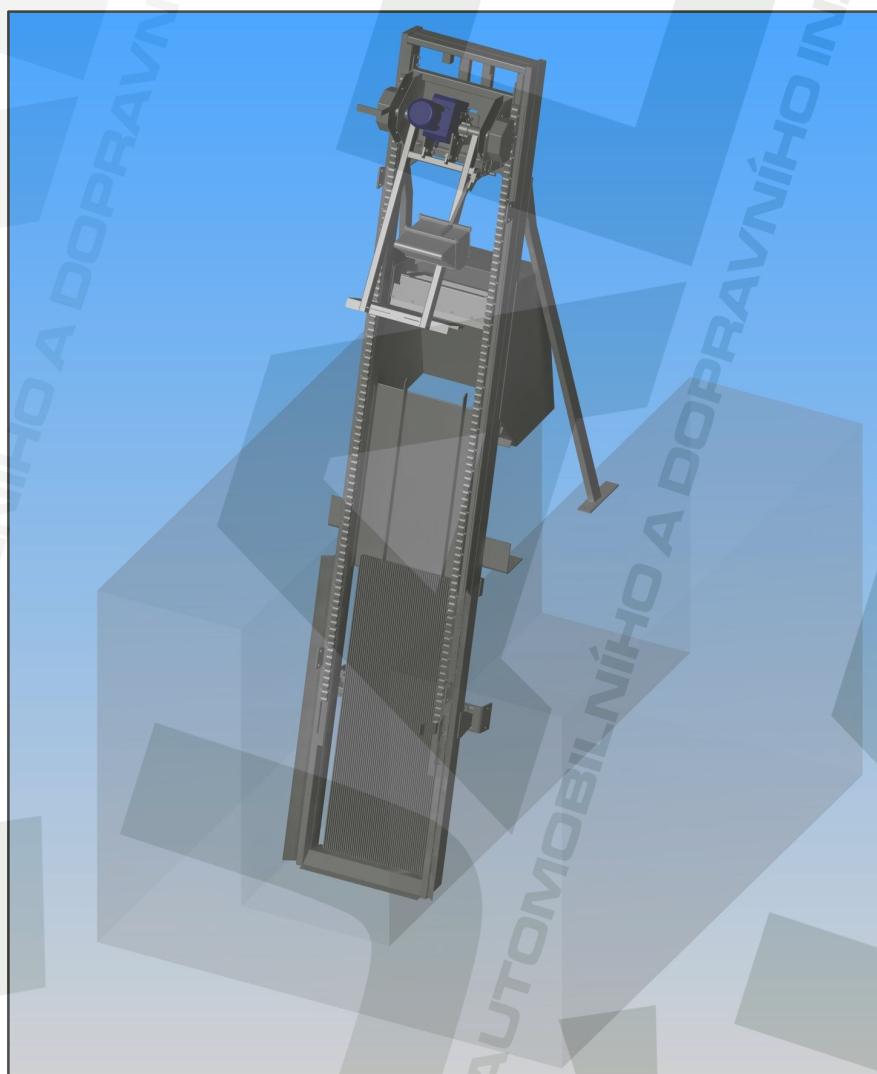
3 Přehled některých druhů strojně stíraných česlí

Je mnoho různých konstrukcí česlí, ale základní znaky jsou u strojně stíraných česlí společné. Celou konstrukci česlí spojuje rám, za který jsou česle i ukotveny do přívodního betonového kanálu. Nečistoty se zachycují na ocelových profilech - česlicích umístěných ve stejných vzdálenostech - průlinách, kterými protéká voda. Průlina mezi česlicemi je u jemných česlí od 2 mm do 10 mm [4]. Stírací zařízení periodicky odstraňuje zachycené nečistoty z česlic. Shrabky jsou stíracím zařízením dopraveny do výsyvky, odtud pak padají do připraveného kontejneru, na transportní pás nebo do šnekového dopravníku. Česle se instalují do přívodních betonových kanálů se sklonem ve směru proudu vody, příp. i svisle.

3.1 Hrablové mechanické shrabovací česle

Mechanicky stírané česle hrablem (viz Obr. 3) jsou navrženy pro nátokový kanál střední velikosti. Skládají se z tuhého rámu z nerezové oceli, který je v dolní části vyplněn česlicovou mříží. Součástí rámu je výsypka a pojezdové hřebeny, po kterých pojíždí vozík s hrablem. Vozík je poháněn elektromotorem s převodovkou.

Stírání česlicové mříže probíhá periodicky. Při cyklu stírání zajede vozík do dolní části česlí až po zarážku, která uvolní hrablo do pracovní polohy a aktivuje reverzaci elektromotoru. Shrabky jsou takto vytaženy až do výsypky v horní části česlí, odkud vypadávají do připraveného kontejneru nebo šnekového dopravníku. Na konci cyklu se hrablo vrací zpět do výchozí polohy najetím na klín a zajištěním pákou.



Obrázek 3: Mechanicky stírané česle hrablové

3.2 Strojně stírané česle řetězové

Strojně stírané česle řetězové (viz Obr. 4) jsou určeny především pro střední a velké kanály s vysokou hladinou vody. 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 umístěnými na společné hřídeli. Odstranění nečistot z česlicové mříže a jejich doprava do odpadního žlabu je prováděna shrnovacími lištami. Lišty nemají vedení a jsou k česlím přitlačovány proudem vody, napnutím řetězu a vlastní tíhou. Stírací lišty se vyrábějí gumové nebo novodurové [6].



Obrázek 4: Strojně stírané česle řetězové [6]

3.3 Hydraulicky stírané česle

Hydraulicky stírané česle pro separaci plovoucích a vodou unášených nečistot se používají v čistírnách odpadních a průmyslových vod, vodárnách nebo i v zavlažovacích kanálech jako stupeň mechanického předčištění vody.

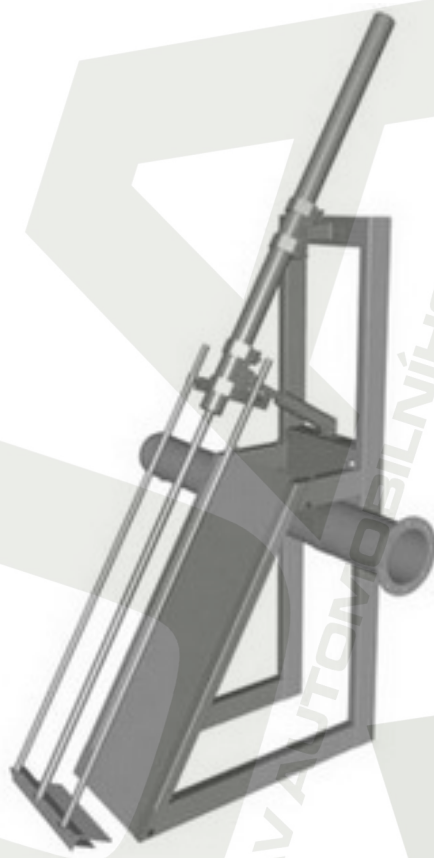
Shrabovací zařízení se skládá ze stírací lišty, která zachycené nečistoty setře z česlic do výsypky, a je poháněno elektromotorem přes hydrostatický převod o pracovním tlaku 16 MPa.

Jsou zde dvě možná konstrukční řešení shrabovacího zařízení:

- Výsuvné hydraulické shrabovací zařízení (viz Obr. 5)
- Hydraulické shrabovací zařízení RnR (viz Obr. 6)

3.3.1 Výsuvné hydraulické shrabovací zařízení

Čistící stroj česlí se skládá z rámu, naklápěcího ramene, výsuvného ramene, stírací lišty a hydraulického pohonu. Hydraulický pohon tvoří dva dvojčinné přímočaré hydromotory. Naklápěcí rameno je k rámu připevněno na čepech a na naklápěcím rameni se posouvá rameno výsuvné. První přímočarý hydromotor s velkým zdvihem zajišťuje vysouvání stírací lišty do pracovní polohy a její zasouvání. Druhý hydromotor přiklápí a odklápí rameno čistícího zařízení od česlí. Hydromotor spojený se shrabovacím zařízením vysune rameno do dolní krajní polohy. V krajní poloze se shrabovací zařízení přiklopí na česlice. Vyhrabování zabezpečuje hydromotor, spojený se stíracím zařízením pohybem vzhůru do horní krajní polohy. Při tom je stírací lišta tažena po česlicích a shrabává nanesené nečistoty. V horní poloze shrabky padají výsypkou do připraveného kontejneru nebo dopravníku [7].



Obrázek 5: Hydraulické česle – výsuvné [7]

3.3.2 Hydraulické shrabovací zařízení RnR

Čistící stroj se v tomto případě skládá z rámu, dvou ramen, stírací lišty a hydraulického pohonu. Pohon tvoří tři dvojčinné přímočaré hydraulické motory. Naklápěcí rameno je kloubově spojeno s rámem stroje, k němu je kloubově připojeno rameno se stírací lištou. Pohyb naklápěcího ramene zajišťují dva dvojčinné přímočaré hydromotory a pohyb druhého ramene jeden dvojčinný hydraulický motor. Lineární hydromotory upevněné k rámu spustí stírací zařízení k dolnímu konci česlí. Současnou prací všech hydromotorů se ramena pohybují vzhůru a stírací lišta je tažena po česlicích a stírá z nich shrabky. V horní poloze shrabky padají výsypkou do připraveného kontejneru nebo dopravníku [6].



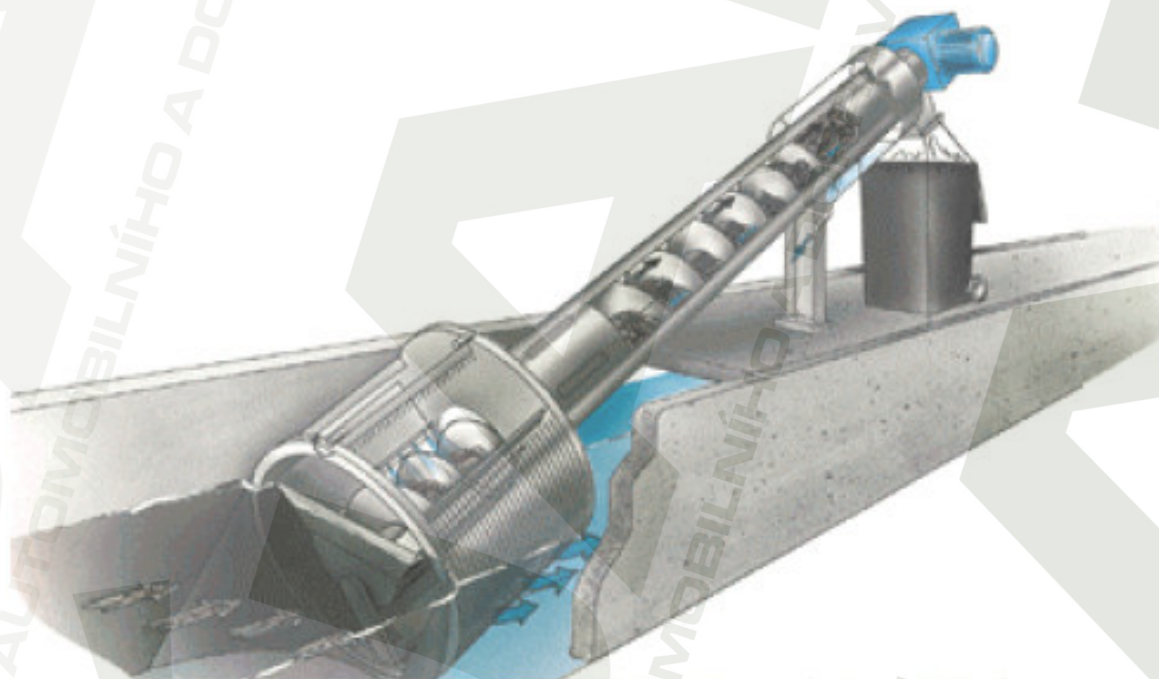
Obrázek 6: Hydraulické česla se shrabováním RnR [6]

3.4 Bubnové česle

Zařízení je konstrukčně odlišné od předchozích typů česlí, přesto plní stejnou funkci. Hlavní rozdíly jsou v provedení rámu a řešení způsobu samočištění, dopravy a zpracování shrabků.

3.4.1 Rotační bubnové česle

Základ česlí je rám (viz Obr. 7), který částečně tvoří šnekový bezhřídelový dopravník a rotační česlicový koš válcového tvaru s pružinami. Česle se ukládají do žlabu pod úhlem 35°. Voda s nečistotami protéká přes rotační česlicový koš zachycující nečistoty. Koš se otáčí kolem šnekového dopravníku, do kterého dopadají usazené nečistoty zachycené na česlicích. Čištění koše je navíc zajištěno přímým ostřikem vodou. Nečistoty jsou zpracovávány, odvodněny pomocí perforovaného žlabu šnekového dopravníku a dopravovány vzhůru, kde dopadají do připraveného kontejneru [8].



Obrázek 7: Rotační bubnové česle [8]

3.4.2 Bubnové česle s drtičem

Bubnové česle s drtičem (viz Obr. 8) tvoří rám z nerezových profilů a plechů. Součástí rámu jsou rotující bubnové česle, rotující drtič pevného odpadu a šnekový bezhřídelový dopravník. Znečištěná voda s hrubými částicemi je přiváděna na rotující bubnové česle zachycující pevné látky větší než průlina mezi česlicemi. Česle dopravují zachycené pevné částice k rotačnímu drtiči, který je zpracuje a zmenší tak jejich velikost. Rozdrcené shrabky dopadají do šnekového dopravníku. Shrabky jsou v dopravníku odvodňovány. Voda ze shrabků protéká přes perforované části žlabu dopravníku zpět do toku odpadní vody. Odvodněné shrabky na výstupu z dopravníku dopadají do připraveného kontejneru nebo do pytlů [9].



Obrázek 8: Bubnové česle s drtičem [9]

3.5 Samočisticí česle

3.5.1 Samočisticí česle MEVA – Rotoscreen

Samočisticí česle MEVA typu Rotoscreen (viz Obr. 9) jsou složeny ze segmentů, tvořících nekonečný pás jako síto s pružinami, jejichž velikost je určena šíří segmentu. Pás se otáčí, přičemž zubová část segmentů vynáší zachycené shrabky a v horní části pásu (která je nad vodou). Při změně směru jeho pohybu dolů padají shrabky do kontejneru, na dopravník nebo jsou vytlačeny šnekovým zařízením. Provedením segmentů bývá z kovu nebo z umělé hmoty [6].



Obrázek 9: Samočisticí česle MEVA – Rotoscreen [6]

3.5.2 Samočisticí česle MEVA – Monoscreen

Samočisticí česle MEVA typu Monoscreen (viz Obr. 10) jsou opatřeny soustavou ozubených pásnic. Rozteče pásnic udávají šířku průřezu. Pásnice jsou ve dvou svařencích. První je pevně spojen s rámem stroje. Druhý koná vlastní vymetací pohyb. Soustava pohybujících se pásnic postupně vyjízdí a zajíždí do rámu stroje. Při pohybu šikmo nahoru s sebou unáší nečistoty ulpívající na pevném svařenci pásnic a posouvá je o jeden zub nahoru. Potom zajíždí dolů a čistí se o boky stojících pásnic. Tento cyklus se opakuje, dokud nejsou nečistoty vyneseny do určité výšky, kde padají do šnekového dopravníku, který je odvodňuje a dopravuje do míst dalšího zpracování. V dolní části jsou pásnice uchyceny na hnaném vačkovém hřídeli a v horní části jsou uchyceny na hnacím vačkovém hřídeli [6].



Obrázek 10: Samočisticí česle MEVA – Monoscreen [6]

3.6 Strojní česle hrubé

Konstrukce česlí je z tuhého rámu s česlicovou mříží (viz Obr. 11), která je stírána vozíkem z nátokové strany česlí. Součástí česlí je vozík s hrablem, které vyhrabuje zachycené nečistoty z česlicové mříže do výsypky v horní části česlí. Vozík je poháněn elektromotorem s převodovkou přes nerezový řetěz [10].

ISI
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obrázek 11: Strojní česle hrubé [10]

3.7 Strojní česle hrubé spodem stírané

Konstrukce česlí je z tuhého rámu s česlicovou mříží (viz Obr. 12). Nečistoty zachycené na česlicové mříži jsou vyhrabovány vozíkem s hřebenem, který pojíždí po vnitřní straně česlí směrem ke dnu. Pracovní pohyb hrabla probíhá od dna kanálu do horní obloukové části k výsypce česlí pomocí hřebenu. Vozík se pohybuje pomocí hnaných řetězů, na které je upevněn. Pohon řetězu je realizovaný od elektromotoru s převodovkou pomocí hřídele a řetězových kol [10].

