



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

VERTIKÁLNÍ ČESLE

VERTICAL RACK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL KOVÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN BRANDEJS, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Kovář

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

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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:

Vertikální česle

v anglickém jazyce:

Vertical rack

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh vertikálních česlí s lisováním shrabků s těmito parametry: hloubka šachty 3200 mm, typová šachta 501

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr(Konstrukční,technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro potřeby průmyslu

Seznam odborné literatury:

Tuček, F; Chudoba, J; Koníček, Z. Základní procesy a výpočty v technologii vody. 2. vyd. SNTL Praha, 1988, 633 s.

Mazel, L; Pokorný, M.: Vodárny a čistírny, 2.vyd., VUT Brno, 1992

Clarifier design. Manual of practice FD-8, Facilities development, Water pollution control federation, Washington, 1985

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Brandejs, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 23.11.2009

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh vertikálních česlí s lisem shrabků pro typovou šachtu 501 hloubky 3200 milimetrů. Součástí šachetního systému je atypické dno se dvěma přítoky a jedním odtokem odpadní vody. Těmto požadavkům byly přizpůsobeny rozměry i tvar celé konstrukce. Diplomová práce je rozdělena do několika částí, ve kterých je postupně zpracován návrh konstrukce česlí s příslušenstvím, úprava šachetního dna a ukotvení vertikálních česlí.

KLÍČOVÁ SLOVA

vertikální česle, mechanické předčištění odpadních vod, lisování shrabků, šachetní systém 501

ABSTRACT

Target of master thesis is constructional design of vertical rack with press of screenings for shaft type 501 up to 3200 mm deep. Part of this shaft system is atypical bottom with two inflows and one outflow of sewage water. According to these requirements there were adapted dimensions and shapes of whole construction. Master thesis is divided into several parts, where is disposed construction design of rack with supplement, modification of shaft bottom and embedment of vertical rack.

KEY WORDS

vertical rack, mechanical sewage purification, pressing screenings, sewage canal 501

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOVÁŘ, P. *Vertikální česle*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Brandejs, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za pomocí uvedené literatury a pod odborným vedením Ing. Jana Brandejse, CSc.

V Brně dne

.....

Pavel Kovář

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Brandejsovi, CSc. za odbornou pomoc při řešení problémů na dané téma a dále také své rodině a přítelkyni za podporu a pomoc při psaní diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	13
1 TYPY SOUČASNÝCH ČESLÍ A JEJICH ROZDĚLENÍ	14
1.1 Základní rozdělení česlí podle velikosti průlin	14
1.1.1 Hrubé česle	15
1.1.2 Střední česle	15
1.1.3 Jemné česle	16
1.2 Rozdělení česlí podle způsobu vyklízení	16
1.2.1 Ručně vyklízené česle	16
1.2.2 Strojně stírané česle	17
1.3 Rozdělení česlí podle typu konstrukce	19
1.3.1 Síťové česle	19
1.3.2 Česle s česlicovou mříží	19
1.3.3 Rotační česle	19
1.3.4 Rotační síto	20
1.3.5 Rotační šnek se sítem	21
1.3.6 Rotační česle vertikální	21
1.3.7 Česle STEP SCREEN	22
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	23
2.1 Formulace řešeného problému	23
2.2 Popis principu funkce vertikálních česlí	23
2.3 Požadavky výrobce	23
2.4 Technická analýza problému	24
2.5 Vývojová analýza	24
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	25
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	26
5 NÁVRH ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	27
5.1 Těleso česlí	27
5.2 Šnekový dopravník	28
5.3 Lisovací zařízení	29
5.4 Volba materiálu	29
5.5 Koncept vertikálních česlí	30
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VERTIKÁLNÍCH ČESLÍ	32
6.1 Sestava vertikálních česlí	32
6.2 Návrh česlicového koše se sítem	33
6.2.1 Návrh experimentu pro určení ztrátové výšky hladiny za česlemi	34
6.2.2 Určení maximálního průtoku	35
6.2.3 Návrh česlicového síta	35
6.2.4 Určení rozměru sít a výpočet průtoku sítem	36
6.2.5 Rámy česlicových sít	38
6.3 Konstrukce vertikálního dopravníku česlí	39
6.3.1 Vertikální dopravník	39
6.3.2 Příruba dopravníku a vyhazovač shrabků	40
6.3.3 Spirálový kartáč	41
6.4 Těleso česlí	43
6.5 Lisovací zařízení s výpadem	44

6.5.1 Lis vertikálních česlí	44
6.5.2 Výpad pro shrabky	45
6.5.3 Vyhazovač	46
6.5.4 Tlaková hadice AQUAFLAT 10	47
6.6 Pohon vertikálních česlí	47
6.6.1 Výpočet výkonu	47
6.6.2 Výběr elektromotoru s převodovou skříní	50
6.6.3 Elektromotor s plochou čelní převodovkou SK 4282 VF VL2 – 90/L4	50
6.6.4 Příruba s manipulačními úchyty	55
6.6.5 Spojka	56
7 UKOTVENÍ VERTIKÁLNÍCH ČESLÍ	58
7.1 Konstrukce objímek se vzpěrami	58
7.2 Možnosti kotvicích prvků	59
7.2.1 Mechanické kotvení	59
7.2.2 Chemické kotvení	60
8 ŠACHETNÍ SYSTÉM 501	63
8.1 Šachetní skruže	64
8.2 Šachetní dno	64
8.3 Poklop šachty	65
9 ODHAD CENOVÉ KALKULACE VERTIKÁLNÍCH ČESLÍ	67
ZÁVĚR	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	73
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A GRAFŮ	75
SEZNAM TABULEK	77
SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	78

ÚVOD

S narůstajícími požadavky na ochranu životního prostředí se vyvíjí i strojní zařízení, které by mělo k ochraně životního prostředí napomáhat. Jedním z nejdůležitějších odvětví je vodohospodářství a to především z důvodu, že na Zemi začíná být nedostatek pitné vody. Také z této příčiny vznesla Evropská Unie požadavek, který se týká čištění odpadních vod. Podle tohoto požadavku by měly mít obce, jejichž počet překračuje 2000 obyvatel, do roku 2010 vlastní čističku odpadních vod. Podobné požadavky jsou kladeny také na areály velkých firem a další podobná zařízení.

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh vertikálních česlí s automatickým vyklízením a lisováním shrabků. Česle mají být navrženy pro typovou šachtu 501 o hloubce 3200 mm. Přítok do šachty zajišťují dvě potrubí o průměru 300 milimetrů a jedním potrubím stejného průměru je realizován i odtok.

Automaticky vyklízené vertikální česle slouží k mechanickému předčištění druhého stupně odpadních vod. Užívají se k odstranění menších plovoucích nečistot z vodního toku, jako jsou například odpadky, listí, textilie, vlákna, vlasy, či drobné odpadky, které by mohly poškodit, či funkčně ovlivnit následující technologická zařízení, nebo ucpat vtoky k těmto zařízením. Jejich nejčastější použití je u čističek odpadních vod (ČOV). Podle typu konstrukce a velikosti průlin se řadí mezi jemné česle pro malá průtočná množství. Samotná konstrukce se skládá z tělesa česlí, síta, hřídele se šnekovnicí, lisovacího zařízení, pohonu a kotvících prvků. Umístění česlí je, jak již název napovídá, ve vertikální poloze a celé zařízení je instalováno do typové šachty 501.

Základním požadavkem na konstrukci česlí je jednoduchost, snadná údržba, cenová dostupnost a plně automatická obsluha. Celkové koncepční řešení by mělo být navrženo tak, aby dosahovalo vysoké efektivity dle požadavků na mechanické předčištění vody a svojí přítomností nezatěžovalo okolní životní prostředí.

1 TYPY SOUČASNÝCH ČESLÍ A JEJICH ROZDĚLENÍ

Česle jsou technologická zařízení, která slouží k zachycení a následnému odstranění hrubě rozptýlených nečistot plujících po hladině, či unášených pod hladinou. Zachycené nečistoty a předměty, jako jsou například listí, větve, trámy, různé odpadky, těla uhynulých zvířat a další, se nazývají shrabky. Dále jsou tato zařízení využívána také v zimním období pro zachycení ledových ker.

Tato zařízení jsou umisťována na řeky, zejména na náhony vodních děl a jezů, pro zachycení zmíněných nečistot a zabránění vniknutí předmětů do turbín vodních elektráren a mlýnů.

Do zvláštní kategorie řadíme česle využívané ve vodárnách a na čističkách odpadních vod (ČOV). Na čističkách odpadních vod jsou česle nedílnou součástí mechanického předčištění odpadních vod. Zpravidla jsou česle umístěny v takzvaných česlovnách, což jsou přizpůsobené budovy pro česle, které jsou z důvodu značného zápachu umístěné mimo objekt samotné ČOV. Ve vodárnách plní česle podobně jako u ČOV funkci prvního stupně mechanického předčištění, ale na rozdíl od čističek se nejedná o odpadní vodu, nýbrž o vodu užitkovou z vodních toků.

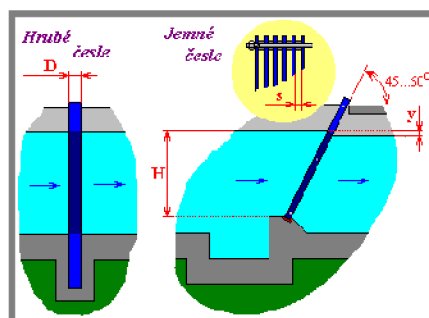
Česle svou stavbou připomínají mříž, jejíž hustota je závislá na druhu česlí. Samotná konstrukce bývá instalována v kolmém směru vzhledem k řečišti, nebo s odklonem 45° - 60° ode dna řeky podle daného druhu zařízení. Samotné česle se skládají z česlic (jednotlivé segmenty) a průlin (mezery mezi nejbližšími česlicemi), podle kterých jsou rozdělovány do tří základních skupin.



Obr. 1.1 Náhon vodního díla [27]

1.1 Základní rozdělení česlí podle velikosti průlin

Dělení česlí se řídí podle vhodnosti jejich využití, tj. podle uspořádání, velikosti zachycovaných nečistot a provedení. Základní typy česlí se dělí podle jejich využití na česle hrubé, střední a jemné.



Obr. 1.2 Schéma hrubých a jemných česlí [26]

1.1.1 Hrubé česle

Hrubé česle slouží k zachycení, či odklonění velkých předmětů unášených vodním proudem jako jsou trávy, kmeny stromů, ledové kry a podobně, které mohou poškodit ochranné stavidlo náhonu, nebo zcela upchat přítokovou část náhonu. Tohoto typu česlí je nejčastěji využíváno na derivačních vodních dílech. To jsou taková vodní díla, která jsou umístěna mimo hlavní tok řeky. Hrubé česle jsou většinou umístěny v rozšířeném vstupu náhonu, jehož počátek se odděluje od hlavního toku 2 – 15 metrů před jezem hlavního řečiště. Díky tomuto uspořádání mohou být velké předměty strženy proudem vody zpět do koryta řeky a hnány dále na jez. Konstrukce hrubých česlí jsou prováděny traverzami, či silnostěnnými trubkami o minimálním průměru 80 mm, které jsou většinou kolmo zabetonovány v řečišti. Jejich horní část může, ale nemusí, být spojena například lávkou, zvyšující celkovou tuhost konstrukce, ale nepříznivě ovlivňující manipulaci zaklíněných předmětů při vyklízení. Vzdálenost jednotlivých segmentů (velikost průlin) bývá v rozmezí 80 – 100 mm, u velmi hrubých česlí dosahuje tato hodnota rozmezí 100 – 500 mm, musí však být použity alespoň čtyři česlice. Celková šířka jednoho zařízení je dána šířkou náhonu a obvykle činí jeden a půl násobek jeho průměrné šířky.

1.1.1

1.1.2 Střední česle

Střední česle mají podobné využití jako česle hrubé, tj. zachycení, nebo odklonění hrubých plovoucích, nebo vodou unášených nečistot, čímž zabraňují poškození následujících technologických zařízení. Střední česle jsou většinou používány v kaskádovém uspořádání a jsou umístěny mezi hrubé a jemné česle. Střední česle se liší od hrubých velikostí jednotlivých česlic, které jsou menší, ale především velikostí průlin které jsou v rozmezí 20 – 25 mm. Menší velikostí mezer mezi jednotlivými česlicemi dochází k vyššímu stupni mechanického předčištění vody, jsou zachytávány i menší nečistoty v podobě malých kousků dřeva, drobnějšího odpadu atd. Konstrukce celého zařízení je shodná s konstrukcí hrubých česlí, jediný rozdíl je v umístění česlí v korytu řeky, které již nemusí být jen kolmé ke dnu, ale mohou být zabudovány s odklonem ode dna 45° - 60° podobně jako jemné česle. Střední česle tedy tvoří mezistupeň mezi hrubými a jemnými česlemi, zachycují menší nečistoty, jež by však mohly poškodit česlice jemných česlí, což je hlavní důvod jejich využití. Tento druh česlí však nemusí být vždy využíván.

1.1.2

1.1.3 Jemné česle

Jemné česle se používají pro ochranu všech vodních děl a jejich hlavním úkolem je zachycení všech nečistot, které by mohly poškodit, či zcela zničit technologické zařízení, nebo ucpat přítokové cesty. Jemné česle jsou konstruovány jako velice hustá mříž, skládající se z železných tyčí o rozměrech v rozmezí 50 x 4 mm až 100 x 20 mm, které jsou spojeny v horní části kruhovou tyčí. Všechny základní prvky tohoto zařízení jsou konstruovány z běžné konstrukční oceli třídy 11. Velikost průlin u těchto česlí je do 10 mm a zároveň musí splňovat podmínku, že musí být užší než nejmenší průtokový průřez vodního motoru, což je hodnota odpovídající minimálnímu provoznímu průtoku, nebo velikost mezery mezi lopatkami oběžného kola na straně odtoku. Tvar česlic může být stejně jako u větších typů česlí v příčném průřezu kruhový, pro menší odpor při obtékání vody jednotlivých prvků. Pro jemné česle se však u větších elektráren často používá specifický tvar česlic, připomínající v průřezu tvar kapky a mající značně nižší koeficient odporu při obtékání. Použití tohoto tvaru u česlic je vhodné především pro snížení hodnoty ztráty spádu na česlích (rozdíl výšky hladiny před a za česlemi), která je nejmarkantnější právě u tohoto typu česlí. Ztráta spádu vzniká v důsledku narušení průřezu proudící kapaliny, jež je nucena mezi jednotlivými česlicemi zvýšit rychlost proudění, čímž dochází ke zvýšení odporu a následné ztrátě spádu. Z toho vyplývá, že rozdíl hladiny před a za česlemi je závislý především na tvaru česlic, jejich hustotě a rychlosti proudění kapaliny. Ztrátu spádu, tedy rozdíl hladin, lze matematicky vypočítat za předpokladu, že jsou česle čisté. Hodnota ztráty spádu je však v reálném využívání česlových mechanismů vyšší právě díky nečistotám, které mohou v krajních případech průtok zcela zastavit.

Tab. 1.1 Rozdělení česlí podle velikosti průlin

Typ česlí	Velikost průlin [mm]
Velmi hrubé česle	100 – 500
Hrubé česle	80 – 100
Střední česle	20 – 25
Jemné česle	10

1.2 Rozdělení česlí podle způsobu vyklízení

Česle dělíme podle způsobu jejich vyklízení (stírání) na česle ručně vyklízené a na česle strojně stírané, které můžeme dále rozdělit dle typu vyklízacího mechanismu.

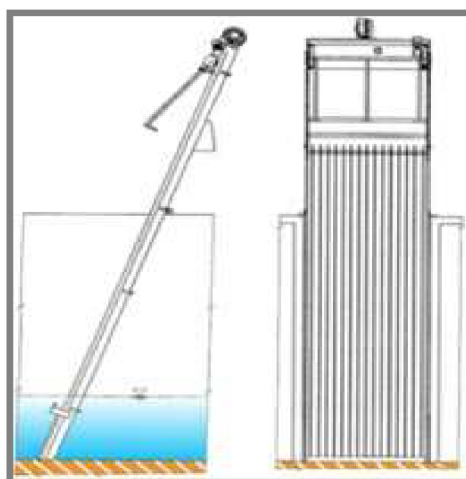
1.2.1 Ručně vyklízené česle

Ručně vyklízené (stírané) česle jsou ty, jež nemají žádný stírací mechanismus, a jejich čištění je prováděno ručně hráběmi, které jsou speciálně upraveny na daný typ zařízení. Mezi ručně stírané česle obvykle patří pouze hrubé, či střední česle, u jemných česlí se upřednostňuje stojní vyklízení.

1.2.2 Strojně stírané česle

1.2.2.1 Strojně stírané česle vozíkové SČV

Jedná se o plně automatické česle, určené pro středně velké nátokové kanály. Speciálním tvarem konstrukce rámu minimalizují hydraulický odpor a zvýšení hladiny před zařízením. Na bočních stranách rámu jsou umístěny ozubené hřebeny, po nichž se pohybuje vozík nesoucí stírací hrábě. Součástí vozíku je také pohon a zvedací mechanismus hrábí, který zajišťuje všechny pohyby stíracího mechanismu. Stírání shrabků je prováděno tak, že nejprve vozík sjede se zvednutými hráběmi dolů, po najetí na doraz s čidlem se spustí hrábě do česlicové mříže a reverzním pohybem vozíku dochází ke stírání nečistot, jež jsou ve výsypné výšce vysypány. Tento pohyb se cyklicky opakuje. Při stírání shrabků jdou pod hladinu vody pouze hrábě, vozík s pohonem zůstává vždy nad hladinou, což zajišťuje plovákový mechanismus s čidlem. Hloubku ponoření hrábí řídí mechanismus hrábí tak, aby došlo k úplnému vyčištění česlicové mříže.



Obr. 1.3 Strojně stírané česle vozíkové [24]

1.2.2.2 Strojně stírané česle řetězové SČŘ

Toto konstrukční řešení stírání je vhodné především pro velké a střední nátokové kanály, které mají vysokou hladinu vody. Konstrukce tohoto mechanismu se skládá z pohonu umístěného v horní části česlí a řetězového převodu s vyhrnovacími lištami. Řetězový převod je složen z řetězových kol na hnací hřídeli v horní části česlicové mříže, které pohánějí řetěz, a z hnané hřídele s hnanými ozubenými koly, která se nachází na spodní straně mříže. Na řetězech jsou vyhrnovací lišty, jež shrabují nečistoty z česlic a dopravují je do odpadního žlabu.



Obr. 1.4 Strojně stírané česle řetězové [24]

1.2.2.3 Strojně stírané česle hrablové SČH

Tento typ zařízení je předchůdcem vozíkových strojně stíraných česlí. Jeho konstrukce je velice podobná. V horní části je pohon a mechanismus hrábí pevně spojen s rámem, pohyb hrabadla je realizován pomocí pojezdového kola pohybujícího se po hřebenech umístěných na rámu. Podobně jako u SČV, je hrabadlo při pohybu dolů zdviženo, v dolní úvratí zapadá mezi česlicovou mříž a reverzním pohybem jsou nečistoty stírány a ve výsypné výšce vymeteny z hrabla. Tento pohyb se cyklicky opakuje. Výhoda SČH je v tom, že ji lze použít i do úzkých nátokových kanálů, oproti SČV, která je limitována minimálním rozměrem vozíku daným především velikostí pohonné jednotky. Jejich nevýhody jsou především ve funkčních nedostatcích, z nichž hlavním je nadlehčování hrabla při stírání většího množství shrabků.



Obr. 1.5 Strojně stírané česle hrablové [25]

1.3 Rozdělení česlí podle typu konstrukce

1.3

Další možností dělení česlí se realizuje podle typu konstrukce a využití.

1.3.1 Síťové česle

1.3.1

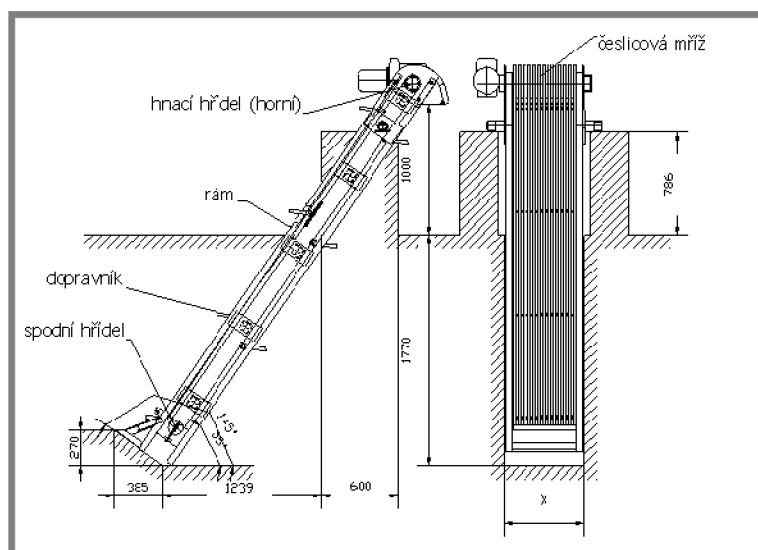
Tento typ česlí se využívá především na malých řekách pouze jako zábrana, nebo jako nouzové krátkodobé řešení. Konstrukce se skládá z jednoduchého rámu a plotového pletiva. Za hlavní nevýhodu můžeme u tohoto typu zařízení považovat špatné čištění pletiva a riziko porušení celé sítě, které může vzniknout následkem zvětšení tlaku při zvýšeném zanesení pletiva.

1.3.2 Česle s česlicovou mříží

1.3.2

Tyto česle, jak již bylo zmíněno výše, jsou svojí konstrukcí standardním představitelem tohoto zařízení. Patří mezi ně ručně stírané česle, vozíkové, hrablové a řetězové strojně stírané česle. Tato jednoduchá konstrukce se skládá z rámu, železných prutů (česlic) a popřípadě stíracího zařízení.

Základní rozdělení česlí se uskutečňuje podle velikosti průlin na tři typy: hrubé, střední a jemné česlicové mříže. Jejich využití, konstrukce a popis funkce byla popsána v odstavci 1.1



Obr. 1.6 Česle s česlicovou mříží [25]

1.3.3 Rotační česle

1.3.3

Rotační česle se používají pro čištění vod o větším průtočném množství. Konstrukce zařízení kombinuje funkci česlí s vyklízacím mechanismem v podobě šnekového dopravníku. Samotná konstrukce se skládá z česlicového koše válcového tvaru s průlinami 6 až 10 mm, kterým prochází hřídel s ramenem, na jehož konci je stírací hřeben, mající zuby procházející průlinami a čistící koš od zachycených nečistot. Hřídel je současně hřídelí šnekového dopravníku, kterým jsou shrabky dopravovány do lisovací zóny na konci stroje. Česle jsou ukládány do žlabu o sklonu 35°. Plně automatický systém vyklízení je spouštěn pomocí čidla hladiny vody, a to

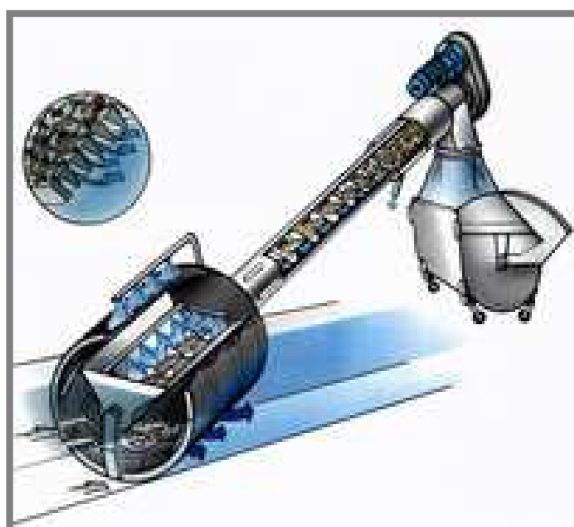
tak, že při zanesení síta shrabky dojde ke vzduť hladiny a tím k následnému spuštění zařízení.