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obrázek 12: Strojní česle hrubé spodem stírané [10]

4 Základní technické parametry a výpočty

Základní parametry potřebné k výpočtu [1] jsou rozměry a tvar kanálu v místě umístění česlí, výška hladiny v kanálu nebo objemový průtok a velikost průliny tj. minimální velikost zachytávaných nečistot.

Ze zadání známe: Šířka kanálu: $B = 860 \text{ mm}$
Hloubka kanálu: $H_k = 1750 \text{ mm}$
Hloubka vody v kanálu: $H = 700 \text{ mm}$
Kanál je betonový obdélníkového průřezu
Průlina – minimální velikost zachytávaných nečistot: $b_p = 6 \text{ mm}$

4.1 Hydraulický poměr

Kde: $H \text{ [m]}$ - hloubka vody v kanálu
 $B \text{ [m]}$ - šířka kanálu
 $R \text{ [m]}$ - hydraulický poměr

Známe: $H = 0,7 \text{ m}$
 $B = 0,86 \text{ m}$

$$R = \frac{H \cdot B}{B + 2 \cdot H} \quad (1)$$

$$R = \frac{0,7 \cdot 0,86}{0,86 + 2 \cdot 0,7} = 0,266$$

$$R = 0,266 \text{ m}$$

4.2 Rychlostní součinitel podle Manninga

Kde: $n_b \text{ [-]}$ - součinitel drsnosti betonového žlabu
 $R \text{ [m]}$ - hydraulický poměr
 $C \text{ [m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}]$ - rychlostní součinitel podle Manninga

Známe: $n_b = 0,012$
 $R = 0,266 \text{ m}$

$$C = \frac{1}{n_b} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{0,012} \cdot 0,266^{\frac{1}{6}} = 66,845$$

$$C = 66,85 \text{ m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}$$

4.3 Rychlost proudění podle Chézyho

Průtoková rychlost kanálem má být v rozmezí 0,3 až 1,2 m/s² [4]. Nejmenší povolená rychlost ve žlabu před česlemi má zabránit usazování pevných látek (šterk, písek) unášených odpadní vodou před česlemi. Omezení maximální rychlosti v kanálu zabraňuje strhávání a protlačování již zachycených nečistot, které jsou větší než průlina česlí přes česlicovou mříž.

Kde: $C [m^{0,5}.s^{-1}]$ - rychlostní součinitel podle Manninga
 $R [m]$ - hydraulický poměr
 $i_e [‰]$ - sklon dna kanálu
 $v_c [m.s^{-1}]$ - rychlost proudění podle Chézyho

Známe: $C = 66,85 m^{0,5}.s^{-1}$
 $R = 0,266 m$
 $i_e = 0,4 ‰$

$$v_c = C \cdot \sqrt{R \cdot i_e} \quad (3)$$

$$v_c = 66,85 \cdot \sqrt{0,266 \cdot 0,4} = 0,69$$

$$v_c = 0,69 m.s^{-1}$$

4.4 Objemový průtok

Kde: $v_c [m.s^{-1}]$ - rychlost proudění podle Chézyho
 $H [m]$ - hloubka vody v kanálu
 $B [m]$ - šířka kanálu
 $Q [m^3.s^{-1}]$ - objemový průtok

Známe: $v_c = 0,69 m.s^{-1}$
 $H = 0,7 m$
 $B = 0,86 m$

$$Q = v_c \cdot H \cdot B \quad (4)$$

$$Q = 0,69 \cdot 0,7 \cdot 0,86 = 0,415$$

$$Q = 0,415 m^3.s^{-1}$$

Určili jsme objemový průtok kanálem s česlemi ze zadaných parametrů.

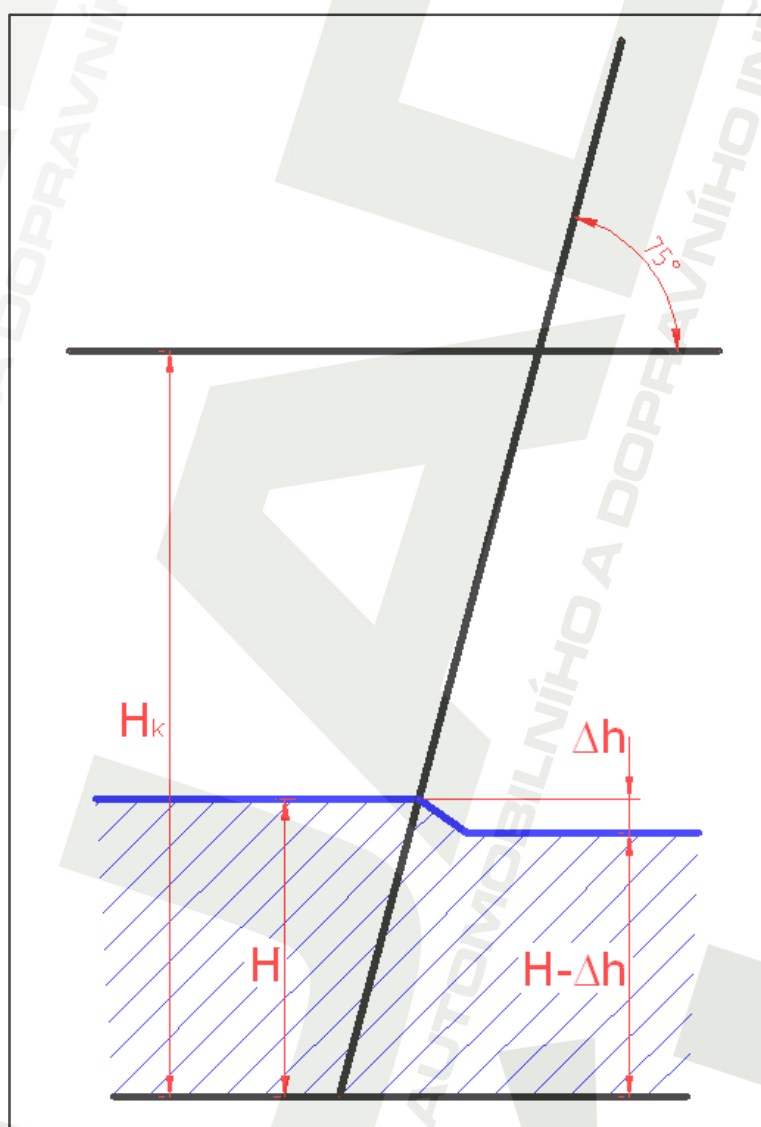
4.5 Ztráta tlakové výšky hladiny

4.5.1 Ztráta tlakové výšky hladiny dle Kirschnera

$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{d_{\xi}}{b_p} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_c}{2 \cdot g} \cdot \sin \alpha \quad [\text{m}]$$

Na ztrátu tlakové výšky hladiny v kanále (viz Obr. 13) má vliv tvar a šířka česlice, šířka průřezu, rychlost proudění vody v kanále a sklon česlí.

Šířka průřezu je dána požadavkem na neprůchodnost částic větších než 6 mm. Šířku česlice a její tvar volíme vhodně dle konstrukce česlí.



Obrázek 13: Ztráta tlakové výšky

4.5.2 Volba tvaru česlic

Vliv tvaru česlic na velikosti ztráty tlakové výšky vyjadřuje součinitel β (viz Obr. 14) [1].



Obrázek 14: Tvary česlic a hodnoty součinitele β [1]

Volím variantu s obdélníkovým průřezem česlice a součinitelem tvaru $\beta = 2,42$ a šířkou česlice 6 mm.

Výhody:

- při opotřebení česlice má stále stejné vlastnosti
- jednoduchá a levná výroba a montáž česlice

Nevýhody:

- vyšší součinitel tvaru česlice
- dochází k zanášení česlice tenkými a dlouhými nečistotami na bok česlice

Tuto variantu volím z důvodu levné výroby a montáže. Problém zanášení boků česli je řešen při konstrukci hrabla, které hřebenem zasahuje mezi česlice a shrabuje tak i boky česlic.

Kde: β [-]	- tvarový součinitel česlice
d_c [m]	- šířka česlice
b_p [m]	- šířka průliny
v_c [m.s ⁻¹]	- rychlost proudění podle Chézyho
g [m.s ⁻²]	- gravitační zrychlení
α [°]	- sklon česlí
Δh [m]	- ztrátová výška hladiny

Známe:

$\beta = 2,42$
$d_c = 6 \text{ mm}$
$b_p = 6 \text{ mm}$
$v_c = 0,69 \text{ m.s}^{-1}$
$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
$\alpha = 75^\circ$

$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{d_c}{b_p} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_c}{2 \cdot g} \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

$$\Delta h = 2,42 \cdot \left(\frac{0,06}{0,06} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{0,69}{2 \cdot 9,81} \cdot \sin 75^\circ = 0,082$$

$$\Delta h = 0,082 \text{ m}$$

5 Určení a výpočet zatížení česlí

5.1 Výpočet zatížení česlice vodou podle změny hybnosti – šikmá deska

Při návrhu česlí je nutno uvažovat všechny mezní stavy. Stav kdy je česlicová mříž zcela ucpaná shrabky, je možné počítat jako působení proudu kapaliny na šikmou desku tj. změnu hybnosti desky.

Kde: $\rho_v [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ - hustota vody
 $Q [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ - objemový průtok
 $v_c [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ - rychlost proudění podle Chézyho
 $\alpha [^\circ]$ - sklon česlí
 $F_c [\text{N}]$ - síla vody působící na česlice
 $F_{c1} [\text{N}]$ - síla vody působící na jednu česlici

Známe: $\rho_v = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
 $Q = 0,415 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 $v_c = 0,69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $\alpha = 75^\circ$

$$F_c = \rho_v \cdot Q \cdot v_c \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

$$F_c = 1000 \cdot 0,415 \cdot 0,69 \cdot \sin 75^\circ = 276,836$$

$$F_c = 276,836 \text{ N} \quad - \text{ zatížení na celou šířku česlí}$$

$$F_{c1} = \frac{F_c}{51} \cong 5,428 \text{ N} \quad - \text{ zatížení na jednu česlici (51 česlic)}$$

Z výpočtu vyplývá, že jednotlivé česlice jsou zatíženy malou silou. Tuto sílu můžeme považovat za zanedbatelnou. Síla nevyvolá v česlicích velké napětí a neovlivní tak konstrukci česlicové mříže a česlí.

5.2 Výpočet hmotnosti shrabků jednoho cyklu

5.2.1 Výpočet vyhrabovaného objemu

Vyhrabovaný objem je dán maximální výškou hladiny a ztrátovou výškou hladiny, šířkou vyhrabovaného prostoru, tj. aktivní šířka česlicové mříže, a hloubkou vyhrabovaného objemu, tj. maximální hloubka česlí.

Kde: H [m] - hloubka vody v kanálu
 Δh [m] - ztrátová výška hladiny
 H_v [m] - hloubka vyhrabovaného objemu
 B_v [m] - šířka vyhrabovaného objemu
 V_s [m³] - objem vyhrabovaných shrabků

Známe: $H = 0,7$ m
 $\Delta h = 0,082$ m
 $H_v = 0,18$ m
 $B_v = 0,64$ m

$$V_s = (H + \Delta h) \cdot H_v \cdot B_v \quad (7)$$

$$V_s = (0,7 + 0,082) \cdot 0,18 \cdot 0,64 = 0,09$$

$$V_s = 0,09 \text{ m}^3$$

5.2.2 Hmotnost shrabků

Shrabky obsahují cca 80% vody, pevné části a minerální látky. Při výpočtu uvažujeme hmotnost shrabků 960 kg.m⁻³.

Kde: ρ_s [kg.m⁻³] - hustota shrabků
 V_s [m³] - objem vyhrabovaných shrabků
 m_s [kg] - hmotnost shrabků z jednoho cyklu

Známe: $\rho_s = 960 \text{ kg.m}^{-3}$
 $V_s = 0,09 \text{ m}^3$

$$m_s = \rho_s \cdot V_s \quad (8)$$

$$m_s = 960 \cdot 0,09 = 86,506$$

$$m_s = 86,506 \text{ kg}$$

Hmotnost shrabků podle výpočtu je cca 86,5 kg. Tuto hodnotu je nutno považovat za maximální a tedy mezní, protože již při výpočtu objemu shrabků jsme uvažovali zcela ucpanou česlicovou mříž – tento stav by neměl nikdy nastat.

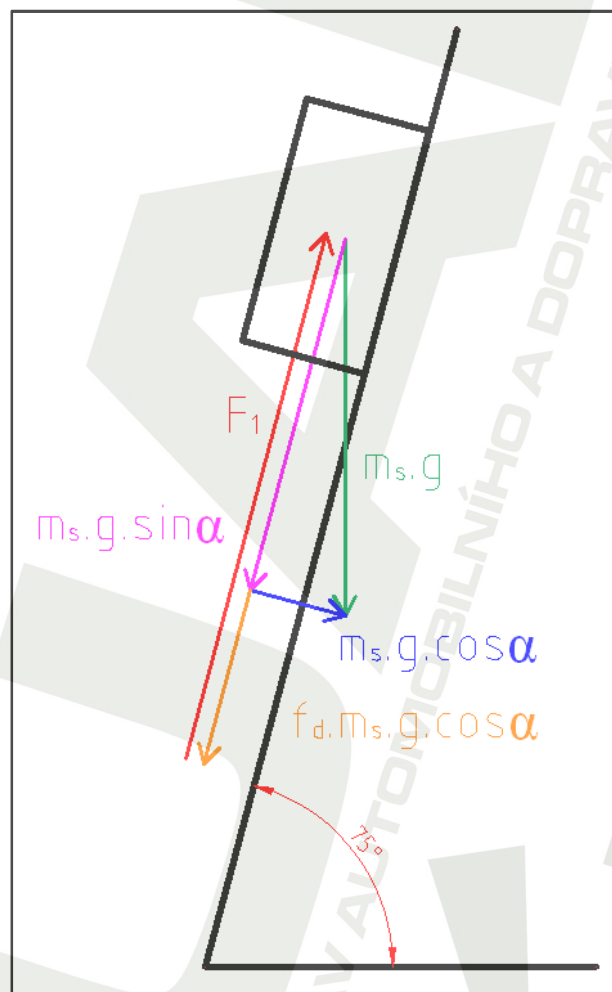
Podle zkušeností a ze sledování provozů ČOV tato hmotnost shrabků odpovídá přibližně denní produkci shrabků střední čistírny.

Během jednoho dne (tj. 24 hodin) česle vykonají minimálně 12 shrabovacích cyklů (četnost cyklů je nastavitelná podle zatížení česlí). Z tohoto vyplývá, že budou česle v běžném provozu shrabovat a vytahovat přibližně jen desetinu z maximální vypočítané hmotnosti. Přesto je nutné brát tento mezní stav v úvahu, proto je další návrh částí česlí dimenzován a kontrolován pro tuto hmotnost shrabků.

5.3 Síla působící na hrablo

5.3.1 Síla zdvihání shrabků

Při výpočtu uvažujeme maximální hmotnost shrabků, které jsou vytahovány po šikmé ploše směrem vzhůru (viz Obr. 15). Při vytahování dochází ke tření mezi česlicemi a vyhrabovanými shrabky, které budeme počítat jako tření mezi ocelí a dřevem.



Obrázek 15: Síly při zvedání shrabků

Kde:	m_s [kg]	- hmotnost shrabků z jednoho cyklu
	g [m.s^{-2}]	- gravitační zrychlení
	α [$^\circ$]	- sklon česlí
	f_d [-]	- součinitel tření ocel-dřevo
	F_1 [N]	- síla ke zdvižení shrabků

Známe:	$m_s = 86,506$ kg
	$g = 9,81$ m.s^{-2}
	$\alpha = 75^\circ$
	$f_d = 0,65$

$$F_1 = m_s \cdot g \cdot \sin \alpha + f_d \cdot m_s \cdot g \cdot \cos \alpha$$

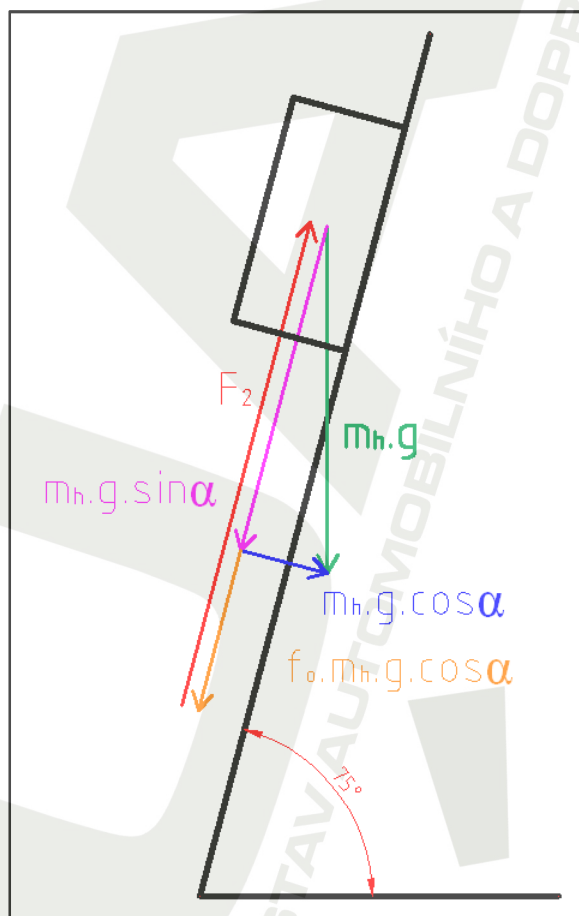
(9)

$$F_1 = 86,506 \cdot 9,81 \cdot \sin 75^\circ + 0,65 \cdot 86,506 \cdot 9,81 \cdot \cos 75^\circ = 962,47$$

$$F_1 = 962,47 \text{ N}$$

5.3.2 Síla zdvihání samotného hrabla

Při výpočtu síly potřebné ke zvednutí samotného hrabla při vyhrabování uvažujeme hmotnost již navrženého hrabla a tření mezi vytahovaným hrablem a česlicemi (viz Obr. 16).