Obr. 1.7 Rotační česle [13]

1.3.4 Rotační síto

Rotační síta jsou určena pro čištění většího průtočného množství odpadní vody s velkou jemností čištění, které se provádí pomocí trysek s užitkovou vodou, ostříkující síto. Zařízení je konstruováno tak, že přitékající voda protéká přes síto s průřehy 0,5 – 6 mm, jež je pevně spojeno s hřídelí šnekového dopravníku a současně se s ní otáčí. Stabilita bubny při otáčení je zajištěna soustavou kladek. Podobně jako u rotačních česlí dojde ke spuštění mechanismu po zvýšení hladiny v důsledku zanesení síta shrabkami pomocí automatického ovládání. Zachycené shrabky na vnitřních stěnách bubny jsou rotačním pohybem přesunuty do horní úvratě, kde jsou odstříknuty proudem vody a padají do šnekového dopravníku. Poté jsou dopravníkem dopraveny do lisovací zóny, odkud následně po vylisování vypadávají přes bezpečnostní kladku do připravené nádoby. Zařízení je uloženo do žlabu, jehož osa svírá se zemí úhel 35°.



Obr. 1.8 Rotační síto [13]

1.3.5 Rotační šnek se sítím

Tento typ česlí je určen pro předčištění komunálních a průmyslových odpadních vod. Zařízení se skládá ze síta s průlinami 1 – 6 mm, šnekovnice s kartáči, žlabu a lisovacího zařízení. Shrabky, ulpívající na vnitřní straně síta, jsou stírány kartáčem připevněným na šroubovici a dále posouvány do tubusu se šnekovnicí k lisovacímu prostoru. Spuštění celého mechanismu je shodné s jinými rotačními mechanismy prostřednictvím automatického ovladače při vzednutí hladiny po zanesení síta. Zařízení je uloženo ve žlabu o sklonu $35^\circ - 48^\circ$.



Obr. 1.9 Rotační šnek se sítím [13]

1.3.6 Rotační česle vertikální

Využití tohoto typu zařízení a jeho konstrukce je velice podobná s konstrukcí rotačního šneku se sítím. Jediný rozdíl je v umístění osy stroje, která je na rozdíl od běžného šneku se sítím pod úhlem $\alpha = 90^\circ$, tj. kolmo ke směru toku vody. Hlavními částmi zařízení je těleso česlí, síto s průlinami, šnekovnice a zařízení k lisování shrabků.



Obr. 1.10 Rotační česle RoK4 [14]

1.3.7 Česle STEP SCREEN

Jedná se o jemné česle pro mechanické předčištění vod. Jsou zkonstruovány na principu lamelových schodovitých jednotek, které jsou v párech, vždy jedna pevná a jedna pohyblivá. Lamely tak tvoří filtrační koberec dopravující zachycené shrabky k výpadu. Pro lepší představivost lze toto zařízení přirovnat k eskalátoru.



Obr. 1.11 Česle STEP SCREEN [13]

K mechanickému předčištění odpadních vod se využívají i jiná zařízení jako alternativa k česlím, mohou to být například síta, mikrosíta, mēlnící česle, dezintegrátory atd. Tyto technologie zde však již nebudou popsány, protože se přímo nevztahují k tématu práce.

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2

2.1 Formulace řešeného problému

2.1

Zvyšující se nároky na životní prostředí a ekologii ovlivňují mimo jiné požadavky na vodohospodářství a čištění vody celkově. Z tohoto důvodu přibývá také strojních zařízení na čištění vod ve městech, velkých areálech firem, či jiných objektech. Proto se mnohé firmy začínají zajímat o zařízení určené k čištění vody, mezi které patří i stroje k mechanickému předčištění odpadních vod. Jedním z takových je i zadavatel tématu diplomové práce firma HANAKOV spol. s r.o., požadující vypracování návrhu vertikálních česlí.

Řešení zadaného problému tedy spočívá v návrhu vertikálních česlí k mechanickému předčištění odpadních vod umístěných v typové šachtě 501, vypracování 3D modelu a vyhotovení výkresové dokumentace. Tento návrh musí zohledňovat zadané parametry, funkčnost a v neposlední řadě finanční předpoklad.

2.2 Popis principu funkce vertikálních česlí

2.2

Zařízení slouží k mechanickému předčištění odpadních vod v šachetních systémech. Vertikální česle jsou tvořeny především ze dvou technologicky důležitých částí, kterými jsou stírané síto a svislý šnekový dopravník.

Síto se skládá ze dvou sešroubovaných půlkruhových kusů, které dohromady tvoří uzavřený koš tvaru válce. Otvor v jedné polovině koše slouží jako vtok a je opatřen náběhovým plechem.

Do koše tedy proudí odpadní voda a mechanické nečistoty jsou zachytávány na vnitřní straně síta. Otáčením hřídele je síto stíráno lištovým kartáčem, který je připevněn na šroubovici dopravníku v oblasti česlicového síta. Mechanické nečistoty jsou postupně dopraveny do horní části zařízení, kde se nachází lisovací zařízení. Zde jsou zachycené a vynesené shrabky vylisovány a pomocí vyhazovače vypadávají do připravené nádoby. Vylisovaná voda stéká hadicí zpět do šachty. Nespornou výhodou konstrukce tohoto zařízení je odolnost vůči štěrku a písku.

2.3 Požadavky výrobce

2.3

Zadavatel přesně specifikoval konečné požadavky na umístění stroje, úpravu šachetního dna a s tím spojené parametry stroje. Dále pak požadovaný výsledný průtokový výkon zařízení, termín vydání a formu zpracování výkresové dokumentace.

Požadavky zadavatele:

- a) Rozměry stroje pro upravené šachetní dno s dvěma přítoky a jedním odtokem (dle šachetního systému 501)
- b) Hloubka šachty 3200 mm
- c) Separace mechanických nečistot s jedním rozměrem větším než 6 mm
- d) Lis shrabků s výpadem navržený v dostatečné výšce pro umístění kontejneru
- e) Hmotnost stroje by neměla přesáhnout 1500 kg, pro snadnou manipulovatelnost a umístění do šachty běžně dostupným nákladním autem s hydraulickou rukou
- f) Pohon stroje elektromotorem (400 V)
- g) Rozebíratelná konstrukce a snadná údržba

2.4 Technická analýza problému

Předpokladem je, že se navržený stroj nebude vyrábět ve specializované firmě, která se zabývá pouze vodohospodářskými výrobky a proto je nutno navrhnout co nejefektivnější technologické postupy pro výrobu daného stroje s ohledem na ekonomickou nákladnost výroby. Jednotlivé podsestavy celkové konstrukce stroje jsou z velké většiny navrženy z plechových, či profilových dílů, především u tělesa česlí, které jsou převážně skružovány a následně svařovány do jednotlivých dílů. Pro prvky jako jsou například mezikruží u lisu, příruby motoru, či montážní otvory, je hlavně z ekonomického hlediska vhodné použít výpalky, namísto ruční výroby.

Při výrobě všech částí stroje se kladou určité požadavky na přesnost, avšak největší se klade na výrobu podsestavy šnekovnice. Na hřídel se navaří příruba s vyhazovačem, nejlépe na přípravku, nebo ve vřetenu soustruhu, aby nedocházelo k házení svařence. Následně jsou na tento celek navařeny buďto jednotlivé tažené listy šnekovnice, nebo celá spirála. Dalším krokem může být ořezání šnekovnice plazmovým řezákem v přípravku, či plazmovým CNC strojem na požadovaný průměr. Vysoká přesnost je na tuto část kladena především proto, aby za chodu stroje nedocházelo ke kolizím s tělesem česlí.

Nedílnou součástí při konstrukci stroje je spolupráce se subdodavateli, především s dodavatelem elektromotoru a výrobcem děrovaných sít.

2.5 Vývojová analýza

Počáteční fází při návrhu konstrukce vertikálních česlí bylo nastudování podobných zařízení k čištění odpadních vod a nastudování základní problematiky těchto zařízení. Následně bylo navrženo koncepční řešení, které se týkalo především základních parametrů stroje, jako je průtok a základní rozměrové parametry. Tento základní návrh byl konzultován se zástupcem firmy IN-EKO Team, která vyrábí podobné stroje pro mechanické čištění vody a pracuje na prototypu vertikálních česlí.

Dalším krokem bylo přesné určení průtokových parametrů, úprava šachetního dna včetně návrhu konečného tvarového a rozměrového řešení stroje včetně vhodného zvolení česlicového děrovaného síta a také konstrukce lisovacího zařízení a výpočet pohonu stroje. V poslední fázi pak byl vytvořen kompletní 3D model sestavy a výkresová dokumentace.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

3

Cílem diplomové práce je návrh konstrukčního řešení vertikálních česlí sloužící k mechanickému předčištění odpadních vod pro typovou šachtu 501, o hloubce 3200 mm. Návrh konstrukce stroje se řídí podle požadavků zadavatele. Výstupem práce je 3D model zhotovený v modeláři Autodesk Inventor Professional a výkresová dokumentace (výkres sestavy a montážní výkres).

Dílčí cíle diplomové práce:

- Přehled dostupných zařízení pro mechanické předčištění vody
- Konstrukční návrh vertikálních česlí s lisem
- Návrh šachetního dna
- Ukotvení vertikálních česlí v šachtě
- Odhad výrobní ceny stroje
- Tvorba 3D modelu a výkresové dokumentace (výkres sestavy a montážní výkres)

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Návrh konstrukce vycházel z požadavků zadavatele. A dále pak z koncepčních řešení jiných výrobců, kteří se zabývají podobnou problematikou týkající se mechanického předčištění odpadních vod.

- a) Prostudovat současně konstrukce vertikálních česlí
- b) Porovnat technologické aspekty u jednotlivých přístupů
- c) Zahrnout do návrhu především snadnou konstrukci, montáž a údržbu stroje a finanční dostupnost
- d) Návrh parametrů stroje (průtokové množství, výkon, rozměrové parametry)
- e) Vytvořit model konstrukce vertikálních česlí
- f) Navrhnout úpravu šachetního dna a zakrytování šachty
- g) Vyřešit ukotvení stroje v šachtě
- h) Vytvořit 3D model a výkresovou dokumentaci

5 NÁVRH ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Návrh konceptu vertikálních česlí, především základních prvků stroje, jako je těleso česlí, děrovaná síta, šnekovnice a lis, byl vytvořen s ohledem na již existující stroje s ověřenou funkčností a dle získaných vědomostí dané problematiky.

5.1 Těleso česlí

Při volbě základního tvaru tělesa česlí bylo vycházeno ze dvou různých variant, obě tyto konstrukční řešení byly ovlivněny především průtokovým množstvím vody, pro které jsou vertikální česle navrhovány.

Dvě zmíněné varianty se od sebe liší především tvarem tělesa česlí. První konstrukční varianta tělesa stroje je vhodná především pro menší průtoková množství vody. Průměr celého potrubí stroje je neměnný a to včetně průměru děrovaného síta česlí, jak je zobrazeno na obrázku 5.1.



Obr. 5.2 Česle konstantního průměru [13]

Druhá varianta konstrukce se používá pro větší průtoková množství vody. Průměr potrubí, v kterém je část šnekovnice sloužící pouze pro odvod shrabků, je menšího průměru, než dolní část tělesa česlí s děrovaným sítem pro zachytávání nečistot. Přejechod z většího na menší průměr potrubí je realizován kónickým přechodem. (obr. 5.2)



Obr. 5.1 Česle rozdílných průměrů [13]

Pro výslednou konstrukci je zvolena druhá tvarová varianta vhodnější pro větší průtoková množství vody z důvodu, že do šachetního systému jsou dvě přítoková potrubí průměru 300 mm.

5.2

5.2 Šnekový dopravník

Tvarová dispozice svislého šnekového dopravníku pro odvod shrabků byla dána tvarem tělesa česlí, tj. menší průměr šnekovnice v horní části zařízení a větší průměr spirály v dolní části zařízení u síta.

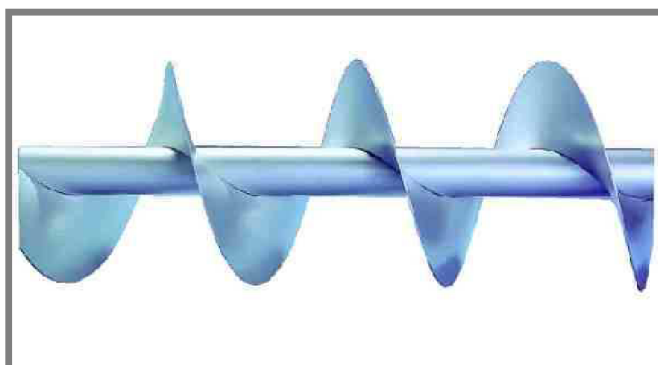
Pro konstrukci svislého dopravníku bylo možné využít také dvou variant podobně jako u volby tělesa česlí.

První variantou je bezosé řešení. Dopravník shrabků je konstruován pouze ze šnekovnice, která není navinuta okolo hřídele. Toto řešení však neodpovídalo potřebám a požadavkům tohoto zařízení především díky horšímu odvodu shrabků, menší tuhosti svislého dopravníku a složitějšímu spojení s pohonem stroje.



Obr. 5.3 Bezosá šnekovnice [33]

Druhá konstrukční varianta je dopravník s osou. Tento typ konstrukce je vhodnější a také používanější pro daná zařízení. Osou dopravníku je silnostěnná trubka, na kterou je navařena spirála. Tato varianta je vhodnější pro svoji vyšší tuhost a snadnější odvod shrabků.



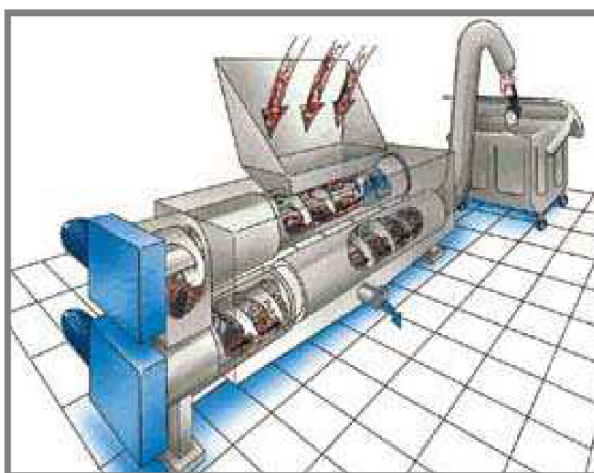
Obr. 5.4 Šnekovnice s osou [34]

Rozdíl mezi oběma variantami je tedy v jejich konstrukci s ohledem na využití osy, vhodnosti použití daných šnekovnic pro určitý druh dopravovaného materiálu a v rozdílné síle materiálu, z kterého je vyrobena spirála. U bezosé varianty je použit silnější materiál z důvodu navýšení tuhosti dopravníku.

5.3 Lisovací zařízení

5.3

Lisovacích zařízení na shrabky je na trhu několik druhů, můžeme například zmínit rotační lis, šnekový lis, prací, nebo hydraulický lis. Všechny tyto druhy lisů jsou však samostatné stroje, které zpravidla bývají součástí řetězce strojů, pro čištění vody. Proto by jejich umístění ke konstrukci vertikálních česlí nebylo vhodné nejen z důvodu velké rozměrnosti celého zařízení, ale především kvůli zvýšení finanční nákladnosti.



Obr. 5.5 ROTAMAT Ro4 [13]

Z těchto důvodů byl k lisování shrabků zvolen tak zvaný gravitační lis, jehož konstrukce je značně jednodušší a především levnější než u výše uvedených variant. Funkce tohoto lisu je založena na lisování shrabků vlastní vahou. Dochází tedy k vrstvení odpadu v kruhovém sítu, kterým postupně odtéká přebytečná voda. Vylisované shrabky jsou poté vyhozeny vyhazovačem lisu do předem připravené nádoby. Efektivnost lisování je sice menší a časově náročnější, avšak pro tento druh konstrukce dostačující, protože se nepočítá s tím, že by česle pracovaly nepřetržitě.

5.4 Volba materiálu

5.4

Jelikož se nacházejí česle ve vlhkém prostředí, respektive jejich značná část ve vodě pracuje, byl jeden z požadavků, aby byla konstrukce korozivzdorná. Možnou variantou by byla úprava povrchu, buďto nátěrem, což by ale nebylo nejvhodnějším řešením, nebo pozinkováním jednotlivých částí, avšak i tato varianta je nepraktická především z důvodu možných tepelných deformací součástí při zinkování a také z finanční nákladnosti. Obě z uvedených možností však nejsou příliš vhodným řešením.

Pro konstrukci česlí byl tedy zvolen nerezový materiál třídy 17, konkrétně 17246. Tento materiál je dle normy ČSN 17246 vhodný pro použití v chemickém průmyslu a jeho příbuzných odvětvích pro svařovaná zařízení. [32].

Tab. 5.1 Chemické složení materiálu 17 246 [32]

	C_{max}	Cr	Ni	Mn_{max}	Mo	P_{max}	S_{max}	Si_{max}
ČSN 17 246	0,08	18,5	11	2,0	-	0,045	0,03	1,0

Hlavními parametry, které především ovlivnily výběr tohoto materiálu, jsou jeho technologické vlastnosti. Tento materiál je odolný proti korozi v pasivním a částečně v aktivním stavu, velmi dobře také odolává atmosférickým podmínkám a působení vody. Dále je odolný proti kyselině dusičné, velmi zředěné kyselině sírové a některým silnějším organickým kyselinám (například octové a citronové, jež se vyskytují v odpadních vodách).

Svařitelnost tohoto materiálu je zaručená. Pro svařování elektrickým obloukem je používána elektroda E-B 419. Při svařování v ochranné atmosféře je používán svařovací drát G 419.

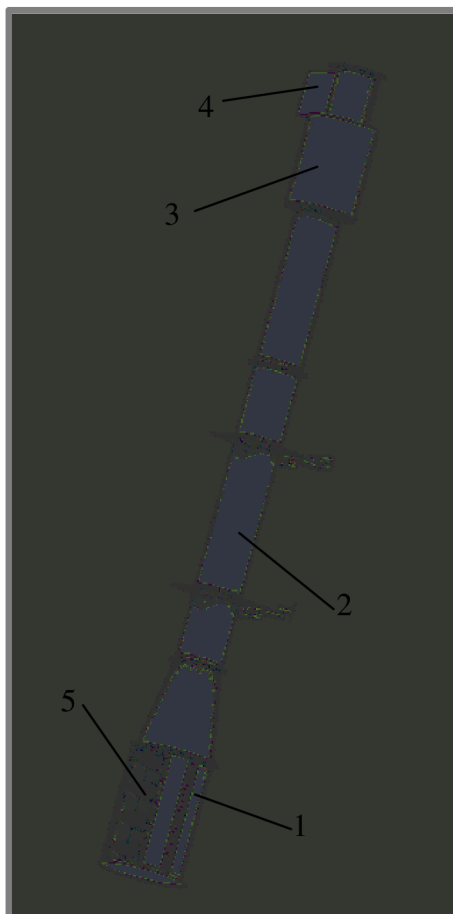
Tab. 5.2 Tabulka mechanických hodnot materiálu 17 246 [32]

Stav	Mez kluzu $\sigma_{0,2}$ MPa	Pevnost v tahu σ_{Pt} MPa	Prodloužení δ^5 %	Zúžení ψ %	Vrubová houževnatost R3 J/cm ²
po rozpouštěcím žihání	>205	500 - 750	>40	>55	>160

5.5 Koncept vertikálních česlí

Pro celkovou představu byl navržen koncepční návrh vertikálních česlí. Na obrázku 5.6 jsou zobrazené jednotlivé podsestavy s návazností na celou konstrukci.

Pozicí 1 na obrázku 5.6 je zobrazeno síto česlí, sloužící k zachytávání nečistot z vody. Pozice 2 představuje těleso česlí, k jehož vrchní části je navážen lis shrabků s odtokem vody (poz. 3). Součástí lisovacího zařízení je také výpad (poz. 4). V tělese česlí je vertikální šnekovnice sloužící pro odvod shrabků (poz. 5).



Obr. 5.6 Koncept vertikálních česlí

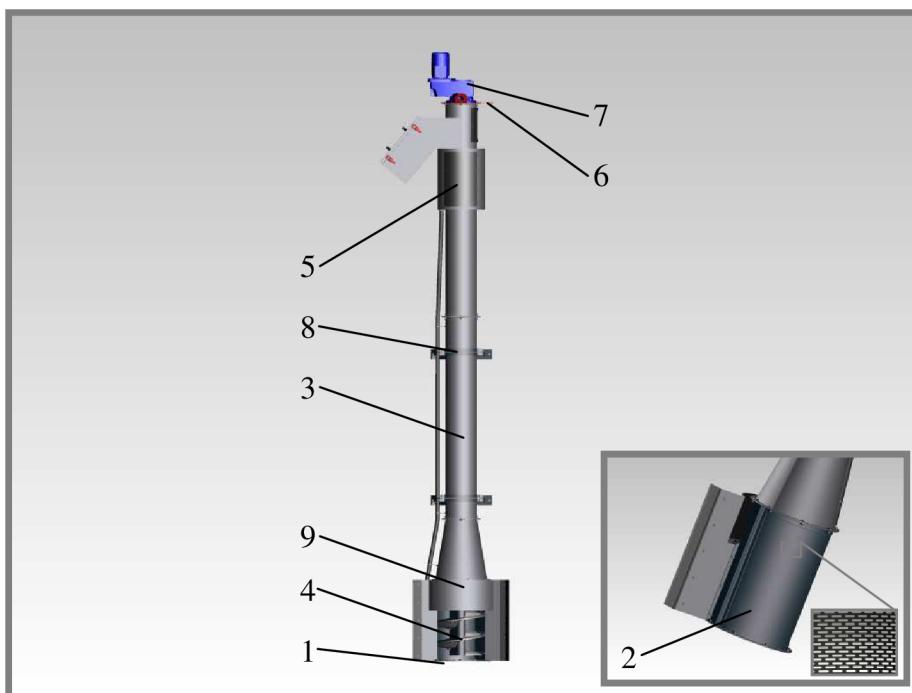
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VERTIKÁLNÍCH ČESLÍ

Pro tvorbu 3D modelu konstrukce vertikálních česlí a výkresové dokumentace, byly použity programy Autodesk Inventor Professional 2008 a AutoCAD Mechanical 2008.