Obrázek 16: Síly při zvedání hrabla

Kde:	m_h [kg]	- hmotnost hrabla
	g [$m.s^{-2}$]	- gravitační zrychlení
	α [°]	- sklon česlí
	f_o [-]	- součinitel tření ocel-ocel
	F_2 [N]	- síla ke zdvižení hrabla

Známe:	$m_h = 26$ kg
	$g = 9,81$ $m.s^{-2}$
	$\alpha = 75^\circ$
	$f_d = 0,15$

$$F_2 = m_h \cdot g \cdot \sin \alpha + f_o \cdot m_h \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

$$F_2 = 26 \cdot 9,81 \cdot \sin 75^\circ + 0,15 \cdot 26 \cdot 9,81 \cdot \cos 75^\circ = 256,27$$

$$F_2 = 256,27 \text{ N}$$

5.3.3 Celková síla potřebná k vyhrabování

Celkovou sílu potřebnou k vyhrabování vypočteme sečtením síly působící od zatížení vyhrabovanými shrabky, od zatížení samotného hrabla a zvětšíme ji o součinitel bezpečnosti.

Kde:	k_l [-]	- součinitel bezpečnosti
	F_1 [N]	- síla ke zdvižení shrabků
	F_2 [N]	- síla ke zdvižení hrabla
	F_c [N]	- celková síla potřebná k vyhrabování

Známe:	$k_l = 1,2$
	$F_1 = 962,47$ N
	$F_2 = 256,27$ N

$$F_c = k_l \cdot (F_1 + F_2) \quad (11)$$

$$F_c = 1,2 \cdot (962,47 + 256,27) = 1462$$

$$F_c = 1462 \text{ N}$$

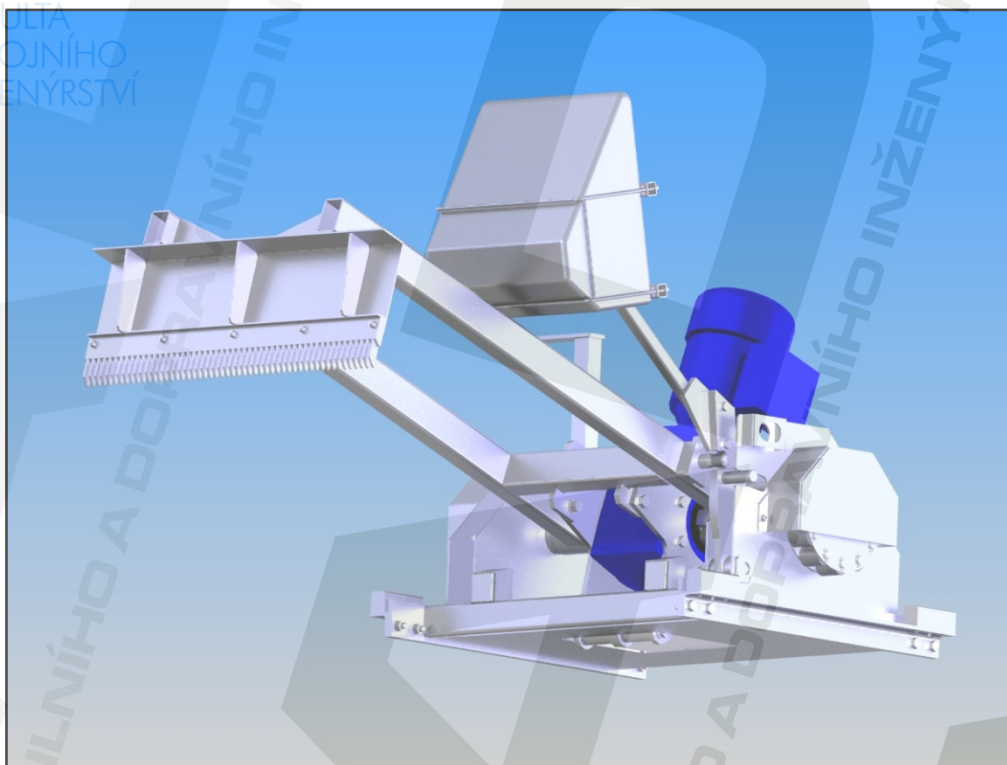
Tato síla má velký vliv při následném výpočtu potřebného krouticího momentu a výběru vhodného elektromotoru.

6 Volba pohonu a řízení pojezdu

Celý vozík (viz Obr. 17) pojíždí po dvou plastových ozubených hřebenech pomocí hnaných válečkových kol. Kola jsou poháněna elektromotorem s převodovkou přes průběžný hřídel. Na hřídeli bude též osazeno hrablo a elektromotor.

Vozík bude pojíždět do pracovní – dolní polohy nezatížený se zvednutým hrablem a z pracovní polohy směrem vzhůru k výsypce se spuštěným hrablem a zatížený vyhrabovanými shrabky. Proto je nežádoucí rychlý pojezd z důvodu možnosti uvolňování a vypadávání shrabků z hřebene hrabla při vyhrabování.

Elektromotor bude řízen frekvenčním měničem. Elektromotor bude pracovat v prostředí s vysokou vlhkostí a prašností, proto musí být prachotěsný a odolný proti tryskající vodě dle ČSN EN 60529 se stupněm ochrany IP66.



Obrázek 17: Hrablový vozík

6.1 Volba otáček hřídele

Rychlost vyhrabování by měla být v rozmezí $0,1$ až $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ z důvodu nechtěného vypadávání shrabků z hřebene hrabla při vyhrabování.

Kde: $d_k [\text{m}]$ - roztečný průměr kola
 $v_h [\text{m.s}^{-1}]$ - rychlost pojezdu vozíku
 $n_h [\text{s}^{-1}]$ - otáčky hřídele

Známe: $d_k = 0,153 \text{ m}$
 $v_h = 0,1 \div 0,2 \text{ m.s}^{-1}$

$$n_h = \frac{v_h}{\pi \cdot d_k} \quad (12)$$

$$n_h = \frac{0,1 \div 0,2}{\pi \cdot 0,153} = 0,208 \div 0,416$$

$$n_h = 0,208 \div 0,416 \text{ s}^{-1}$$

Požadované otáčky výstupu elektromotoru s převodovkou jsou $12,6 \div 25,2 \text{ min}^{-1}$. Volíme střední otáčky pojezdu vozíku: $n_m = 18 \text{ min}^{-1}$.

6.2 Určení skutečné rychlosti vyhrabování

Kde: $d_k [\text{m}]$ - roztečný průměr kola
 $n_m [\text{s}^{-1}]$ - otáčky výstupu převodovky
 $v_s [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ - skutečná rychlost vyhrabování - pojezdu vozíku

Známe: $d_k = 0,153 \text{ m}$
 $n_m = 18 \text{ min}^{-1}$

$$v_s = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n_m}{60} \quad (13)$$

$$v_s = \frac{\pi \cdot 0,153 \cdot 18}{60} = 0,144$$

$$v_s = 0,144 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

6.3 Výpočet času vyhrabování jednoho cyklu

Doba, při které hrablo dojde z výchozí (horní polohy) do dolní (pracovní polohy) a zpět.

Kde: $v_s [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ - skutečná rychlost vyhrabování - pojezdu vozíku
 $s_h [\text{m}]$ - dráha vyhrabování
 $t_v [\text{s}]$ - čas k vykonání jednoho cyklu vyhrabování

Známe: $v_s = 0,144 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $s_h = 3,22 \text{ m}$

$$t_v = 2 \cdot \frac{s_h}{v_s} \quad (14)$$

$$t_v = 2 \cdot \frac{3,22}{0,144} = 44,66$$

$$t_v = 44,66 \text{ s}$$

Čas jednoho vyhrabovacího cyklu je cca 45 s.

6.4 Výstupní krouticí moment elektromotoru

Při určení potřebného krouticího momentu elektromotoru s převodovkou musíme brát v úvahu veškeré zatížení, které bude na elektromotor působit. Elektromotor bude vytahovat celý vozík s hrablem a shrabky.

6.4.1 Síla potřebná ke zvednutí samotného vozíku

Kde: m_v [kg] - hmotnost shrabovacího vozíku
 m_h [kg] - hmotnost hrabla
 g [$m \cdot s^{-2}$] - gravitační zrychlení
 α [°] - sklon česlí
 F_v [N] - síla ke zvednutí vozíku

Známe: $m_v = 147$ kg
 $m_h = 26$ kg
 $g = 9,81$ $m \cdot s^{-2}$
 $\alpha = 75^\circ$

$$F_v = (m_v - m_h) \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (15)$$

$$F_v = (147 - 26) \cdot g \cdot \sin 75^\circ = 1147$$

$$F_v = 1147 \text{ N}$$

6.4.2 Výpočet krouticího momentu

Síly potřebné ke zvednutí hrabla se shrabky jsou již spočítány v kapitole 5.3.

Kde: F_c [N] - celková síla potřebná k vyhrabování
 F_v [N] - síla ke zvednutí vozíku
 d_k [m] - roztečný průměr kola
 M_k [Nm] - potřebný krouticí moment

Známe: $F_c = 1462$ N
 $F_v = 1147$ N
 $d_k = 0,153$ m

$$M_k = (F_c + F_v) \cdot \frac{d_k}{2} \quad (16)$$

$$M_k = (1462 + 1147) \cdot \frac{0,153}{2} = 199,59$$

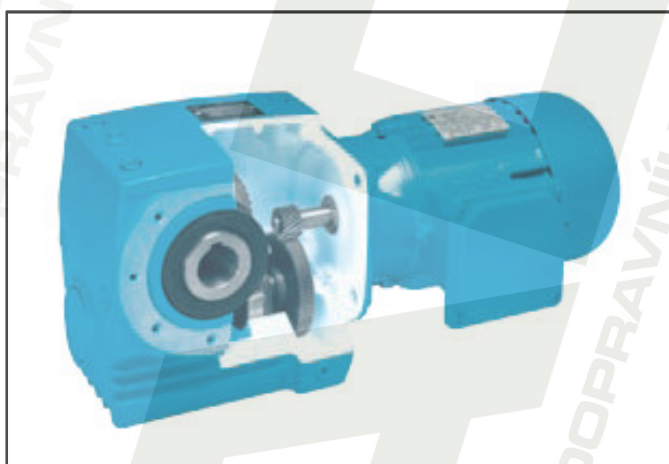
$$M_k = 199,59 \text{ Nm}$$

Požadovaný minimální krouticí moment motoru je 199,59 Nmm. V kapitole 5.2.2 jsme určili tento zatěžovací stav jako mezní, proto berme tento krouticí moment jako maximální dovolený.

6.5 Volba elektromotoru

Podle vypočtených parametrů, jako jsou otáčky a požadovaný krouticí moment, a vzhledem k pořizovací ceně, kvalitě a bezproblémového servisu elektromotoru s převodovkou NORD (viz Obr. 18), volíme:

NORD SK 12080 AZ-80L/4



Obrázek 18: Elektromotor s převodovkou NORD [12]

Parametry:

Výkon motoru:	0,75 kW
Výstupní otáčky:	24 min ⁻¹
Maximální krouticí moment:	212 Nm
Výstupní hřídel:	dutý s průměrem 40H7
Hmotnost:	39 kg
Stupeň ochrany krytu:	IP 66

Převodovka je vybavena brzdou, která zamezuje samovolnému rozjetí vozíku. Motor je ošetřený nátěrem firmy NORD a je v provedení do prašného prostředí a odolný proti tryskající vodě.

6.6 Ochrana a řízení elektromotoru

Elektromotor bude vybaven nastavitelnou ochranou ve vinutí motoru, která bude nastavena na vypočítaný krouticí moment. Elektromotor bude řízen frekvenčním měničem napojeným na autonomní program pro celou ČOV. Program řídí spouštění motoru, tj. jednotlivých cyklů shrabování.

Motor bude dále řízen pomocí dvou snímačů: snímačem reverzace pohonu a snímačem horního dorazu. Snímač reverzace pohonu vysílá impuls ke spuštění opačných otáček motoru při najetí vozíku na zarážku. Snímač je umístěn na vozíku a terčík snímače na páce hrabla. Při uvolnění páky (njetím na zarážku) se terčík dostane do polohy naproti snímači. Snímač horního dorazu je nainstalován v horní části rámu česlí a terčík snímače na vozíku. Při pracovním pohybu vozíku vzhůru je v horní krajní poloze terčík na vozíku naproti snímači na rámu česlí, který vysílá impuls k vypnutí elektromotoru.

7 Rozbor konstrukce česlí

Při návrhu konstrukce byl brán ohled na výrobní cenu a pořizovací cenu materiálu. Nízká cena však nesmí mít vliv na funkčnost a kvalitu stroje.

Stroje používané v čistírnách odpadních vod jsou vystaveny působení vody, mnohdy i velmi znečištěné organickými a pevnými částicemi, které mohou působit abrazivně. Pro konstrukci česlí je nutno volit kvalitní korozivzdorné materiály.

Konstrukce česlí byla namodelována v parametrickém modeláři SolidWorks.

Při konstrukci česlí jsou použity tři základní materiály:

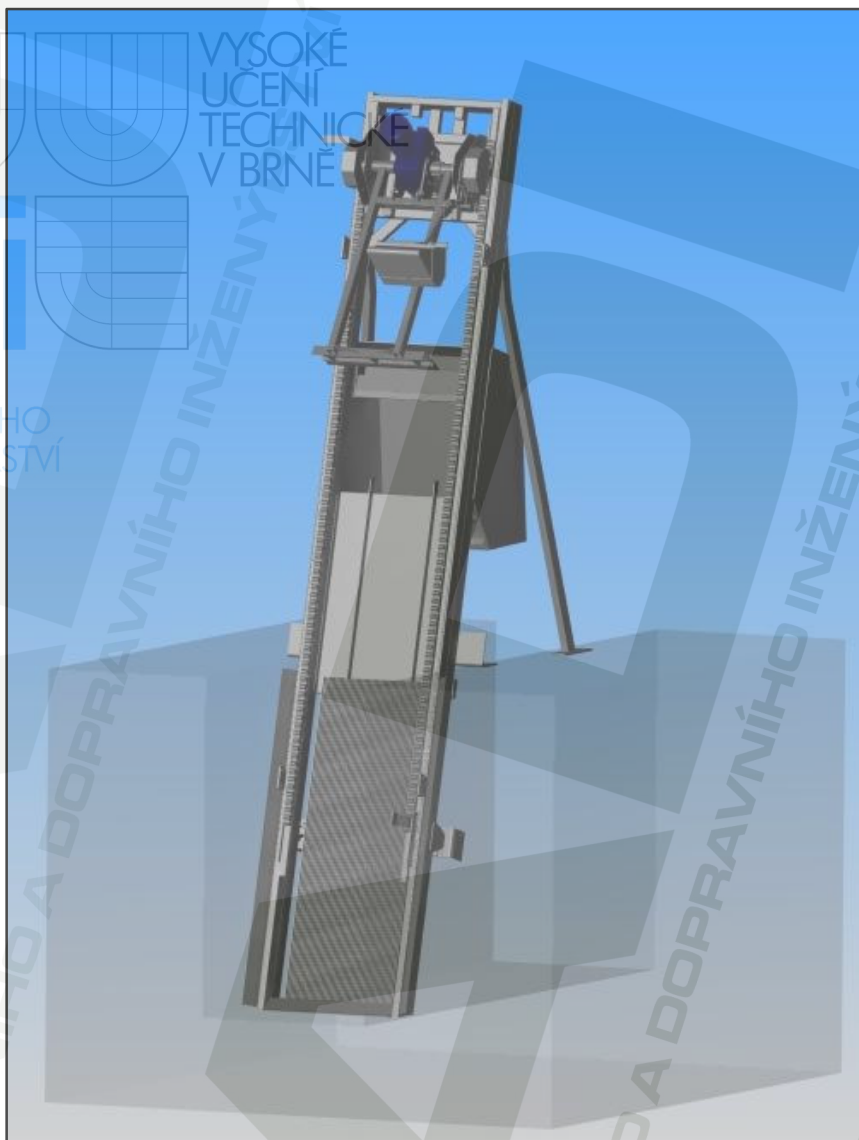
- **Nerezová ocel**
Označení: dle ČSN 17 241, dle AISI 302, dle DIN X 12 CrNi 18 8
- **Plast**
Označení výrobce: S 1000
- **Pryž**

Celá konstrukce česlí (viz Obr. 19) je provedena z nakupovaných polotovarů, jako jsou profily obdélníkového a kruhového průřezu, tyče a plechy. Konstrukce je svařovaná, případně šroubovaná spojovacími prvky z nerezové oceli.