6.1 Sestava vertikálních česlí

Při konstrukci vertikálních česlí byly použity poznatky z již existujících strojů podobné konstrukce, které se svojí funkčností osvědčily při použití v běžném provozu.

Konstrukce česlí je navržena jako celek složený z jednotlivých podsestav, jež jsou spojeny šroubovými spoji. Každý z těchto prvků je snadno smontovatelný s ostatními díly, a tudíž je celý stroj snadno rozebíratelný na jednotlivé části. Výhodou šroubované konstrukce je snadná vyměnitelnost kteréhokoliv dílu dojde-li k poruše stroje, respektive poruše některé z částí jednotlivých podsestav, či u výměny opotřebovaných dílů při údržbě.

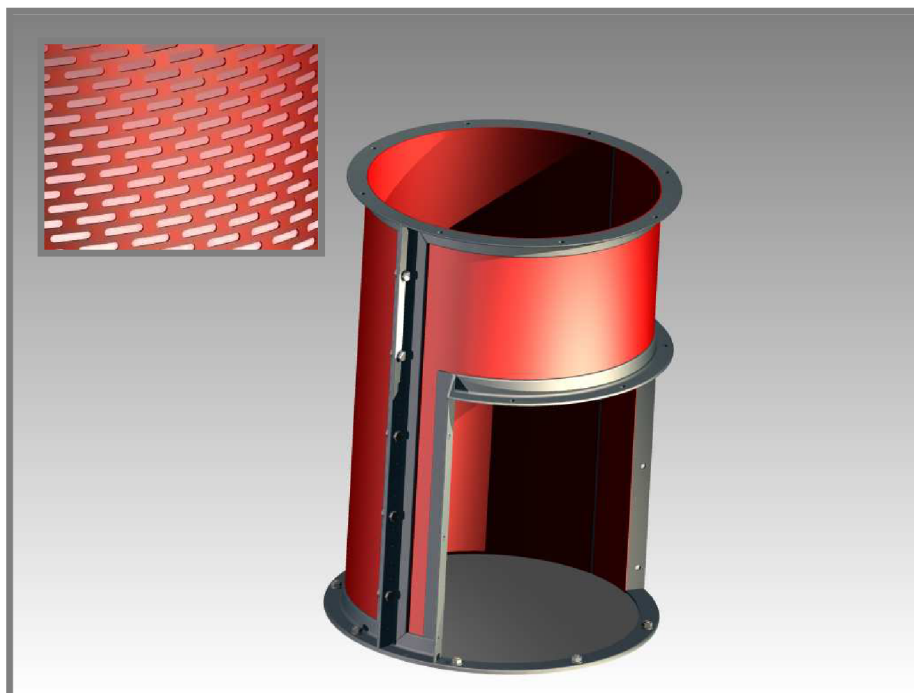


Obr. 6.1 Vertikální česle

Celková konstrukce vertikálních česlí se skládá ze dna (poz. 1), síta (poz. 2), tělesa česlí (poz. 3), vertikálního šnekového dopravníku s vyhazovačem shrabků (poz. 4), na jehož větším průměru je upevněn kartáč pro stírání síta. Dalším z základních dílů je lisovací zařízení shrabků s výpadem (poz. 5), příruba s manipulačními úchyty spojující těleso česlí s motorem (poz. 6), pohon zařízení (poz. 7) realizovaný třífázovým elektromotorem s převodovkou, kotvícími prvky (poz. 8) a nátokovým plechem (poz. 9).

6.2 Návrh česlicového koše se sítí

Tuto část stroje můžeme považovat za jednu z nejdůležitějších podsestav konstrukce, jelikož velikost průřin určuje stupeň mechanického čištění vody. Koš česlí se sítí se skládá ze dvou polovin, které jsou k sobě sešroubovány a tvoří válec. V přední polovině koše je přítokový otvor, jímž vtéká do celého stroje odpadní voda k mechanickému předčištění.



Obr. 6.2 Česlicový koš se sítí

Rám i síto česlí je navrhováno tak, aby vodě, která jimi protéká, kladlo co nejmenší odpor. Dále je při návrhu síta česlí nutno dbát na obecné podmínky pro česlicové konstrukce. Rychlost vody před česlemi nesmí klesnout pod $0,3 \text{ ms}^{-1}$, aby nedocházelo k usazování písku s velikostí zrna nad $0,2 \text{ mm}$. Rychlost v průřinách nesmí překročit $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mohlo by dojít k protlačování méně tuhých shrabků [3].

Při průtoku vody česlemi dochází ke ztrátě tlakové výšky Δh . Obecně se tato hodnota pohybuje od 40% do 100% [3] a vypočítá se podle Kirschmerova vzorce [3].

$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{d_c}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_v^2}{2g} \cdot \sin \alpha \quad (1)$$



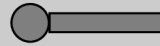

kde:

Δh	m	- ztrátová výška hladiny
β		- tvarový součinitel česlic
d_c	m	- průměr česlice
b	m	- velikost průřiny
v_v	ms^{-1}	- rychlost vody před česlicemi
g	ms^{-2}	- gravitační zrychlení
α	°	- sklon česlí od vodorovné osy

Pro vertikální česle bychom mohli Kirschmerův vzorec poupravit. Hodnota d_s – průměr česlice - by byla nahrazena rozměrem mezi průlinami v síti. Rovněž hodnota

b – velikost průliny - by byla nahrazena velikostí průliny v síti a vynásobena koeficientem zohledňujícím počet průlin v jednom sloupci. Ovšem tvarový součinitel česlic β nejsme schopni určit, protože pro děrovaný plech není určen v tabulce běžně používaných profilů česlic (tab 6.1).

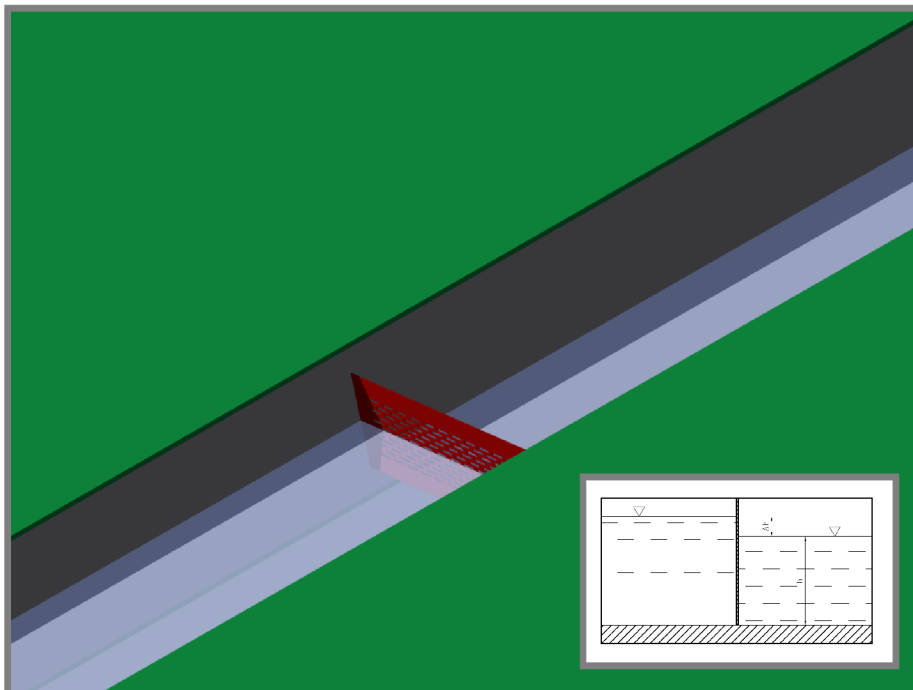
Tab. 6.1 Hodnoty tvarového součinitele

Profil				
Tvarový součinitel β	2,42	1,83	1,64	1,79

Použití Kirschmerova vzorce pro konvenční česle není pro daný typ řešení konstrukce tedy vhodnou variantou. Pokud bychom se nechtěli spoléhat na běžné hodnoty ztráty výšky hladiny za česlemi (40% až 100%), mohli bychom provést jednoduchý experiment, z kterého by byla ztrátová výška určena.

6.2.1 Návrh experimentu pro určení ztrátové výšky hladiny za česlemi

Experiment spočívá v umístění děrovaného plechu do průtokového kanálu, kterým proudí voda určité rychlosti tak, aby bylo simulováno volné proudění v kanálových šachtách. Při průtoku sítím dojde k určité ztrátě výšky hladiny. Rozdílem obou výšek hladin, tj. odečtením hodnoty výšky hladiny za česlemi od výšky hladiny před česlemi, dostaneme výslednou hodnotu ztrátové výšky hladiny.



Obr. 6.3 Návrh experimentu

6.2.2 Určení maximálního průtoku

Maximální průtok, na který byly vertikální česle dimenzovány, určíme z průměru přítokového potrubí a z rychlosti proudícího média. V našem případě je nutno počítat s dvěma přítokovými potrubími, proto bude výsledná plocha dvojnásobná. Rychlost volně proudící odpadní vody je dána v rozmezí 0,4 až 0,7 ms⁻¹. Pro výpočet zvolíme maximální hodnotu volně proudící kapaliny v potrubí $v = 0,7 \text{ ms}^{-1}$.

Výpočet maximálního průtoku odpadní vody [4]:

$$Q_{max} = 2Sv \quad (2)$$

$$Q_{max} = \frac{v\pi d^2}{2} = \frac{0,7\text{ms}^{-1} \cdot \pi \cdot 0,3\text{m}}{2} = 0,098\text{m}^3\text{s}^{-1}$$

kde:

Q_{max}	m ³ s ⁻¹	- maximální průtok odpadní vody
v	ms ⁻¹	- rychlost proudění vody
S	m ²	- průtočná plocha
d	m	- průměr potrubí

6.2.3 Návrh česlicového síta

Jako česlicové síto byl zvolen děrovaný plech s oválnými otvory. Výběr děrovaného plechu byl ovlivněn několika faktory. Jedním z nich je dostatečná tuhost oproti běžným pleteným sítům. Dalším důvodem záměrného výběru děrovaného plechu je jeho běžné využití u strojů podobné konstrukce nejen ve vodohospodářském průmyslu a především jeho snadná výroba a nízká cena.

Velikost průlin byla zvolena dle požadavků zadavatele pro separaci mechanických nečistot, jejichž jeden rozměr je větší než 6 mm. Pro tvar průliny byl zvolený oválný otvor. Další variantou by mohl být otvor kulatý, avšak oválný tvar je častěji používanou variantou, především z důvodu lepšího průtoku kapaliny, při zachování dostatečné tuhosti síta. Pro česlicové síto je zvolen plech tloušťky 2 mm.

Šířka průliny je tedy dána dle zadání 6 mm a délka otvoru je zvolena 30 mm. Velikost druhého rozměru není rozhodující.

Otvory jsou na plechu rozmístěny tak, že se navzájem překládají a delší rozměr průliny je vodorovný se dnem česlí. Mezery mezi jednotlivými otvory jsou 5 mm a 10 mm.



Obr. 6.4 Rozměry otvorů děrovaného plechu [35]

6.2.4 Určení rozměru sít a výpočet průtoku sítém

K určení celkových rozměrů sít je potřeba stanovit velikost průtoku průlinami v sítu. Protože neznáme přesný koeficient odporu síta, je nutné průtok raději předdimenzovat, aby nedocházelo k zaplavení zařízení. To znamená zvětšit průtočnou plochu a tedy i celkovou plochu sít přibližně o jednu čtvrtinu.