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



Obrázek 19: Mechanicky stírané česle hrablové

Základ česlí tvoří svařovaný rám s česlicovou mříží, k rámu jsou připevněny další prvky česlí. V horní části je výsypka se škrabkovým mechanismem, který odstraňuje zbytky shrabků z hrabla. Shrabky vypadávají do výsypky, kterou jsou usměrněny do podavače šnekového dopravníku umístěného pod výsypkou. Na rámu česlí jsou šroubovými spoji připevněny plastové pojezdové hřebeny. Hrablový vozík pojíždí po plastových hřebenech pomocí válečkových kol a je k rámu přitlačován vodícími kameny.

7.1 Rám česlí

Rám česlí se dělí na dvě části, a to na samotný svarek rámu a sestavu rámu. Sestava rámu je svarek rámu s namontovanými dalšími konstrukčními prvky česlí.

7.1.1 Svarek rámu

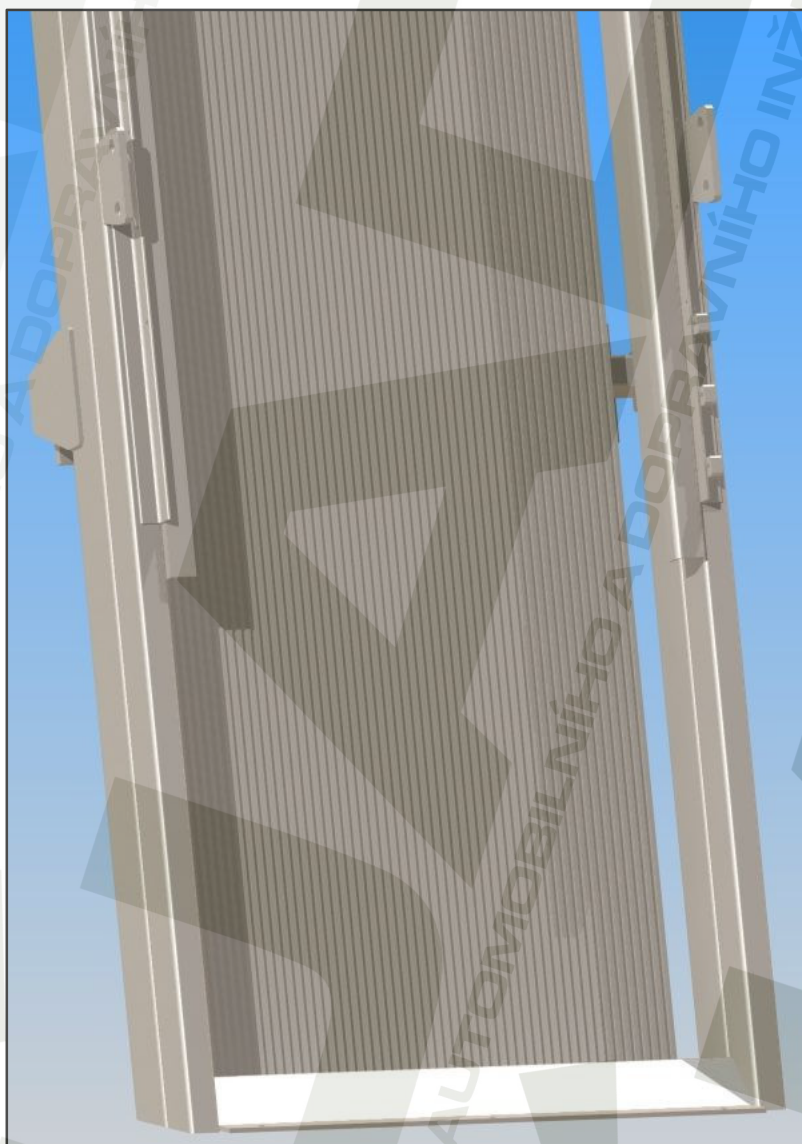
Rám česlí je svařovaný z nerezových profilů. Bočnice rámu jsou svařeny podélným přerušovaným svarem z profilu obdélníkového průřezu: TR4HR80x40x3 a TR4HR100x40x3. K rámu jsou přivařeny profily L s dírami připravenými pro přišroubování pojezdových hřebenů a vodicí profily pro vedení kamenů vozíku.

V horní části rámu (viz Obr. 20) jsou dorazy hrablového vozíku a výztuhy s přípravkem pro nájezdový klín, který zvedá hrablo po dokončení shrabovacího cyklu po najetí kladkou na nájezdový klín, do horní výchozí polohy.



Obrázek 20: Svarek rámu - horní část

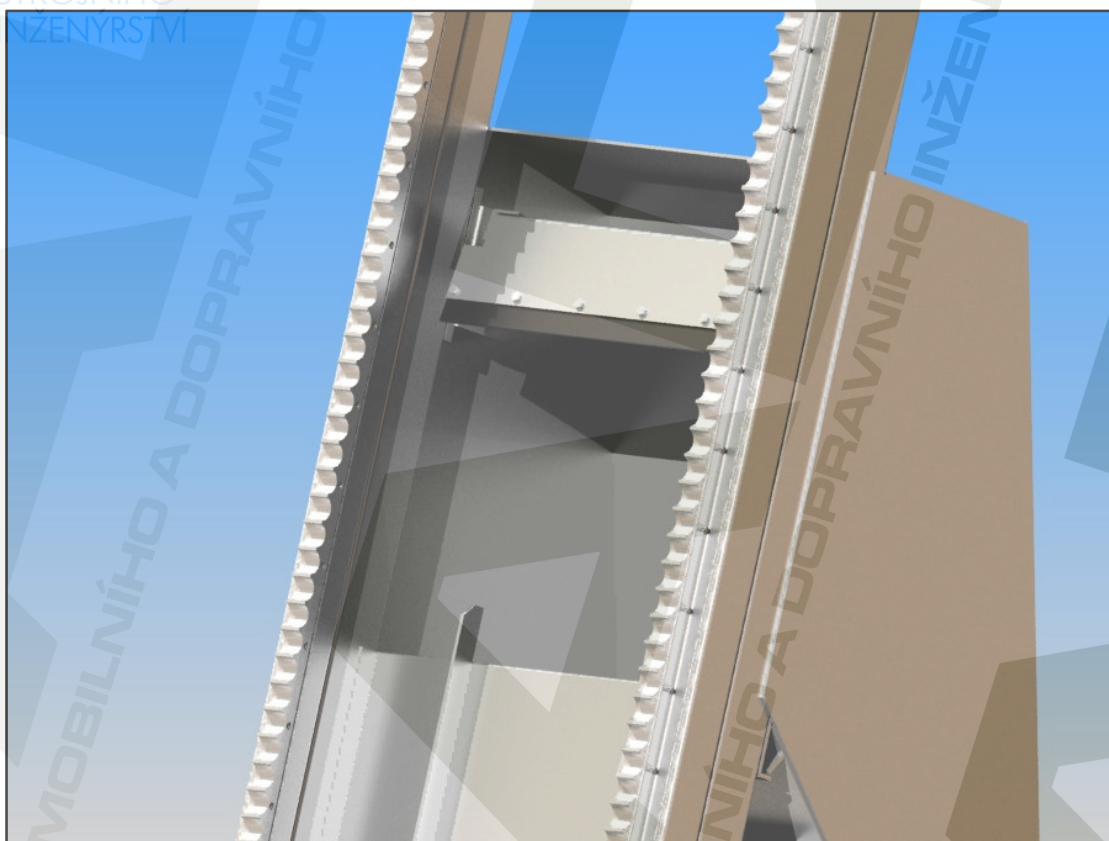
Dolní část svarku rámu česlí (viz Obr. 21) tvoří česlicová mříž s průlinou 6 mm zachytávající plovoucí nečistoty z vody přitékající na ČOV. Dvě česlice jsou delší dosahují až k výsypce česlí a slouží jako vodící pro hrablo vozíku čímž zamezují případnému kroucení hrabla. Česlice jsou vyztuženy příčnými výztuhami. Na jedné straně česlí jsou k profilu L přivařeny závitové přípravky k připevnění a nastavení dorazu páky spouštějící hrablo do pracovní polohy. Rám je v betonovém kanále připevněn chemickými kotvami přes základnu, kterou tvoří ohýbaný plech tloušťky 6 mm. Rám je dále kotven do stěn kanálu pomocí konzol a chemických kotev přes přivařené výztuhy připravené na montáž konzol.



Obrázek 21: Svarek rámu - dolní část

7.1.2 Sestava rámu

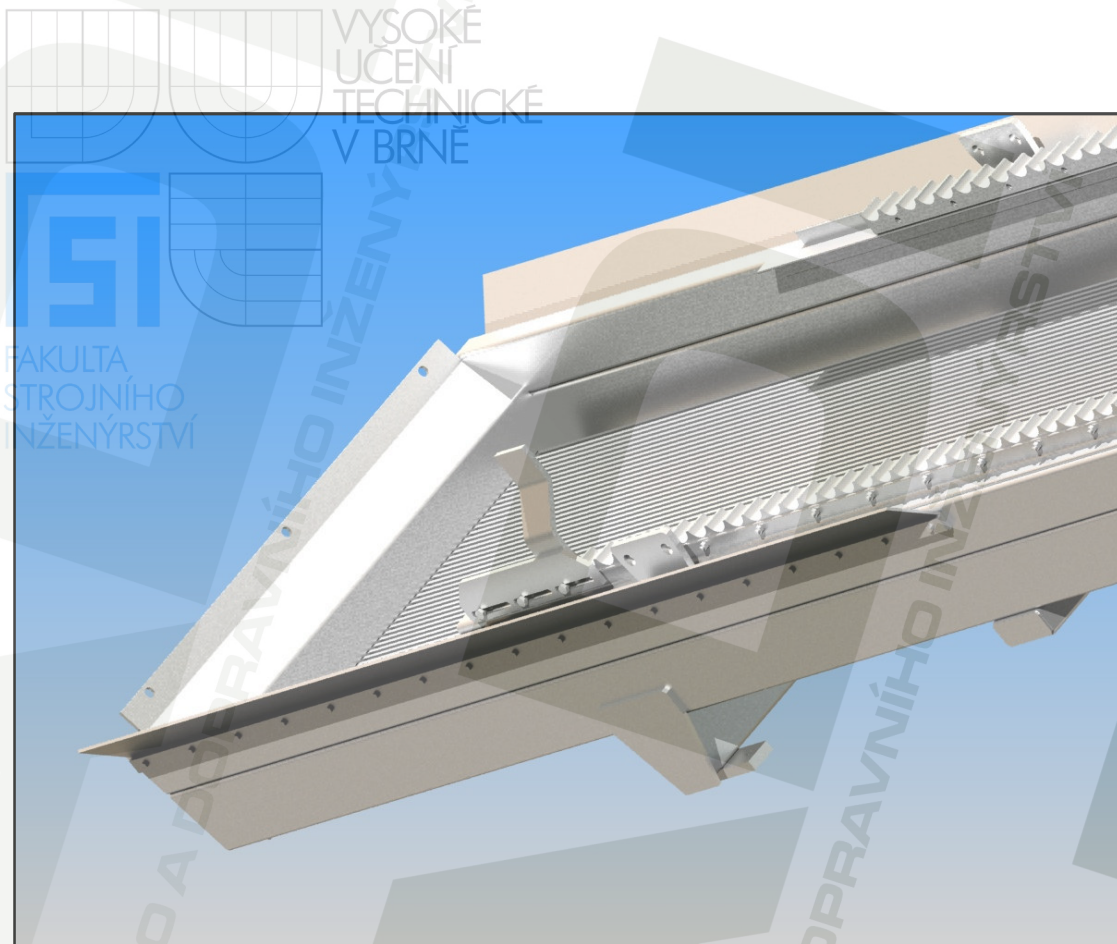
Sestavu tvoří svařovaný rám další konstrukční celky a v horní části výsypka se škrabkovým mechanismem (viz Obr. 22). Výsypka i škrabkový mechanismus jsou připevněny k rámu pomocí šroubových spojů. Škrabkový mechanismus je pro lepší kontakt s hrablem naklápěcí a je přitlačován tažnými pružinami. Téměř po celé délce rámu česlí jsou připevněny šroubovými spoji plastové pojezdové hřebeny k profilu průřezu L.



Obrázek 22: Sestava rámu – výsypka

V dolní části sestavy rámu (viz Obr. 23) česlí končí plastové pojezdové hřebeny. Hřebeny dosahují jen ke spouštěcí páce hrabla, protože v této dolní poloze hrablový vozík s hrablem již nepojíždí směrem dolů, ale pomocí snímače umístěného na vozíku se mění smysl otáček elektromotoru a celý vozík se spuštěným hrablem a s vyhrabovanými shrabky vyjíždí do horní polohy.

Stěny betonového žlabu nebývají dokonale hladké a rovné, proto je zde umístěna pryžová těsnicí lišta sloužící k utěsnění prostoru mezi rámem česlí a stěnou betonového žlabu.

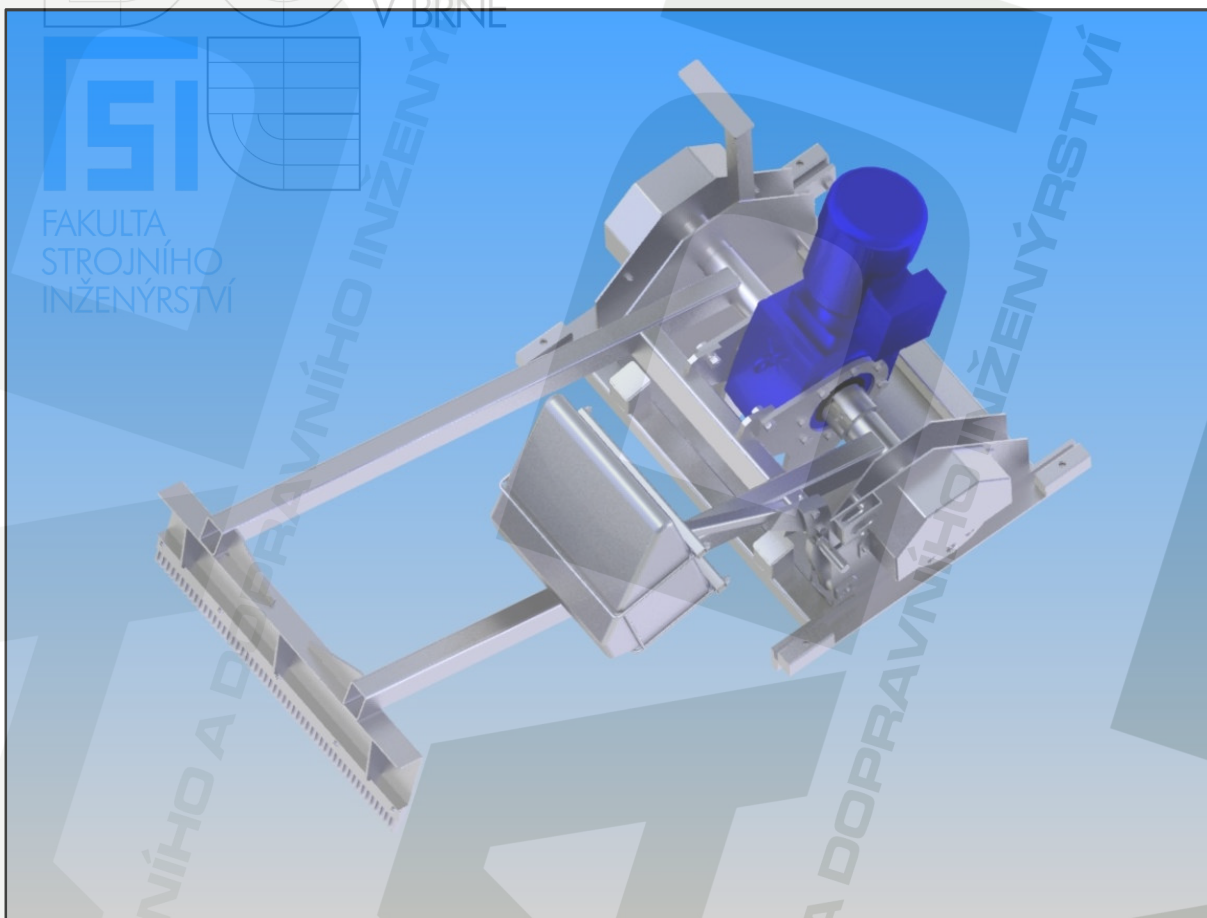
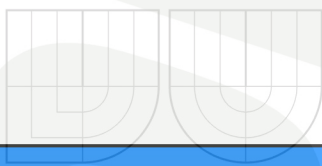