Teoretický průtok jednou průlinou:

$$Q_p = v_p S_p = v_p \left[(a_p b_{p,1}) + \frac{\pi a_p^2}{4} \right] \quad (3)$$

$$Q_p = 0,3 \text{ m s}^{-1} \cdot \left[(0,006 \text{ m} \cdot 0,024 \text{ m}) + \frac{\pi 0,006^2 \text{ m}^2}{4} \right] = 0,516 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

kde:

Q_p	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	- teoretický průtok odpadní vody jednou průlinou
v_p	m s^{-1}	- rychlost odpadní vody v průlině
S_p	m^2	- plocha průliny
a_p	m	- šířka průliny
$b_{p,1}$	m	- délka obdélníkového tvaru průliny

Z rovnic (2) a (3) vypočteme jejich podílem teoretický počet průlin, který by stačil při maximálním průtoku kapaliny.

Výpočet teoretického počtu průlin:

$$n_{min} = \frac{Q_{max}}{Q_p} \quad (4)$$

$$n_{min} = \frac{0,098 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,516 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}} = 1899,2 \text{ ks} \doteq 1900 \text{ ks}$$

kde:

n_{min}	ks	- minimální počet průlin v sítu
Q_{max}	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	- maximální průtok odpadní vody
Q_p	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	- teoretický průtok odpadní vody jednou průlinou

Předdimenzujeme-li tedy vypočítanou hodnotu průlin o jednu čtvrtinu, dostaneme výsledný počet otvorů, který by byl vhodný proto, aby nedocházelo k zahlcení stroje.

Výpočet počtu průlin s bezpečností 1,25:

$$n_p = n_{min} + \frac{1}{4} n_{min} \quad (5)$$

$$n_p = 1900 \text{ ks} + \frac{1}{4} 1900 \text{ ks} = 2375 \text{ ks}$$

kde:

n_p	ks	- předdimenzovaný počet průlin
n	ks	- minimální počet průlin v sítu

Z konečného počtu průlin v sítu byl určen vnitřní průměr koše 510 mm a jeho výška 800 mm. Průměr česlicového koše byl volen s ohledem na průměr vertikálního dopravníku, který byl navrhnout dle běžné výrobní řady na průměr 500 mm. Vůle mezi sítím a spirálou dopravníku je tedy na průměru stroje 10 mm. Pro navržené rozměry byla rovnicí (6) vypočítána celková plocha koše.

Plocha česlicového koše je pak:

$$S_k = S - S_o \quad (6)$$

$$S_k = \pi d_k h - l_o h_o = \pi \cdot 0,51m \cdot 0,8m - 0,6m \cdot 0,5 = 0,981m^2$$

kde:

S_k	m^2	- plocha česlicového koše
S	m^2	- celková plocha koše
S_o	m^2	- plocha otvoru
d_k	m	- vnitřní průměr koše
h	m	- výška koše
l_o	m	- délka oblouku otvoru
h_o	m	- výška otvoru

V dalším kroku je vypočítána plocha, kterou zabere jedna průlina včetně mezer. Tato hodnota je důležitá ke konečnému určení potřebné plochy česlicového koše, respektive k volbě rozměru této komponenty.

Výpočet plochy průliny s mezerami:

$$S_{p,m} = (a_p + m_y)(b_p + m_x) \quad (7)$$

$$S_{p,m} = (0,006m + 0,005m)(0,03m + 0,01m) = 0,44 \cdot 10^{-3}m^2$$

kde:

$S_{p,m}$	m^2	- plocha průliny s mezerami
a_p	m	- šířka průliny
b_p	m	- délka průliny
m_y	m	- velikost mezery v ose y
m_x	m	- velikost mezery v ose x

Z rovnic (6) a (7) je vypočítán konečný počet průlin, které budou česlicová síta obsahovat.

Výsledný počet průlin koše je:

$$n_c = \frac{S_k}{S_{p,m}} \quad (8)$$

$$n_c = \frac{0,981m^2}{0,44 \cdot 10^{-3}m^2} = 2229,54ks \doteq 2230ks$$

kde:

n_c	ks	- výsledný počet průlin v česlicovém koši
S_k	m^2	- plocha česlicového koše
$S_{p,m}$	m^2	- plocha průliny s mezerami

Výsledný počet průlin z rovnice (8) je sice menší než předpokládaný počet průlin ze vztahu (5), u kterého byla zvolena bezpečnost 1,25. Rozdíl mezi výsledky není příliš velký, konkrétně 145 otvorů. Můžeme tedy navrhovanou variantu považovat za vyhovující.

Další možností návrhu česlicového koše by bylo zmenšení či zvětšení jeho průměru, například na tři typové řady dle průměru vertikálního dopravníku o průměrech 300 mm, 500 mm a 700 mm a tím i upravení výšky koše na požadované průtočné množství, nebo rozdělení konstrukcí pro určitý průtok.

6.2.5 Rámy česlicových sít

Rámy sít jsou konstruovány jako svařenec z L-profilů 35 x 35 x 4 a jsou k sobě sešroubovány šrouby M10 x 20 ČSN 02 1207 tak, aby tvořili válec. Velikost ráků je dána rozměry síta tak, aby jej lemovaly. Rámy jsou tedy vysoké 800 mm a obvodové profily jsou skruženy na vnitřní průměr 514 mm. Přední rám se od zadního odlišuje rámečkem pro vtokový otvor o rozměrech 470 x 500 mm, v kterém jsou vyvrtány otvory k přišroubování nátokového plechu. V obou rámech jsou ve spodních a horních skružených profilech navrtány díry pro šrouby M10 x 20. Horní otvory slouží k přišroubování koše k tělesu česlí, spodní pak pro přišroubování dna, které je tvořeno kruhovým výpalkem z plechu síly 4 mm.

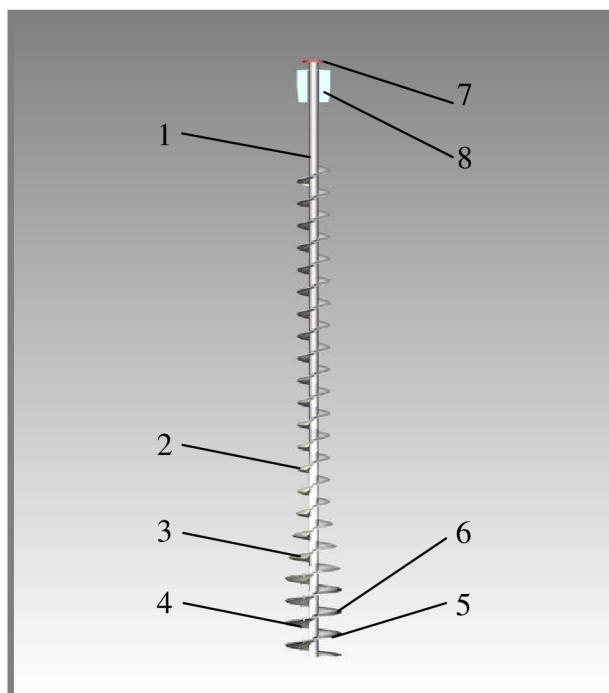


Obr. 6.5 Rám česlicového koše

6.3 Konstrukce vertikálního dopravníku česlí

Vertikální dopravník tvoří vnitřní část česlí a slouží k vyklížení stroje od shrabků.

Rotačním pohybem okolo vlastní osy dopravníku dochází k vyklížení zachycených mechanických nečistot na síť, které jsou po šnekovnici dopravovány do lisovacího prostoru, kde je separována přebytečná voda. Hlavní díly vertikálního šnekového dopravníku jsou trubka (poz. 1), která tvoří osu dopravníku, spirála \varnothing 300 mm (poz. 2), přechodová spirála z \varnothing 300 mm na \varnothing 500 mm (poz. 3), spirála \varnothing 500 mm (poz. 4) s čistícím kartáčem (poz. 5), který je připevněn upínkami (poz. 6). V horní části je na potrubí navařena příruba (poz. 7) ke spojení s pohonem stroje a vyhazovač (poz. 8), který souží k odstranění shrabků z lisovacího prostoru.



Obr. 6.6 Vertikální dopravník česlí

6.3.1 Vertikální dopravník

Konstrukce dopravníku na vyklížení vertikálních česlí byla navržena podle běžných šnekových dopravníků s ohledy na jejich využití, tj. na dopravování mokrých mechanických nečistot zachycených na síti koše.

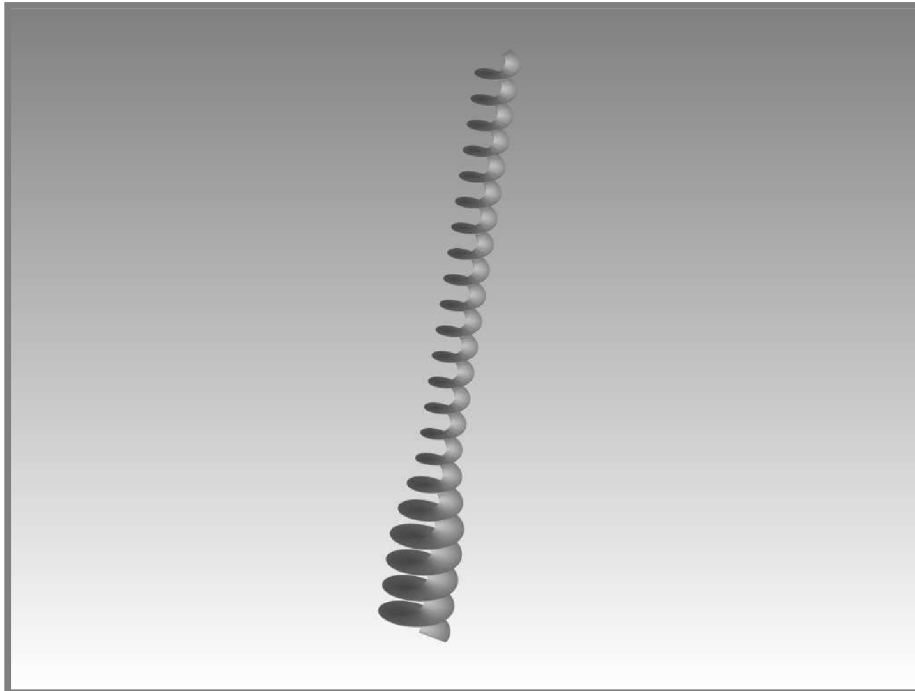
Osou dopravníku byla zvolena nerezová bezešvá trubka dle DIN/ISO - TR 90 x 5 dlouhá 5400 mm se zaslepeným koncem. Na trubce je navařena šnekovnice, skládající se ze třech dílů. Pro všechny tři spirály je zvolené shodné stoupání závitů 200 mm, které se běžně volí pro stroje podobného využití a konstrukce. Výrobní variantou šnekovnic byla zvolena tak zvaná běžná řada síly materiálu.

Prvním dílem šnekovnice je spirála o vnějším průměru 500 mm a celkové výšce 750 mm. Tento díl spirály je určený pro prostor česlicového koše. Oproti výšce koše, která činí 800 mm je výška prvního dílu dopravníku o 50 mm kratší, protože je celá podsestava dopravníku zavěšena ve výšce právě 50 mm nade dnem česlí.

Druhý díl spirály tvoří přechod mezi první a třetí částí této spirály, tj. z průměru 500 mm na průměr 300. Výška přechodového dílu šnekovnice je 600 mm a jeho zúžení činí $9,46^\circ$.

Třetím dílem šnekovnice je spirála průměru 300 mm a výšky 3100 mm. Spirála ústí až do lisovací části stroje, kam jsou shrabky dopraveny.

Pro volbu šnekovnice jsou vhodné dvě varianty. První variantou je použití celistvé šnekové spirály. Ta je zhotovena z jednoho kusu, který je nasunut a následně navařen na hřídel (obr. 6.7). Druhou variantou je pak využití jednotlivých tažených listů šnekovnice postupně navařených na hřídel po jednotlivých segmentech.