Obrázek 23: Sestava rámu - dolní část

7.2 Hrablový vozík

Hrablový vozík (viz Obr. 24) je pohybující se část mechanických česlí. Při pracovním cyklu pojíždí po plastových hřebenech na rámu česlí z horní polohy do dolní. Vozík se skládá z několika hlavních částí:

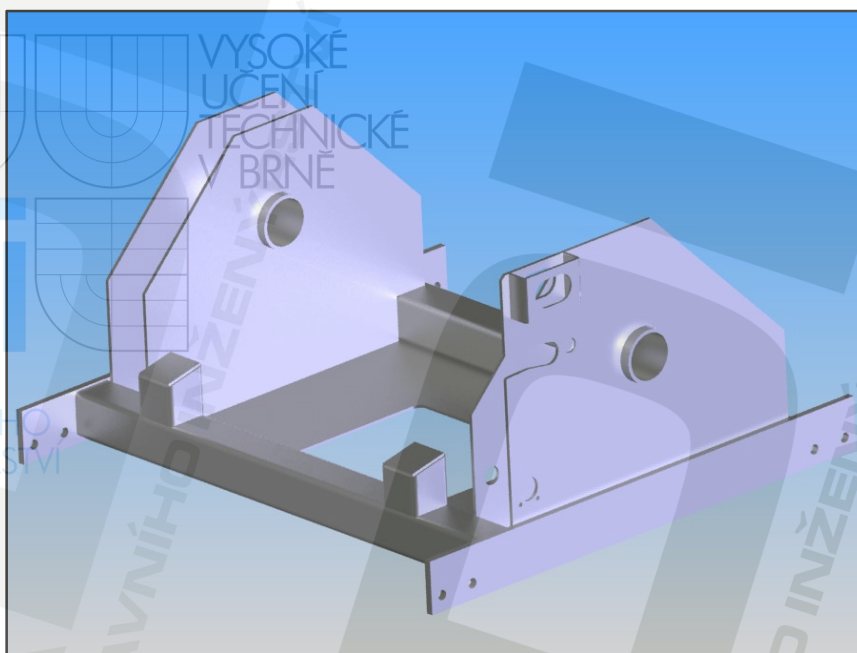
- Rám vozíku
- Kola vozíku hnaná hřídelem
- Hrablo
- Plovák
- Elektromotor s převodovkou (viz. Kapitola 6.5)



Obrázek 24: Hrablový vozík

7.2.1 Rám vozíku

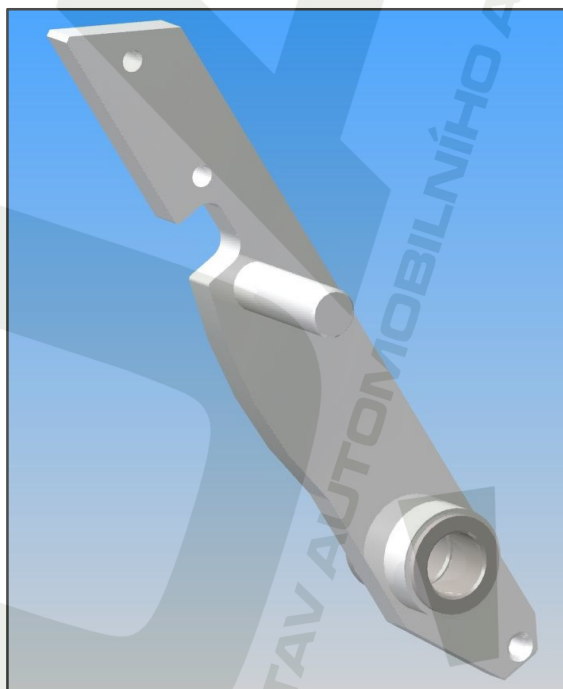
Rám vozíku (viz Obr. 25) je svařenec z profilů obdélníkového průřezu, kruhového průřezu, pásoviny a plechů. Tvoří ho rám z obdélníkového profilu a pásoviny s dírami pro připevnění přítlačných kamenů, dno rámu vozíku s obdélníkovým otvorem pro nájezdovou kladku hrabla, bočnice vozíku s průchodem pro průběžný hnací hřídel. Na levé bočnici jsou připraveny otvory pro páku hrabla a přípravek pro připevnění snímače. K rámu jsou přivařeny dosedací dorazy hrabla.



Obrázek 25: Rám vozíku

7.2.2 Páka hrabla

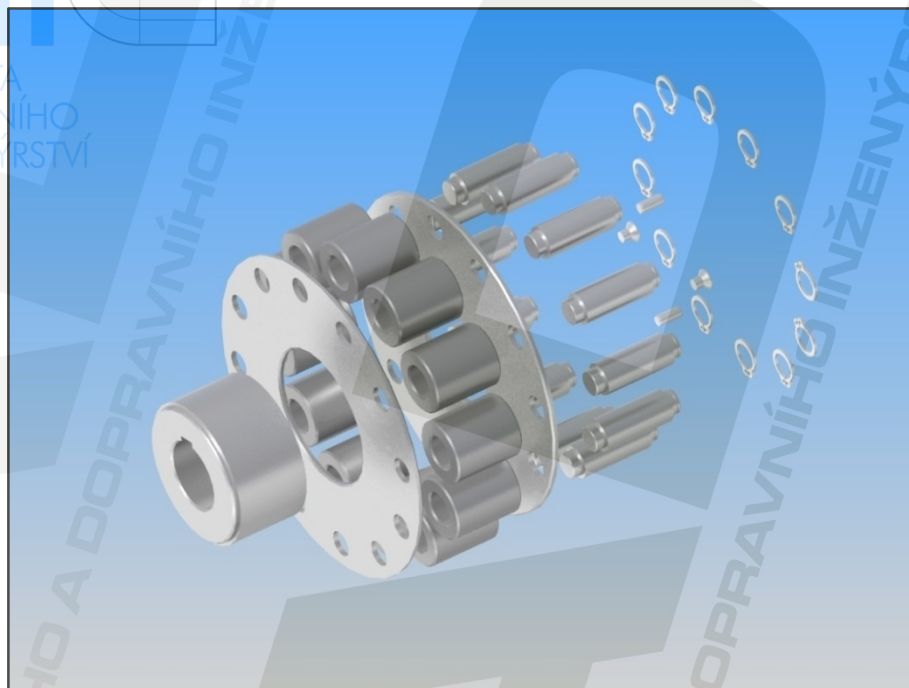
Páka hrabla (viz Obr. 26) drží nebo spouští hrablo z klidové polohy do pracovní polohy po najetí na doraz. Drážka v páce drží hrablo v klidové poloze za čep hrabla. Je spojena s bočnicemi vozíku čepem přes kluzná pouzdra. V páce jsou vyvrtány díry pro spojení páky s plovákem a díra pro oko tážné pružiny držící páku.



Obrázek 26: Páka hrabla

7.2.3 Kolo vozíku

Pojezdové kolo vozíku (viz Obr. 27) se skládá ze svařence bočnice kola, náboje a čepů. Na čepích jsou válečky z plastu s vysokou pevností. Druhá bočnice kola je připevněna pomocí kolíků a šroubů. Válečky jsou na čepích zajištěny pojistnými hřídelovými kroužky přes volnou bočnici.



Obrázek 27: Kolo vozíku

Kolo pojíždí po ozubeném hřebenu (viz Obr. 28) ze stejného materiálu, jako jsou válečky kola.

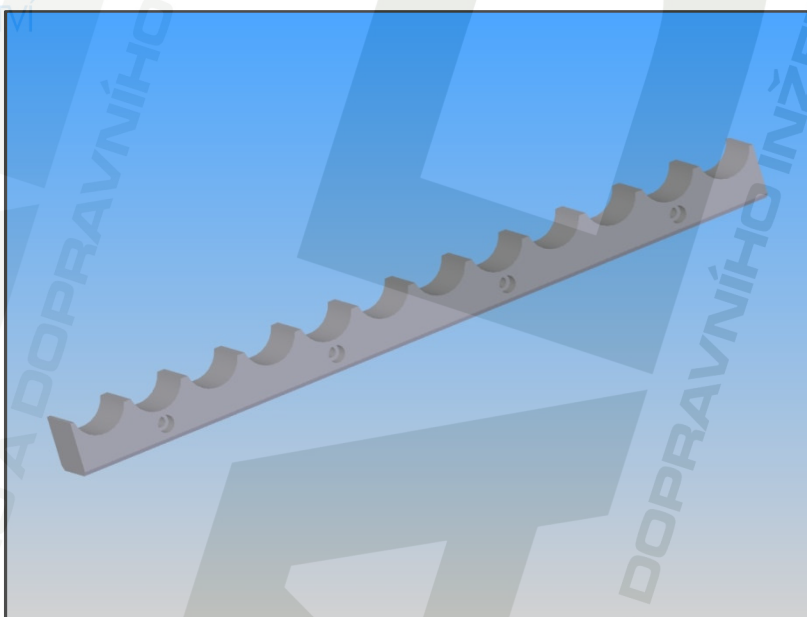
Materiál válečků a hřebenu má samomazné vlastnosti a je vhodný pro kluzná vedení řetězů, řetězová kola, kluzná ložiska a další komponenty pracující v korozivním a prašném prostředí jako jsou kluzná vedení pásů, obložení zásobníků, přesypů a skluzů. Nachází také uplatnění v aplikacích, kde je požadována odolnost vůči cyklickému namáhání vysokých frekvencí např. součásti textilních strojů [11].

Výhody materiálu Belta S1000:

- Nízká hmotnost
- Vysoká pevnost
- Vysoká houževnatost
- Odolnost vůči opotřebení
- Nízký součinitel tření
- Vysoká odolnost vůči většině chemických činidel
- Nízká elektrická a tepelná vodivost

Mechanické vlastnosti materiálu Belta S1000:

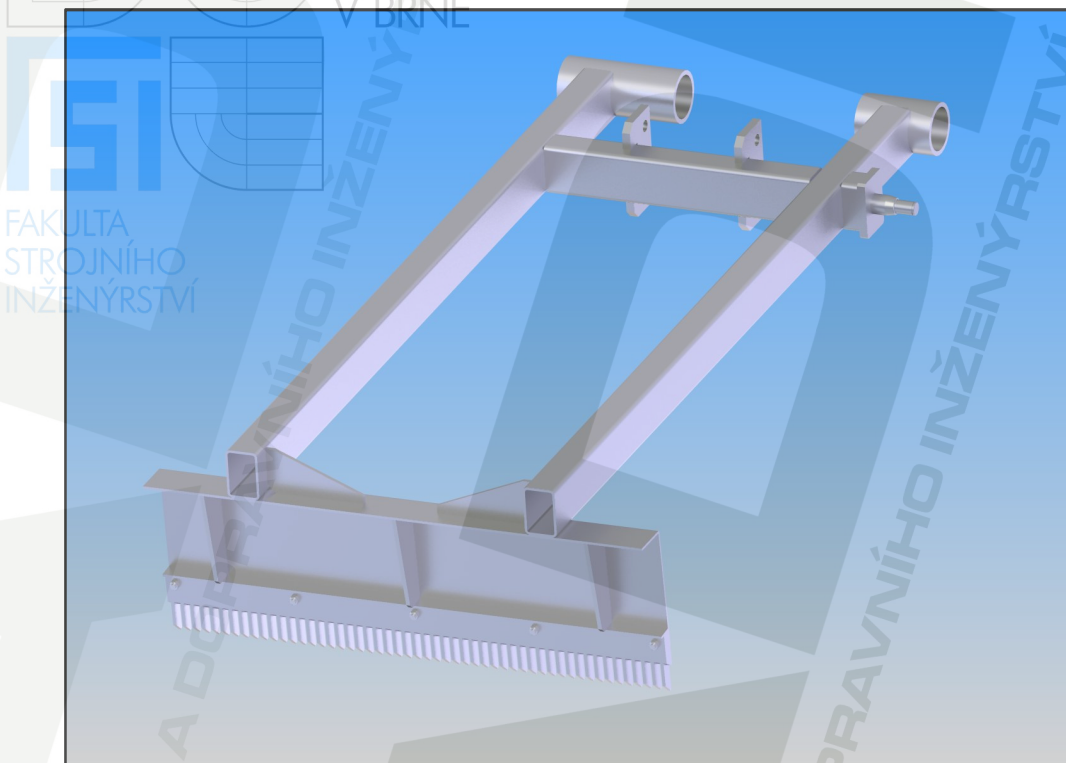
- Tuhost: $0,5 \div 1 \text{ GPa}$
- Pevnost: 20 Nmm^{-2}
- Tvrdost: 60 Nmm^{-2}
- Houževnatost: 180 Jmm^{-2}
- Absorpce vody: $< 0,1 \%$



Obrázek 28: Pojezdový hřeben

7.2.4 Hrablo

Hrablo (viz Obr. 29) je svařenec z profilů obdélníkových průřezů, kruhových průřezů, plechů a tyče jako čepu hrabla. Hrablo bude otočně upevněno na hřídel vozíku přes kluzná pouzdra. Pouzdra budou nasunuty do nábojů hrabla z profilu kruhového průřezu. Přes desky přivařené na výztuze hrabla bude hrablo spojené šroubovými spoji s motorem pomocí příruby. Hřeben hrabla je s hřebem spojen šroubovými spoji pro případ výměny nebo opravy opotřebovaných hřebů.

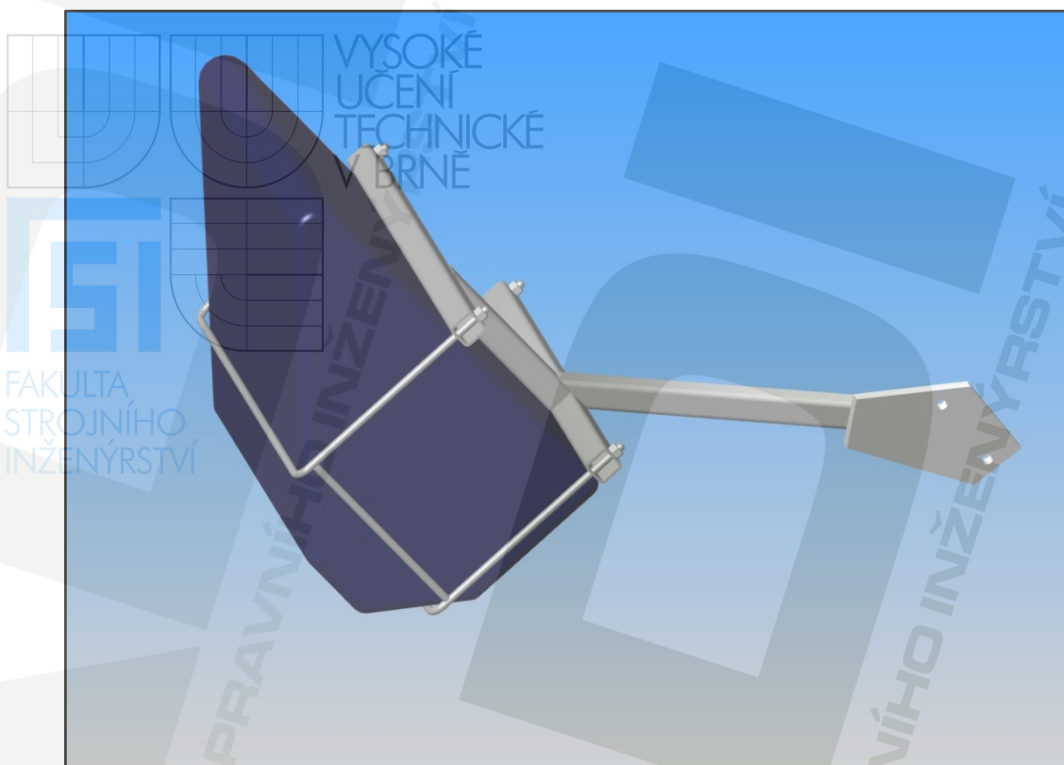


Obrázek 29: Hrablo

7.2.5 Plovák

Plovák (viz Obr. 30) slouží jako ochrana hrablového vozíku a hlavně elektromotoru při nadměrně zvednuté hladině v kanálu (např. při povodni). Plovák je spojen s pákou hrabla a při kontaktu s hladinou působí na páku svou vztlakovou silou a spustí páku dříve, než dojde vozík k zarážce. Takto se spustí reverzace motoru pomocí snímače na vozíku a vozík vyjede do horní polohy. Při tomto „nouzovém“ cyklu nedojde k vyhrabávání shrabků z česlicové mříže.