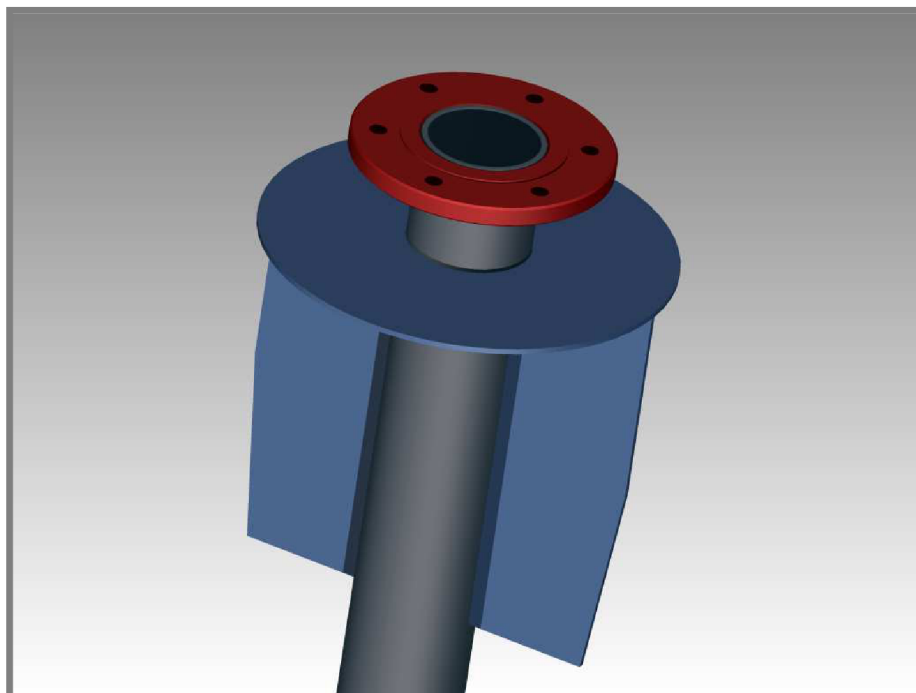
Obr. 6.7 Spirála šnekovnice

Výhodou první varianty je rychlejší a jednodušší výroba za předpokladu, že je spirála vyrobena velice přesně. Nevýhodou je pak obtížná samotná výroba spirály, a to zejména u těžké řady šnekovnic s malou roztečí. U druhé varianty je naopak výhodou snadná výroba segmentů, kde se vypálí profil poloviny stoupání závitu z plechu, který je následně vytvarován tažením. Nevýhodou jsou především vysoké požadavky na přesnost při výrobě celé součásti.

6.3.2 Příruba dopravníku a vyhazovač shrabků

Na konci vertikálního dopravníku je navařena příruba pro spojení s motorem, který pohání česle. Příruba je opatřena zámkem pro správné vycentrování s protikusem a je v ní vyvrtáno šest otvorů o $\varnothing 13$ mm pro šrouby M12. Vnější průměr příruby je 190 mm a tloušťka 15 mm.

Vyhazovač vylisovaných shrabků je tvořen dvěma plechy tloušťky 4 mm, které jsou navařeny k plechovému mezikruží sloužícímu jako výztuha a zároveň k trubce šnekovnice tak, aby byly naproti sobě a v jedné rovině s její osou. (obr. 6.8) Při chodu česlí se tak společně s otáčejícím se šnekovým dopravníkem otáčí i navařený vyhazovač a postupně vyhrnuje vylisované shrabky do výpadu.



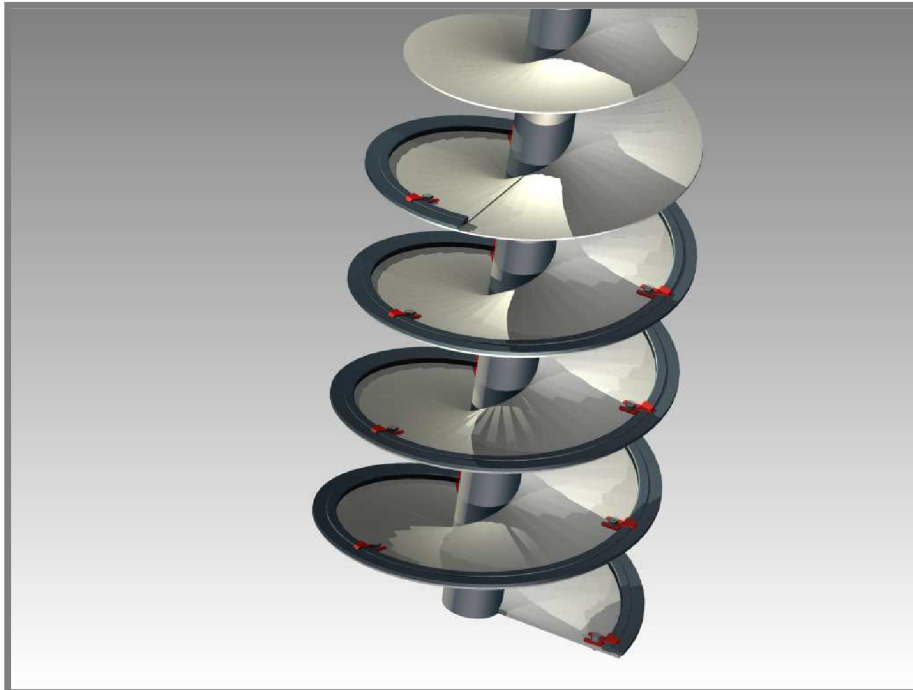
Obr. 6.8 Příruba dopravníku a vyhazovač

6.3.3 Spirálový kartáč

6.3.3

Spirálový kartáč, který je upevněný ke spirále vertikálního dopravníku v oblasti česlicového koše slouží ke stírání síta. Tělo kartáče je zhotoveno z nerezové lišty ve tvaru U-profilu a je osazeno nerezovými dráty, či polyamidovými vlákny, dle vhodnosti pro dané použití.

Kartáč je upevněn po obvodě spirály dopravníku pomocí upínek. Ty jsou se šroubovicí sešroubovány šrouby M8 x 20. Tvar upínek byl navržen tak, aby nos upínky co nejméně zasahoval do kartáče, a také aby byly snadno přenastavitelné při částečném opotřebením kartáče. Uchycením kartáče upínkami je také zaručeno snadné provádění výměny kartáče, jehož životnost se pohybuje okolo dvou roků, samozřejmě s ohledem na použitý osazovací materiál a vytíženost stroje.



Obr. 6.9 Spirálový kartáč dopravníku

Kartáče pro osazení česlí můžeme vybírat z různých druhů provedení. Již zmíněný spirálový kartáč je svým provedením vhodný, avšak spirálu s rozměry pro šnekovnici, na kterou je určen, nedokáže mnoho výrobců technologicky zhotovit a pokud ano, je tato varianta finančně nákladná. Jako další variantu je možno zvolit místo celistvé spirály pouze segmenty kartáče stejné konstrukce. Výhodou tohoto řešení je především snížení pořizovacích nákladů za kartáč, avšak je nutno počítat se zvýšením počtu upínek pro upnutí segmentů. Třetí variantou je použití těsnících kartáčů, které jsou osazeny tenkými polyamidovými vlákny. Tato možnost však není v praxi odzkoušena a není tak možno říci, zda by tenká vlákna dostatečně vyčistila průřely v sítu.

Všechny varianty zmíněných kartáčů byly konzultovány s výrobcí těchto prvků, především se zástupcem společnosti Kartáčovna Koloveč, spol. s r.o.



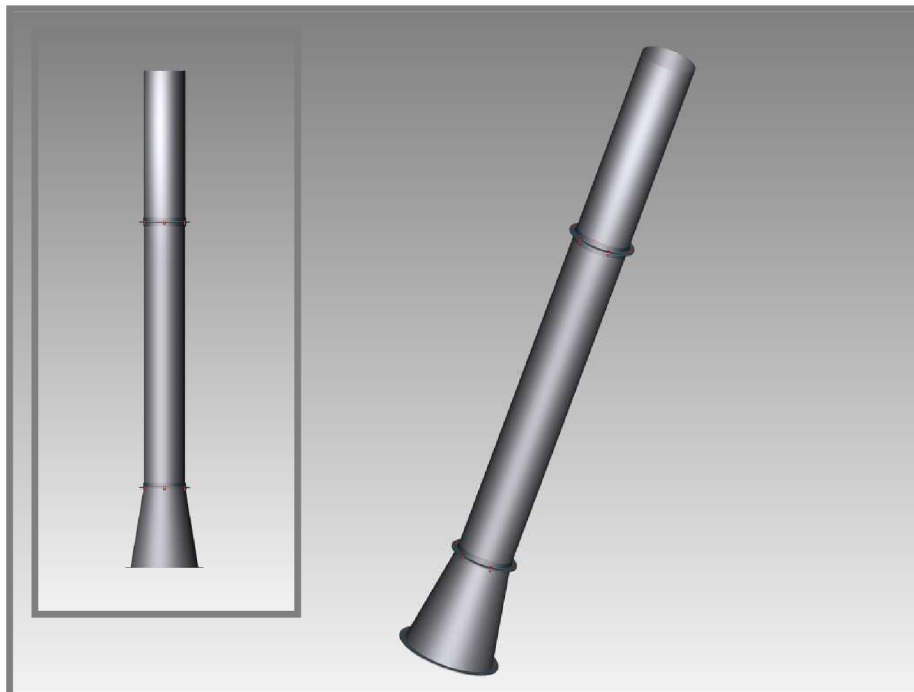
Obr. 6.10 Spirálové kartáče



Obr. 6.11 Těsnící kartáč

6.4 Těleso česlí

Těleso česlí, neboli kryt česlí, je konstruován jako nerezové potrubí o tloušťce plechu 2 mm s přírubami skružených z nerezových profilů a skládá se ze třech částí.



Obr. 6.12 Těleso česlí

První díl navazuje na česlicový koš a je kónického tvaru. Plášť tak kopíruje přechodový tvar na vertikálním dopravníku tak, aby byl jeho vnitřní průměr o deset milimetrů větší. Kónický díl tedy přechází z vnitřního průměru 514 mm na průměr 314 mm a jeho výška je 600 mm, stejně jako u přechodové části dopravníku.

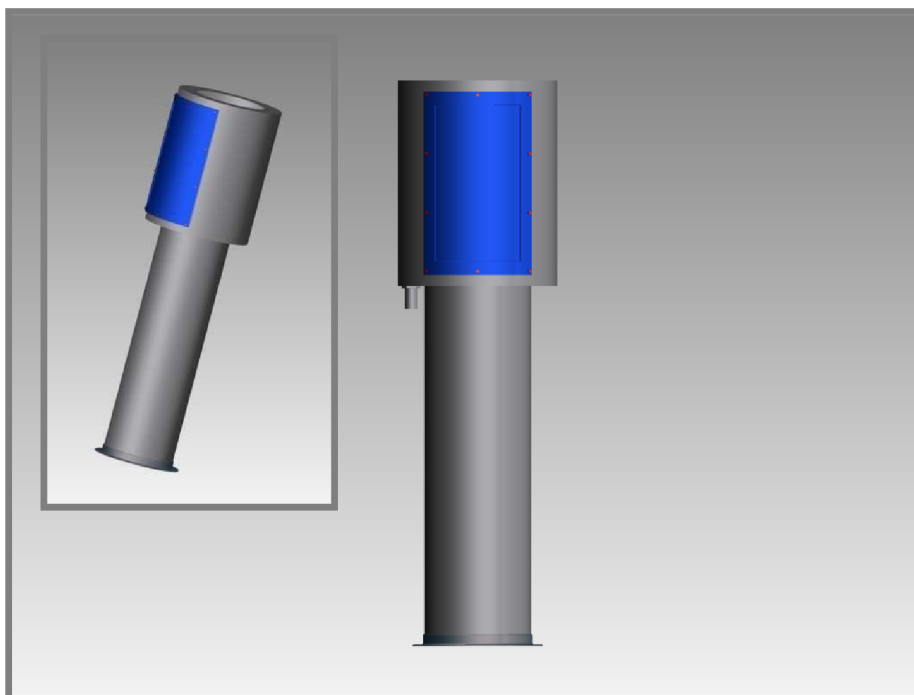
Druhý díl tělesa česlí, stejně jako třetí díl, má shodný vnitřní průměr 314 mm tak, aby rozdíl mezi průměrem šnekovnice a průměrem krytu byl shodně, jako u kónické části tělesa, deset milimetrů. Rozdíl mezi druhým a třetím dílem je jejich výška, druhý díl je vysoký 2000 mm a výška třetího dílu je 1140 mm.