Plovák je svařenec z profilů čtvercového průřezu, plechů a tyčí, které slouží jako klec samotného plováku. Samotný plovák je vyrobený z polystyrenu a jeho povrch je laminován.



Obrázek 30: Plovák

8 Pevnostní kontrola

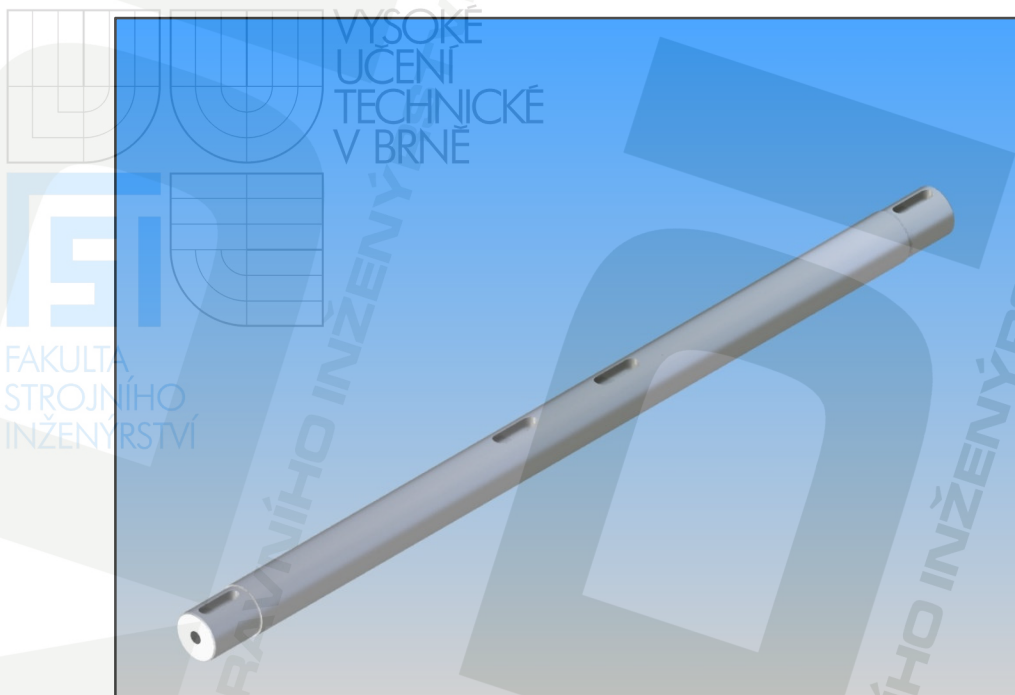
U nejvíce namáhaných součástí provedeme pevnostní kontrolu:

- Hřídel
- Hrablo

Kontrolu hřídele, který je hnaný elektromotorem a je zatěžován dalšími silami (viz. Kapitola 8.1) budeme kontrolovat výpočtovou metodou. Hrablo budeme kontrolovat Metodou konečných prvků (dále jen MKP).

8.1 Kontrola hřídele

Hřídel (viz Obr. 31) je zatěžován nejvíce při vyhrabování tj. při pracovním cyklu. Největší uvažovaná zatěžovací síla je od hrabla, které je zatíženo shrabky (viz. Kapitola 5.3.3). Další nezanedbatelné zatížení způsobuje samotná hmotnost vozíku a hmotnost elektromotoru s převodovkou. Reakce od těchto zatěžujících sil jsou v místě náboje kol, po kterých celý vozík pojíždí. Hřídel je vyroben z nerezového materiálu ČSN 17 348 (DIN 1.4571, AISI 316 Ti). V této kapitole určíme zatížení hřídele a provedeme pevnostní kontrolu klasickými výpočtovými metodami.



Obrázek 31: Hřídel

8.1.1 Výpočet zatížení hřídele

Zatěžující síla od hmotnosti rámu vozíku:

Kde:	m_v [kg]	- hmotnost shrabovacího vozíku
	m_m [kg]	- hmotnost motoru
	m_k [kg]	- hmotnost kola
	m_h [kg]	- hmotnost hrabla
	g [m.s^{-2}]	- gravitační zrychlení
	F_{pz} [N]	- síla působící na hřídel od hmotnosti rámu vozíku

Známe:

$m_v = 147$ kg
$m_m = 39$ kg
$m_k = 3,8$ kg
$m_h = 26$ kg
$g = 9,81$ m.s^{-2}

$$F_{pz} = \frac{(m_v - m_m - m_k - m_h) \cdot g}{2} \quad (17)$$

$$F_{pz} = \frac{(147 - 39 - 3,8 - 26) \cdot 9,81}{2} = 383,57$$

$$F_{pz} = 383,57 \text{ N}$$

Zatěžující síla od hmotnosti motoru:

Kde: m_m [kg] - hmotnost motoru
 g [$m \cdot s^{-2}$] - gravitační zrychlení
 F_{mz} [N] - síla působící na hřídel od hmotnosti motoru

Známe: $m_m = 39 \text{ kg}$
 $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$$F_{mz} = m_m \cdot g \quad (18)$$

$$F_{mz} = 39 \cdot 9,81 = 382,59$$

$$F_{mz} = 382,59 \text{ N}$$

Zatížení od zvedání hrabla se shrabky:

Kde: F_c [N] - celková síla potřebná k vyhrabování
 α [$^\circ$] - sklon česlí
 F_h [N] - síla působící na hřídel od uchycení hrabla

Známe: $F_c = 1462 \text{ N}$
 $\alpha = 75^\circ$

V ose y:

$$F_{hy} = \frac{F_c \cdot \cos \alpha}{2} \quad (19)$$

$$F_{hy} = \frac{1462 \cdot \cos 75^\circ}{2} = 189,26$$

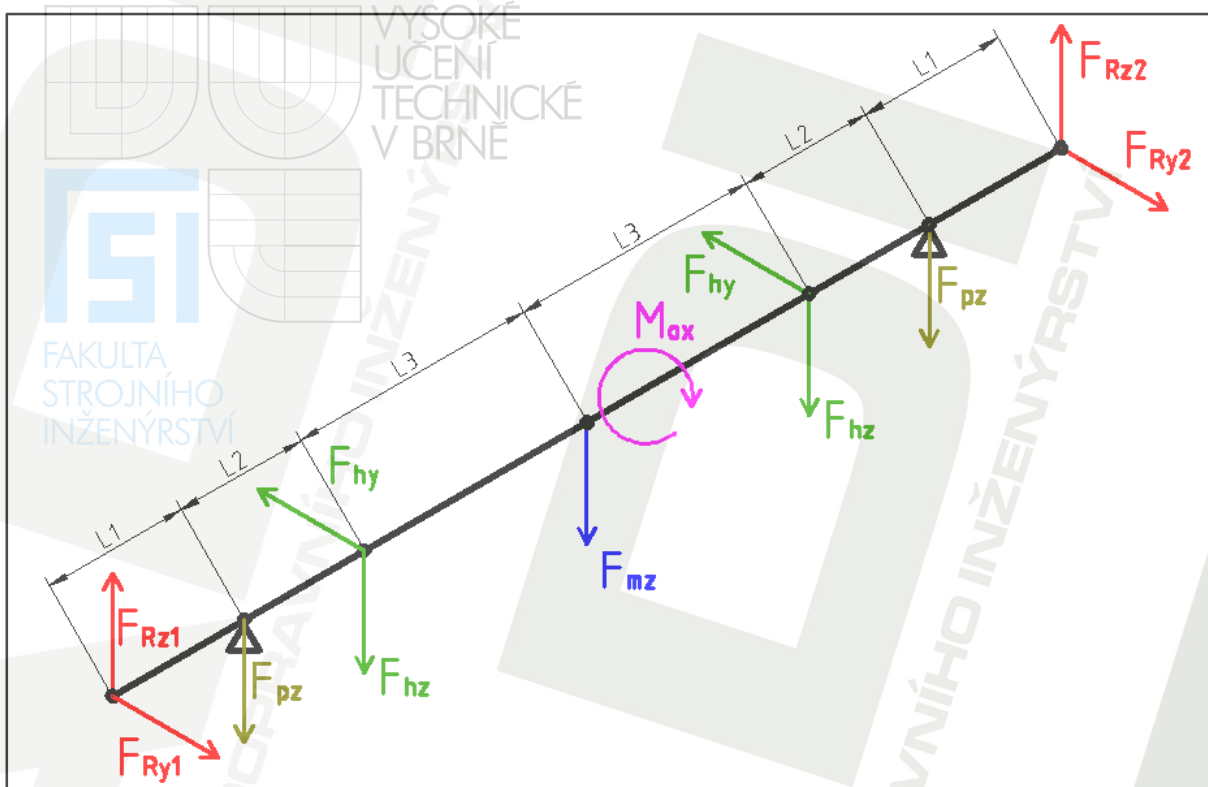
$$F_{hy} = 189,26 \text{ N}$$

V ose z:

$$F_{hz} = \frac{F_c \cdot \sin \alpha}{2} \quad (20)$$

$$F_{hz} = \frac{1462 \cdot \sin 75^\circ}{2} = 706,33$$

$$F_{hz} = 706,33 \text{ N}$$



Obrázek 32: Síly působící na hřídel

Výpočet síly působící od pojezdového kola:

Kde:	F_{hy} [N]	- síla působící na hřídel od uchycení hrabla v ose y
	F_{hz} [N]	- síla působící na hřídel od uchycení hrabla v ose z
	F_{pz} [N]	- síla působící na hřídel v místě uchycení k vozíku v ose "z"
	F_{mz} [N]	- síla působící na hřídel od hmotnosti motoru
	L_1 [mm]	- vzdálenost kola a uložení hřídele
	L_2 [mm]	- vzdálenost kola uložení hřídele a uložení hrabla
	L_3 [mm]	- rozteč uložení hrabla
	F_{Ry1} [N]	- síla působící na hřídel od uložení kola 1 v ose y
	F_{Rz1} [N]	- síla působící na hřídel od uložení kola 1 v ose z
	F_{Ry2} [N]	- síla působící na hřídel od uložení kola 2 v ose y
	F_{Rz2} [N]	- síla působící na hřídel od uložení kola 2 v ose z

Známe:	$F_{hy} = 189,26$ N
	$F_{hz} = 706,33$ N
	$F_{pz} = 383,57$ N
	$F_{mz} = 382,59$ N
	$L_1 = 65$ mm
	$L_2 = 91$ mm
	$L_3 = 186$ mm

Rovnice rovnováhy:

$$\sum F_x = 0: \sum F_{rx} = 0 \quad (21)$$

$$\sum F_y = 0: \sum F_y = F_{Ry1} - F_{hy} - F_{hy} + F_{Ry2} = 0 \quad (22)$$

$$\sum F_z = 0: \sum F_z = F_{Rz1} - F_{pz} - F_{hz} - F_{mz} - F_{hz} - F_{pz} + F_{Rz2} = 0 \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \sum M_{oy} = 0: \sum M_{oy} \\ = -F_{pz} \cdot L_1 - F_{hz} \cdot (L_1 + L_2) - F_{mz} \cdot (L_1 + L_2 + L_3) - F_{hz} \cdot (L_1 + L_2 + 2 \cdot L_3) \\ - F_{pz} \cdot (L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3) + F_{Rz2} \cdot (2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3) = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \sum M_{oz} \\ = 0: \sum M_{oz} = -F_{hy} \cdot (L_1 + L_2) - F_{hy} \cdot (L_1 + L_2 + 2 \cdot L_3) - F_{Ry2} \cdot (2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot L_3) \\ = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

Výpočet sil z rovnic rovnováhy:

Výpočet byl proveden pomocí matic v programu Mathcad Professional. Zatížení je symetrické, proto můžeme předpokládat, že i neznámé síly budou symetrické. Výpočet při uvažování symetrie je jednodušší a výsledky můžeme jednoduše zkontrolovat. Z výpočtu dostaneme hodnoty neznámých reakcí od kola na hřídel.

Síla od uložení kol v ose y:

$$F_{Ry1} = F_{Ry2} \quad (26)$$

$$2 \cdot F_{Ry1} - F_{hy} - F_{hy} = 0$$

$$F_{Ry1} = \frac{F_{hy}}{2} \quad (27)$$

$$F_{Ry1} = \frac{2.189,26}{2} = 189,26$$

$$F_{Ry1} = 189,26 \text{ N}$$

Síla od uložení kol v ose z:

$$F_{Rz1} = F_{Rz2} \quad (28)$$

$$2 \cdot F_{Rz1} - F_{pz} - F_{hz} - F_{mz} - F_{hz} - F_{pz} = 0 \quad (29)$$

$$F_{Rz1} = \frac{2 \cdot F_{pz} + 2 \cdot F_{hz} + F_{mz}}{2} \quad (30)$$

$$F_{Rz1} = \frac{2 \cdot 383,57 + 2 \cdot 706,33 + 382,59}{2} = 1281$$

$$F_{Rz1} = 1281 \text{ N}$$

Síla od uložení kola1 v ose y:

$$F_{Ry1} = 189,26 \text{ N}$$

Síla od uložení kola2 v ose y:

$$F_{Ry2} = 189,26 \text{ N}$$

Síla od uložení kola1 v ose z:

$$F_{Rz1} = 1281 \text{ N}$$

Síla od uložení kola2 v ose z:

$$F_{Rz2} = 1281 \text{ N}$$

8.1.2 Pevnostní kontrola navrženého hřídele

Pro výpočet [2] jsme určili nebezpečné místo (dále místo A), které je na hřídeli v místě zúžení hřídele a drážky pro pero.

Výpočet ohybového momentu:

Kde:	L_1 [mm]	- vzdálenost kola a uložení hřídele
	F_{Ry2} [N]	- síla působící na hřídel od uložení kola 2 v ose y
	F_{Rz2} [N]	- síla působící na hřídel od uložení kola 2 v ose z
	M_{ozA} [Nmm]	- moment působící v místě A v rovině xy
	M_{oyA} [Nmm]	- moment působící v místě A v rovině xz

Známe:	$L_1 = 65 \text{ mm}$
	$F_{Rz2} = 1281 \text{ N}$
	$F_{Ry2} = 189,26 \text{ N}$

Ohybový moment v rovině xy:

$$M_{ozA} = F_{Rz2} \cdot L_1 \quad (31)$$

$$M_{ozA} = 1281,65 = 83265$$

$$M_{ozA} = 83265 \text{ Nmm}$$

Ohybový moment v rovině xz:

$$M_{oyA} = F_{Ry2} \cdot L_1 \quad (32)$$

$$M_{oyA} = 189,26 \cdot 65 = 12302$$

$$M_{oyA} = 12302 \text{ Nmm}$$

Celkový ohybový moment v místě A:

Kde: M_{ozA} [Nmm] - moment působící v místě A v rovině xy
 M_{oyA} [Nmm] - moment působící v místě A v rovině xz
 M_{oA} [Nmm] - ohybový moment v místě A

Známe: $M_{ozA} = 83265 \text{ Nmm}$
 $M_{oyA} = 12302 \text{ Nmm}$

$$M_{oA} = \sqrt{M_{ozA}^2 + M_{oyA}^2} \quad (33)$$

$$M_{oA} = \sqrt{83265^2 + 12302^2} = 84170$$

$$M_{oA} = 84170 \text{ Nmm}$$

Krouticí moment v místě A:

Maximální krouticí moment převodovky

Kde: M_{ox} [Nmm] - krouticí moment působící v místě A v ose x

Známe: $M_{ox} = 199,6 \text{ Nmm}$

Určení meze únavy pro cyklické zatěžování:

Kde: R_m [MPa] - mez pevnosti (ČSN 17 348)
 σ_{co} [MPa] - mez únavy

Známe: $R_m = 540 \text{ MPa}$ [13]

$$\sigma_{co} = 0,504 \cdot R_m \quad (34)$$

$$\sigma_{co} = 0,504 \cdot 540 = 272,16$$

$$\sigma_{co} = 272,16 \text{ MPa}$$

Určení součinitelů pro výpočet reálné součásti [2]:

➤ *Součinitel povrchu:*

Kde:

a [-]	- faktor obrábění povrchu
b [-]	- exponent obrábění povrchu
R_m [MPa]	- mez pevnosti (pro materiál ČSN 17 348)
k_a [-]	- součinitel povrchu

Známe:

a = 4,51
b = -0,265
$R_m = 540 \text{ MPa}$

$$k_a = a \cdot R_m^b \quad (35)$$

$$k_a = 4,51 \cdot 540^{-0,265} = 0,85$$

$$k_a = 0,85$$

➤ *Součinitel velikosti:*

Kde:

d_h [mm]	- průměr hřídele
k_b [-]	- součinitel velikosti

Známe:

$d_h = 38 \text{ mm}$

$$k_b = \left(\frac{d_h}{7,62} \right)^{-0,107} \quad (36)$$

$$k_b = \left(\frac{38}{7,62} \right)^{-0,107} = 0,842$$

$$k_b = 0,842$$

➤ *Součinitel zatížení:*

$$k_c = 1$$

➤ *Součinitel teploty:*

$$k_d = 1$$

➤ **Součinitel spolehlivosti:**

$$k_e = 0,9$$

➤ **Součinitel dalších vlivů (např. koroze):**

$$k_f = 0,9$$

Mez únavy reálné součásti:

Kde:	k_a [-]	- součinitel povrchu
	k_b [-]	- součinitel velikosti
	k_c [-]	- součinitel zatížení
	k_d [-]	- součinitel teploty
	k_e [-]	- součinitel spolehlivosti
	k_f [-]	- součinitel dalších vlivů
	σ_{co} [MPa]	- mez únavy
	σ_c' [MPa]	- mez únavy reálné součásti

Známe:

$$\begin{aligned}
 k_a &= 0,85 \\
 k_b &= 0,842 \\
 k_c &= 1 \\
 k_d &= 1 \\
 k_e &= 0,9 \\
 k_f &= 0,9 \\
 \sigma_{co} &= 272,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_c' = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{co} \quad (37)$$

$$\sigma_c' = 0,85 \cdot 0,842 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 272,16 = 158,028$$

$$\sigma_c' = 158,028 \text{ MPa}$$

Amplituda napětí ohybového momentu:

Kde:	M_{oA} [Nmm]	- ohybový moment v místě A
	d_h [mm]	- průměr hřídele
	σ_a [MPa]	- amplituda napětí ohybového momentu

Známe:

$$\begin{aligned}
 d_h &= 38 \text{ mm} \\
 M_{oA} &= 84170 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot M_{oA}}{\pi \cdot d_h^3} \quad (38)$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 84170}{\pi \cdot 38^3} = 15,62$$

$$\sigma_a = 15,62 \text{ MPa}$$

Výpočet smykového napětí od krouticího momentu:

Kde: M_{oxA} [Nmm] - krouticí moment působící v místě A v ose x
 d_h [mm] - průměr hřídele
 τ_k [MPa] - smykové napětí od krouticího momentu

Známe: $d_h = 38$ mm
 $M_{oxA} = 199600$ Nmm

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_{oxA}}{\pi \cdot d_h^3} \quad (39)$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot 199600}{\pi \cdot 38^3} = 18,53$$

$$\tau_k = 18,53 \text{ MPa}$$

Určení bezpečnosti podle Goodmana [2]:

Kde: σ_a [MPa] - amplituda napětí ohybového momentu
 σ_c' [MPa] - mez únavy reálné součásti
 τ_k [MPa] - smykové napětí od krouticího momentu
 R_m [MPa] - mez pevnosti
 β_p [-] - součinitel pro drážku pro pero - ohyb
 β_τ [-] - součinitel pro drážku pro pero – krut
 n_G [-] - součinitel bezpečnosti podle Goodmana

Známe: $\sigma_a = 15,62$ MPa
 $\sigma_c' = 158,03$ MPa
 $\tau_k = 8,08$ MPa
 $R_m = 540$ MPa
 $\beta_p = 2,42$
 $\beta_\tau = 2,8$

$$n_G = \frac{1}{\left(\frac{\beta_p \cdot \sigma_a}{\sigma_c'}\right) + \left(\frac{\beta_\tau \cdot \tau_k}{R_m}\right)} \quad (40)$$

$$n_G = \frac{1}{\left(\frac{2,42 \cdot 15,62}{158,03}\right) + \left(\frac{2,8 \cdot 8,08}{540}\right)} = 2,98$$

$$n_G = 2,98$$

Bezpečnost podle Goodmana pro hřídel je $n_G = 2,98$. Hřídel je tedy předimenzovaný a to z důvodu požadavku na největší průměr hřídele.

Hřídel je hnaný elektromotorem s převodovkou, který má na výstupu průběžný hřídel s průměrem 40 mm a pro tento základní rozměr byl hřídel navrhován.

8.2 Kontrola hrabla Metodou konečných prvků

Hrablo je kontrolováno MKP pomocí programu I-DEAS. Pro určení napětí z programu I-DEAS musíme celou konstrukci přesně namodelovat, ukotvit a definovat zatížení tak, aby se vše co nejvíce blížilo skutečné konstrukci a skutečnému zatížení konstrukce. Jedině tak můžeme dosáhnout optimálních a přesných výsledků. Konstrukce a funkce hrabla je popsána v kapitole 7.2.4 a jeho zatížení je popsáno v kapitole 5.3.1. V kapitole 5.3.1 jsme určili zatěžující sílu, která působí na hrablo při zvedání shrabků. Síla je však odvozena od vyhrabovaných nečistot, které budou rozprostřeny po celé lopatce hrabla. Vypočtenou sílu musíme převést na tlak, který bude působit na plochu lopatky hrabla.

8.2.1 Výpočet tlaku působícího na lopatku hrabla

Kde:	F_1 [N]	- síla ke zdvižení shrabků
	S_L [mm]	- funkční plocha lopatky hrabla
	p_L [MPa]	- tlak působící na lopatku hrabla

Známe:	$F_1 = 962,47$ N
	$S_L = 0,0936$ mm ²

$$p_L = \frac{F_1}{S_L} \quad (41)$$

$$p_L = \frac{962,47}{93600} = 0,010283$$

$$p_L = 0,010283 \text{ MPa}$$

Vypočítanou hodnotu tlaku budeme dosazovat jako zatěžovací parametr do programu I-DEAS.

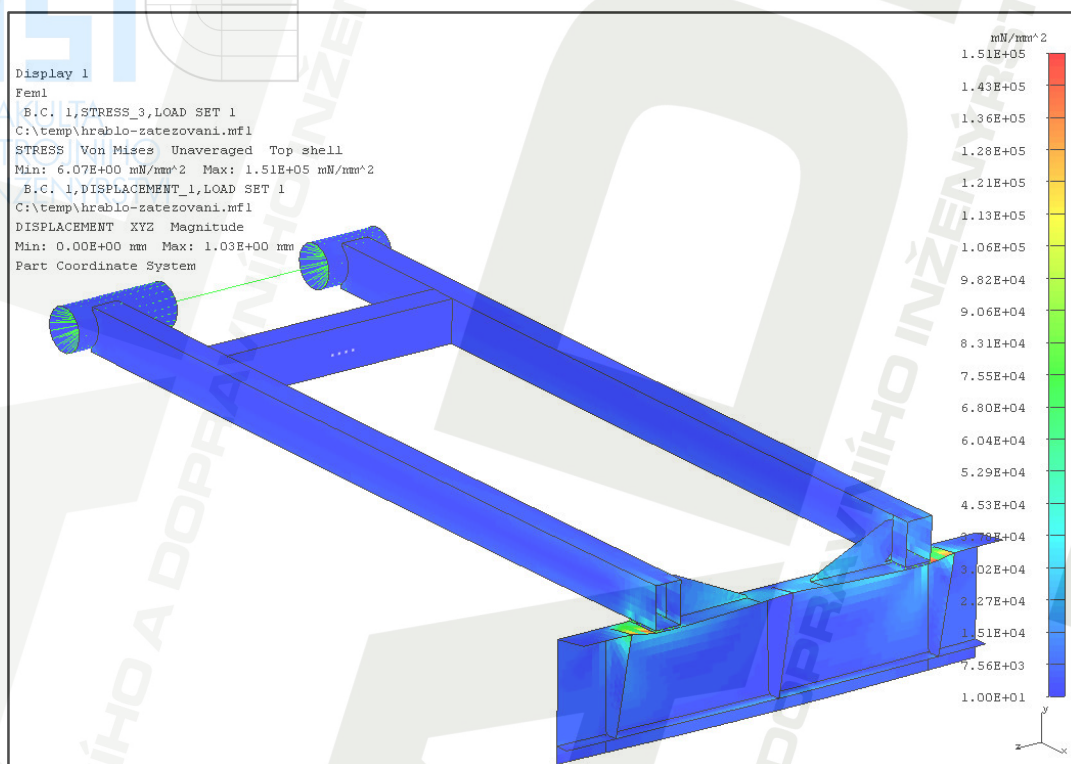
8.2.2 Výsledky pro zatížení při vyhrabování

Výsledky z programu I-DEAS:

- Maximální napětí: $\sigma_{h1max} = 151$ MPa
- Maximální průhyb: $l_{hmax} = 1,03$ mm

Napětí je na modelu znázorněno barvami (viz Obr. 33): od barvy modré znázorňující nejnižší napětí až po barvu červenou, která označuje maximální napětí na modelu.

Místa, kde bylo naměřeno maximální napětí 151 MPa jsou na modelu červená. Maximální napětí i maximální průhyb je v místech napojení plechu lopatky na profily rámu. Průhyb 1,03 mm je u plechu při tomto zatížení přijatelný a nevlivní funkci hrabla ani celých česlí. Maximální napětí vzhledem k mezi kluzu oceli 17 240 se také pohybuje v bezpečných mezích (viz. Výpočet bezpečnosti).



Obrázek 33: Výsledky z programu I-DEAS

Výpočet bezpečnosti:

Kde: R_e [MPa] - mez kluzu
 σ_{h1max} [MPa] - maximální napětí na modelu
 k_1 [-] - bezpečnost vůči meznímu stavu

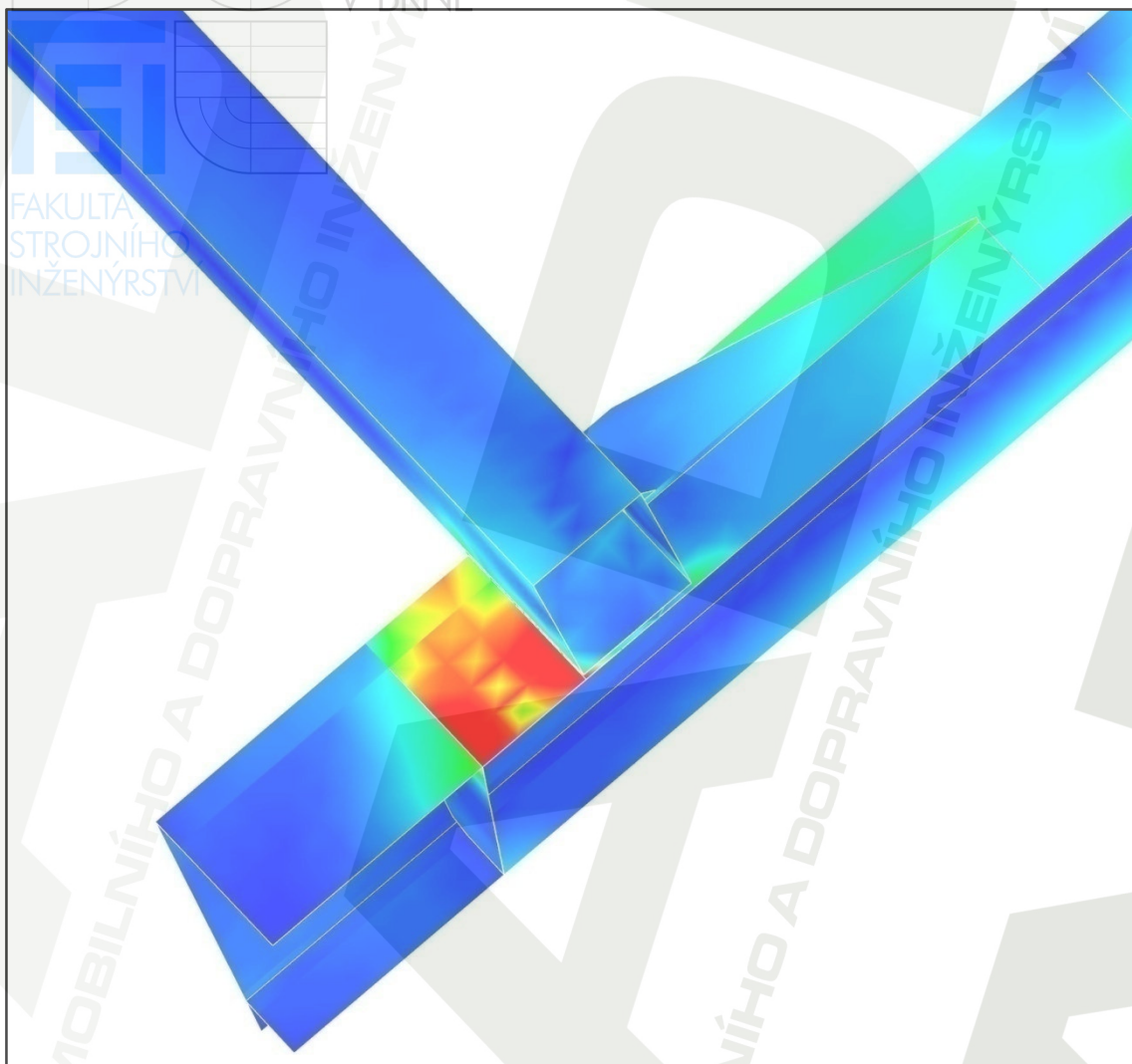
Známe: $R_e = 240$ MPa [13]
 $\sigma_{h1max} = 151$ MPa

$$k_1 = \frac{R_e}{\sigma_{h1max}} \quad (42)$$

$$k_1 = \frac{240}{151} = 1,59$$

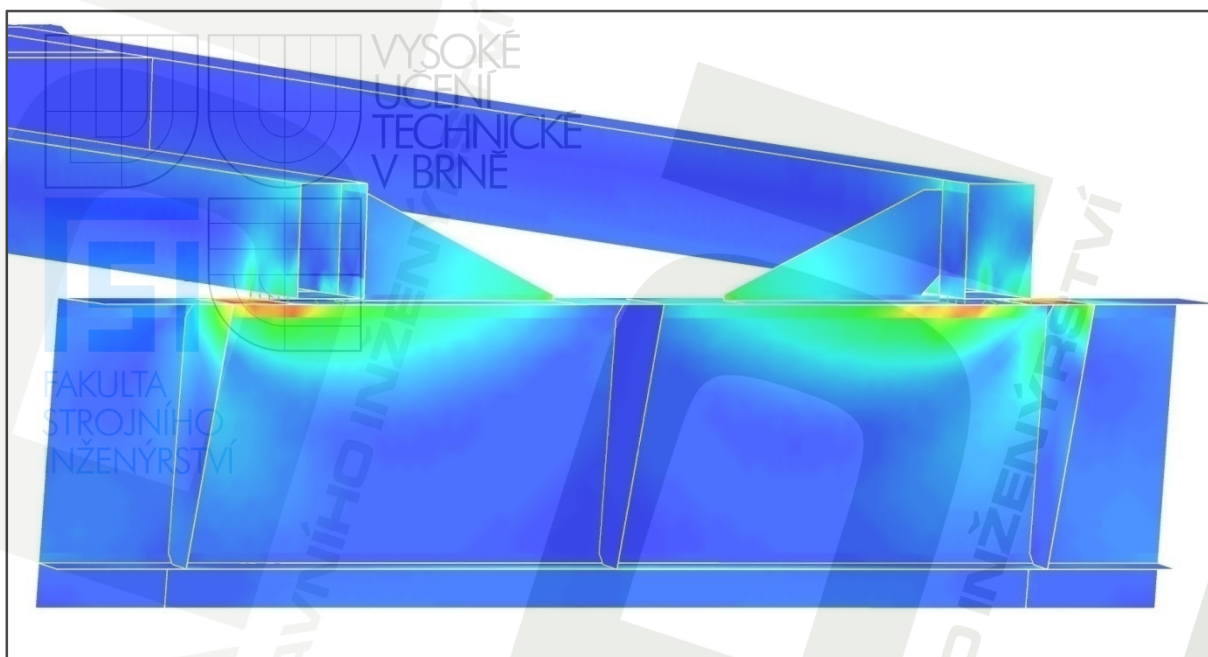
$$k_1 = 1,59$$

Bezpečnost vůči meznímu stavu hrabla je 1,59. Situace, kterou mezní stav na modelu znázorňuje, je maximální zatížení hrabla. Při tomto zatížení se automaticky vypne elektromotor, proto je bezpečnost dostačující a vyhovující.



Obrázek 34: Výsledky z programu I-DEAS

Na obrázcích (viz Obr. 34 a 35) je vidět koncentrace napětí kolem žeber a v místech napojení plechů a profilů. Pro snížení špiček těchto koncentrací mají žebra sražené hrany.



Obrázek 35: Výsledky z programu I-DEAS

8.2.3 Výsledky pro zatížení při zaseknutí hrabla

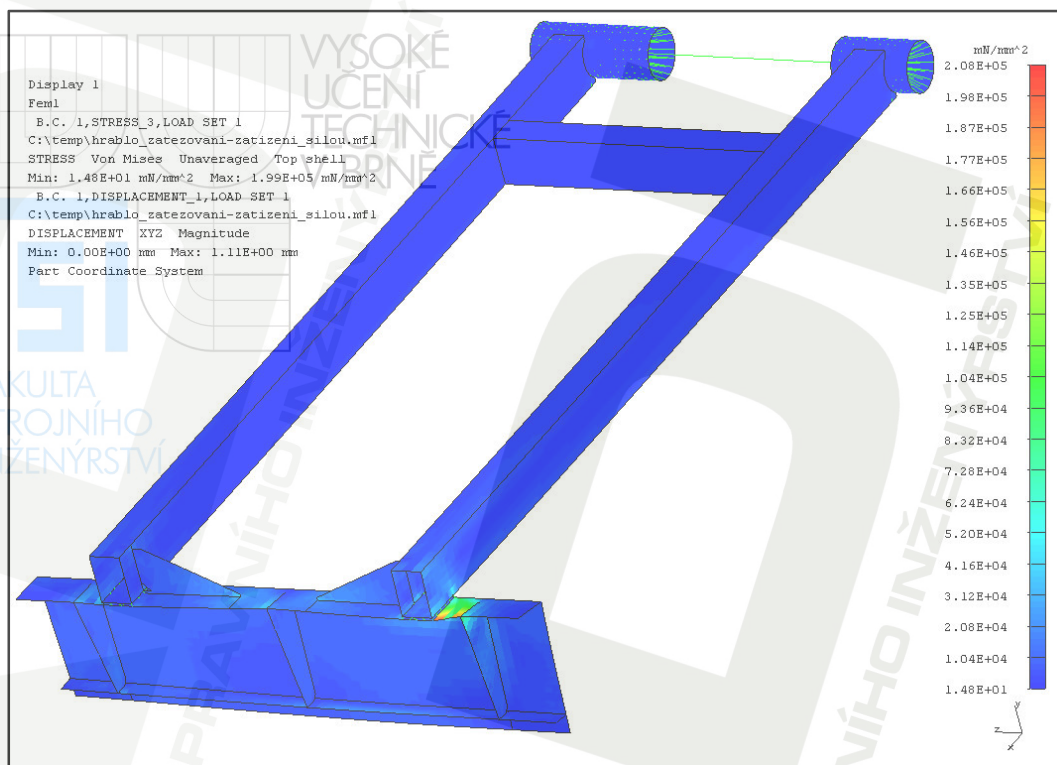
Při kontrole hrabla (viz Obr. 36) je počítáno se zatěžovacím stavem, kdy se hrablo zasekne jen v jedné své části (např. o předmět vzpříčený v česlicové mříži).

Při simulaci tohoto stavu byl vybrán nejvíce nebezpečný případ. Při zatěžování simulujeme stav, kdy se hrablo zasekne na jedné straně lopatky.

Výsledky z programu I-DEAS:

- Maximální napětí: $\sigma_{hmax} = 199 \text{ MPa}$
- Maximální průhyb: $l_{hmax} = 1,11 \text{ mm}$

Průhyb 1,11 mm je opět přijatelný z hlediska konstrukce hrabla. Maximální napětí je vyšší než u předchozího zatěžování.



Obrázek 36: Výsledky z programu I-DEAS

Výpočet bezpečnosti:

Kde: R_e [MPa] - mez kluzu
 σ_{h2max} [MPa] - maximální napětí na modelu
 k_2 [-] - bezpečnost vůči meznímu stavu

Známe: $R_e = 240$ MPa [13]
 $\sigma_{h2max} = 199$ MPa

$$k_2 = \frac{R_e}{\sigma_{h2max}} \quad (43)$$

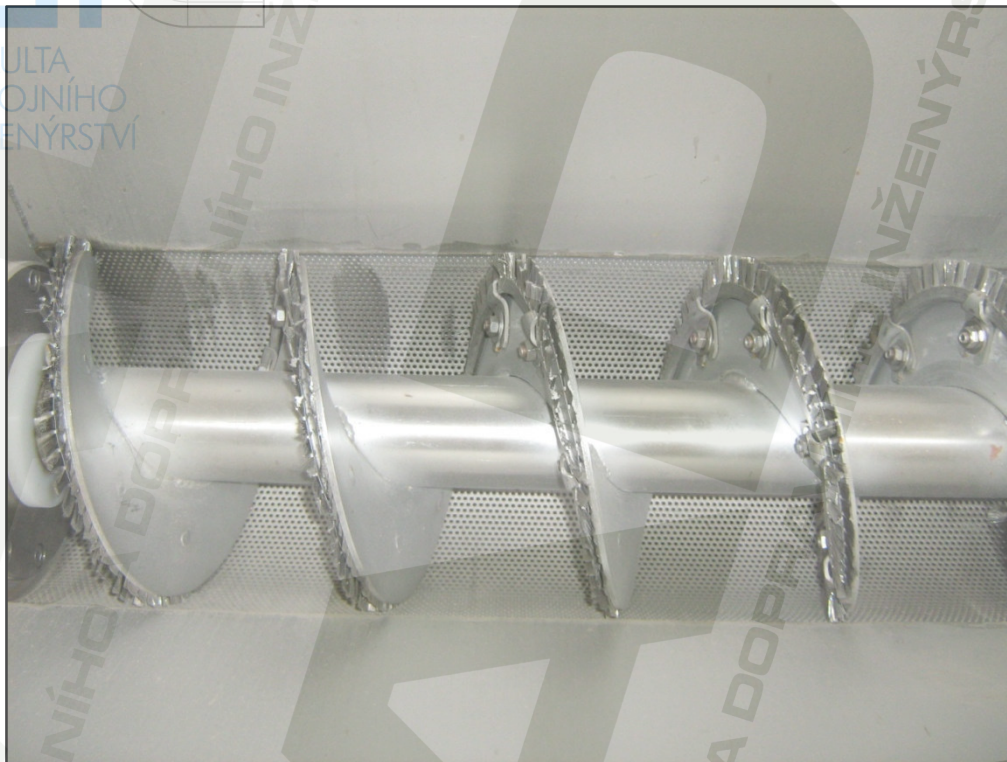
$$k_2 = \frac{240}{199} = 1,21$$

$$k_2 = 1,21$$

Bezpečnost vůči meznímu stavu hrabla je 1,21. K úplnému zaseknutí hrabla by nemělo docházet, protože před jemnými česlemi jsou předraženy česle hrubé. Větší částice, které by mohly poškodit česle, se zachytávají na česlích hrubých. Přes velké napětí je bezpečnost stále přijatelná a vyhovující.

9 Zpracování shrabků

Shrabky jsou často vodnaté (obsahují až 80% vody), a proto je vhodné je zbavit přebytku vody, tím zmenšit jejich hmotnost a objem před skladováním a odvozem. K odvodnění a hutnění shrabků při jejich dopravě do kontejneru se nejčastěji používá šnekový dopravník k tomu určený (viz Obr. 37).



Obrázek 37: Šnekový dopravník pro dopravu shrabků

Šnek dopravníku je upravený k mělnění shrabků a žlab dopravníku je perforovaný. Perforovaným žlabem dopravníku odtéká voda z mělněných shrabků. Shrabky z dopravníku vypadávají do kontejneru připraveného pro odvoz.

Ke zpracování shrabků se také používají lisy, a to nejčastěji pásové. Při použití lisu v kombinaci pásového dopravníku je vhodné dopravní trasu pokud možno zakrýt a vést i přímo k lisu. Lisováním se u shrabků z městských odpadních vod sníží obsah vody z cca 80% na cca 40%.

Shrabky je dále možné:

- kompostovat
- skládkovat
- spalovat

Pro kompostování jsou vhodné shrabky s převážně organickou hmotou. V průběhu tohoto procesu jsou současně hygienizovány. Pro skládkování je vhodné shrabky, které pochází ze splaškových, příp. městských odpadních vod, zbavit fekální hmoty propráním tlakovou vodou. Spalování je možné uplatnit u shrabků s převahou organické hmoty. Při tom je třeba dodržovat požadavky na kvalitu emise spalin. Proto není vhodné instalovat na městských ČOV spalovny shrabků z důvodu nízké vyvinuté teploty při spalování a nákladnému čištění spalin. Shrabky se odvázejí do velkých spaloven.

10 Závěr

V práci byl proveden návrh konstrukce mechanických shrabovacích česlí dle zadání. Vybrané nejvíce zatížené prvky česlí byly kontrolovány z hlediska mezního stavu napjatosti. Následující shrnutí popisuje problematiku jednotlivých kapitol.

10.1 Úvodní kapitola

Úvodní kapitola vysvětluje problematiku a funkci ČOV a hlavně problematiku z oblasti mechanického předčištění.

10.2 Funkce strojně stíraných česlí

V této kapitole je detailně zpracována problematika mechanického předčištění na mechanických česlích. Zabývá se řešením vtokového systému předčištění a instalací česlí do tohoto systému. Popisuje funkci a řízení takto instalovaných mechanických česlí.

10.3 Přehled některých druhů strojně stíraných česlí

Kapitola zpracovává přehled strojně stíraných česlí, vysvětluje funkci a popisuje konstrukci jednotlivých česlí.

Předmětem práce jsou hrablové mechanické shrabovací česle (kap. 3.1). Je kladen důraz na jednoduchost konstrukce těchto česlí, levnou výrobu a montáž. Česle jsou vyráběné převážně z nakupovaných polotovarů. Česle jsou ideální ČOV středních velikostí.

10.4 Základní technické parametry a výpočty

V kapitole 4 jsou základní výpočty potřebné k návrhu česlí do předem navrhnutého betonového kanálu. Dále jsou zde voleny základní parametry česlí.

10.5 Určení a výpočet zatížení česlí

Řeší síly potřebné k vyhrabování a to od zatěžující síly od vyhrabovaných nečistot a síly potřebné ke zvedání samotného hrabla česlí. Dále se zabývá zatížením česlic od proudící vody.

10.6 Volba pohonu a řízení pojezdu

Volí se vhodný elektromotor s převodovkou podle zadaných a vypočtených parametrů. Je popsána jeho funkce a řešení zabezpečení elektromotoru vůči okolním vlivům a přetížení.

10.7 Rozbor konstrukce česlí

Je proveden podrobný rozbor a popis celé konstrukce česlí a jejich hlavních částí. Tato kapitola je zpracována tak, aby byla vysvětlena funkce jednotlivých částí i jejich výroba a montáž.

10.8 Pevnostní kontrola

Pevnostní kontrola byla provedena na nejvíce namáhaných částech česlí:

- Hřídel
- Hrablo

Hřídel byl kontrolován při dynamickém namáhání podle Goodmanova kritéria. Bezpečnost pro hřídel dle výpočtu je $n_G = 2,98$. Hřídel je tedy z důvodu požadavku na největší průměr hřídele předimenzovaný. Hřídel je hnaný elektromotorem s převodovkou, který má na výstupu průběžný hřídel s průměrem 40 mm. Pro tento základní rozměr byl hřídel navrhován. Hrablo bylo kontrolováno metodou konečných prvků pomocí programu I-DEAS pro dva nejméně příznivé zatěžovací stavy:

- Hrablo je přetíženo shrabky nebo se zcela zasekne.

Bezpečnost vůči meznímu stavu hrabla je 1,59. Situace, kterou mezní stav na modelu znázorňuje, je maximální zatížení hrabla. Při tomto zatížení se automaticky vypne elektromotor, proto je bezpečnost dostačující a vyhovující.

- Hrablo se zasekne na jedné straně.

Bezpečnost vůči meznímu stavu hrabla je 1,21. K úplnému zaseknutí hrabla by nemělo docházet, protože před jemnými česlemi jsou předřazeny česle hrubé.

Větší částice, které by mohly poškodit česle, se zachytávají na česlích hrubých. Přes velké napětí je bezpečnost stále přijatelná a vyhovující.

10.9 Zpracování shrabků

Zpracovává stručný popis dopravy a dalšího zpracování shrabků z mechanických česlí využívaných na ČOV.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

11 Literatura

- [1] HLAVÍNEK P., HLAVÁČEK J.: *Čištění odpadních vod - praktické příklady výpočtů*, ISBN 80-86020-00-2, Nakladatelství Noel 2000, Brno 1996
- [2] PILKEY WLATER D.: *Peterson's Stress Concentration Factors (2nd Edition)*, ISBN 0-471-53849-3 Nakladatelství John Wilery & Sons 1997
- [3] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- [4] ČSN EN 12255-3: 2002. Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění.
Praha: Český normalizační institut, 2002. 7 s.
- [5] INTEGRACE – institut pro evropskou politiku [online] [cit. 4. 5. 2008]
Dostupné z: <http://www.integrace.cz>
- [6] MVE technika – čištění komunálních a průmyslových odpadních vod [online]
[cit. 10. 5. 2008] Dostupné z: <http://www.mve.cz>
- [7] SBH WATER – technologie čištění komunálních a průmyslových odpadních vod
[online] [cit. 7. 5. 2008] Dostupné z: <http://www.sbhwater.cz>
- [8] HUBER technology – výroba ocelových konstrukcí pro vodohospodářská zařízení
[online] [cit. 13. 5. 2008] Dostupné z: <http://www.hubercs.cz>
- [9] JWC international – technologie pro vodohospodářské stavby [online] [cit. 9. 5. 2008]
Dostupné z: <http://www.kh-kinetic.cz>
- [10] Fontana R s.r.o. – zařízení pro čistírny odpadních vod [online] [cit. 2. 4. 2009]
Dostupné z: <http://www.fontanar.cz>
- [11] BELT PLAST s.r.o. – výrobce a dodavatel plastových materiálů [online]
[cit. 2. 4. 2009] Dostupné z: <http://www.beltplast.cz>
- [12] NORD – poháněcí technika [online] [cit. 2. 4. 2009] Dostupné z: <http://www.nord.com>
- [13] INOX, spol. s.r.o. – nerezový hutní materiál [online] [cit. 2. 4. 2009]
Dostupné z: <http://inoxspol.cz/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma čističky odpadních vod	13
Obrázek 2: Obtokový kanál s ručně shrabovanými česlemi	14
Obrázek 3: Mechanicky stírané česle hrablové	16
Obrázek 4: Strojně stírané česle řetězové [6]	17
Obrázek 5: Hydraulické česle – výsuvné [7]	18
Obrázek 6: Hydraulické česla se shrabováním RnR [6]	19
Obrázek 7: Rotační bubnové česle [8]	20
Obrázek 8: Bubnové česle s drtičem [9]	21
Obrázek 9: Samočisticí česle MEVA – Rotoscreen [6]	22
Obrázek 10: Samočisticí česle MEVA – Monoscreen [6]	23
Obrázek 11: Strojní česle hrubé [10]	24
Obrázek 12: Strojní česle hrubé spodem stírané [10]	25
Obrázek 13: Ztráta tlakové výšky	28
Obrázek 14: Tvary česlic a hodnoty součinitele β [1]	29
Obrázek 15: Síly při zvedání shrabků	32
Obrázek 16: Síly při zvedání hrabla	33
Obrázek 17: Hrablový vozík	35
Obrázek 18: Elektromotor s převodovkou NORD [12]	38
Obrázek 19: Mechanicky stírané česle hrablové	40
Obrázek 20: Svarek rámu - horní část	41
Obrázek 21: Svarek rámu - dolní část	42
Obrázek 22: Sestava rámu – výsypka	43
Obrázek 23: Sestava rámu - dolní část	44
Obrázek 24: Hrablový vozík	45
Obrázek 25: Rám vozíku	46
Obrázek 26: Páka hrabla	46
Obrázek 27: Kolo vozíku	47
Obrázek 28: Pojezdový hřeben	48
Obrázek 29: Hrablo	49
Obrázek 30: Plovák	50
Obrázek 31: Hřídél	51
Obrázek 32: Síly působící na hřídél	53
Obrázek 33: Výsledky z programu I-DEAS	61
Obrázek 34: Výsledky z programu I-DEAS	62
Obrázek 35: Výsledky z programu I-DEAS	63
Obrázek 36: Výsledky z programu I-DEAS	64
Obrázek 37: Šnekový dopravník pro dopravu shrabků	65

Seznam příloh

	Mechanické hrablové česle – trimetrický pohled	obrázek
10 000 – 0	Mechanické hrablové česle	výkres
10 001 – 1	Instalační sestava	výkres
10 002 – 0	Hrablový vozík	výkres
10 003 – 1	Hrablo	výkres
10 004 – 3	Hřídel	výkres