Příruby jednotlivých částí tělesa jsou zhotoveny ze skružených nerezových L-profilů o rozměru 35 x 35 x 4 se šesti vyvrtanými otvory o \varnothing 10,8 mm k sešroubování jednotlivých dílů pro šrouby M10 x 17. Výjimkou je spodní a horní příruba u kónusové části krytu česlí, zde je použita skružená nerezová obdélníková tyč 35 x 5, ve které je vyvrtáno osm, respektive šest otvorů stejných rozměrů.

Vůle mezi spirálou a pláštěm česlí je volena s ohledem na velikost průlin, jež jsou široké šest milimetrů. Aby nedocházelo k propadání, či protlačování shrabků při dopravě k lisovací části mezi šnekovým dopravníkem a tělesem česlí, je volena mezera o jeden milimetr menší, než je šířka průliny.

Původně byla do tělesa česlí navržena plastová výstelka. Tento návrh však nebyl po konzultaci s odborníkem firmy IN-EKO Team s.r.o. realizován, protože shrabky obsahují mastnoty a při kontaktu s plastovou výstelkou by docházelo k prokluzu. Posun zachycených nečistot by tudíž nebyl dostatečný a stroj by se mohl ucpat.

Poslední nejvýše umístěný třetí díl tělesa je zároveň částí svařence podstavy lisovacího zařízení. Na potrubí je tedy pouze jedna příruba a k druhému konci je navařen plášť lisu s výpadem.



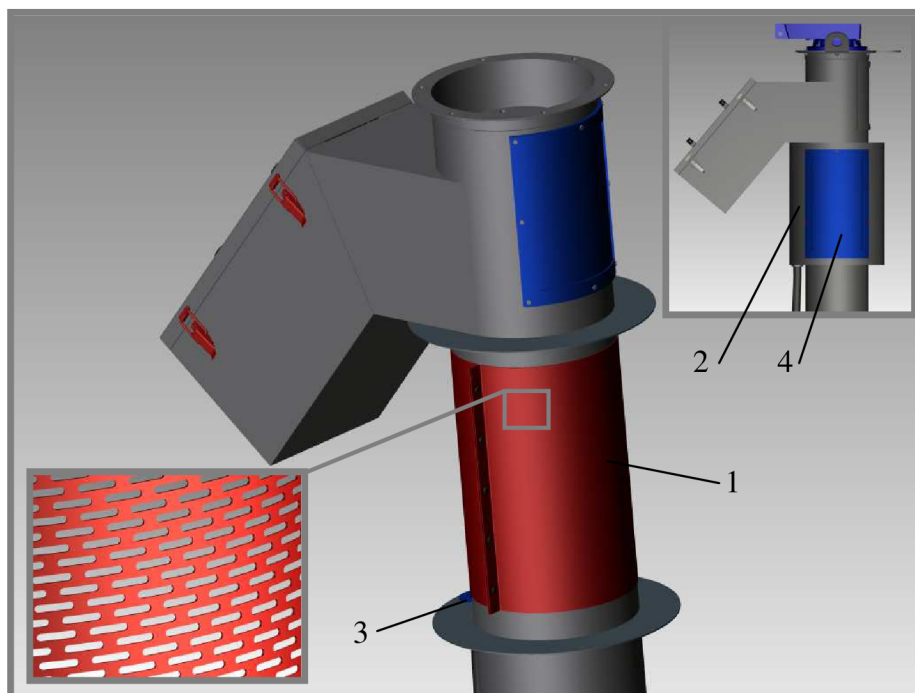
Obr. 6.13 Třetí díl tělesa česlí s lisem shrabků

6.5 Lisovací zařízení s výpadem

Lisovací zařízení vertikálních česlí je umístěno v horní části stroje mimo prostor šachty a slouží k separaci vody ze zachycených mechanických nečistot. Tyto shrabky jsou dále vyhazovačem postupně shrnovány do výpadu, kde samospádem vypadávají do připravené nádoby.

6.5.1 Lis vertikálních česlí

Pro lisovací zařízení byla zvolena konstrukční varianta založená na lisování shrabků vlastní vahou. Tento typ lisu je používán také u vodohospodářských strojů podobných konstrukcí především pro svou jednoduchost a dostatečnou funkčnost. Svoji snadnou konstrukcí a malými rozměry je toto lisovací zařízení na rozdíl od jiných variant vhodné právě pro použití u rotačních česlí. Dalšími možnostmi jsou například rotační lis, šnekový lis, prací lis, či hydraulický lis, jejichž konstrukce jsou příliš velké a zpravidla bývají použity v řetězcích čistících strojů jako samostatná jednotka. Další nespornou výhodou oproti zmíněným variantám je jejich snadná údržba a nízké pořizovací a provozní náklady.



Obr. 6.14 Lisovací zařízení shrabků

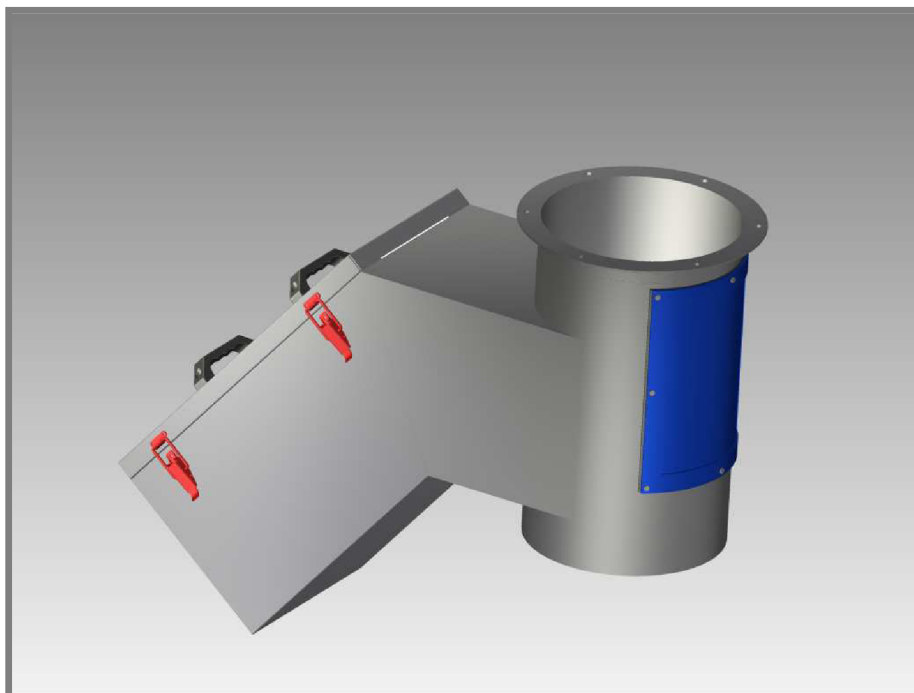
Do lisu česlí jsou dopravníkem posouvány shrabky, které jsou postupně vrstveny v lisovacím prostoru. Lisovací prostor tvoří děrovaný plech (poz. 1) s oválnými otvory podobnými jako u síta česlicového koše o rozměrech 3 x 20 mm. Otvory síta jsou menší než průřez koše, aby nedocházelo k protlačování lisovaných shrabků. Síto je stočeno do tvaru válce o vnitřním průměru 314 mm, aby mohlo být částečně natočeno na potrubí tělesa česlí a potrubí výpadu, jak je patrné na obrázku 6.14. Konce síta jsou ohnuty tak, aby na sebe doléhaly a mohly být sešroubovány pěti šrouby M6 x 16. Výhodou tohoto konstrukčního řešení je snadný přístup k sítu při jeho údržbě nebo výměně.

Plášť lisu (poz. 2) je tvořen dvěma mezikružními a plechem tloušťky 2 mm, který je skružený na průměr 470 mm. Ve spodním mezikružní je otvor pro šroubení hadice, jíž odtéká přebytečná voda zpět do šachty (poz. 3). Součástí pláště lisu je také montážní otvor pro výměnu síta (poz. 4).

6.5.2 Výpad pro shrabky

Výpad je navazující část lisu česlí a je součástí svařence s pláštěm lisovacího zařízení. Jednou z jeho částí je potrubí stejného průměru, jako je těleso česlí, v němž je výřez do výpadu. Součástí tohoto potrubí je také montážní otvor sloužící jako přístup ke spojce stroje. Dalším dílem je lomený plechový výpad čtvercového průřezu o rozměrech 310 x 330 mm, na kterém je víko s dvěma rukojetěmi sloužící pro čištění výpadu. Víko je tvarované jako protikus výpadu pro snadnější uzavírání této části stroje. Víko je opatřeno také zářezkou v zadní části a dvěma zámkami na každé straně.

Celá podsestava lisu s výpadem je zakončena přírubou stejného provedení jako u česlicového potrubí.

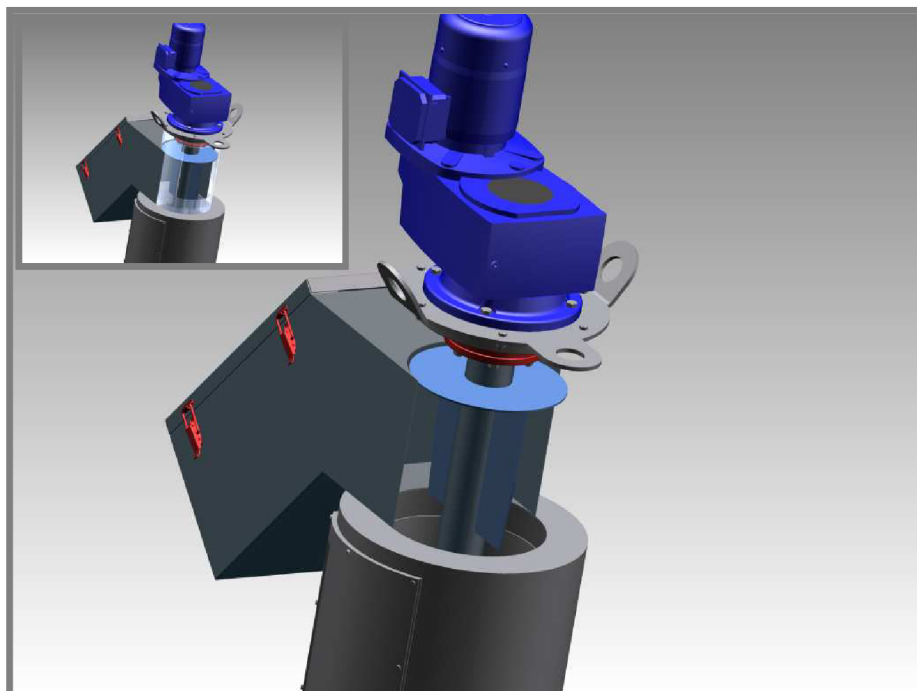


Obr. 6.15 Výpad pro shrabky

6.5.3 Vyhazovač

O typu konstrukce vyhazovače již bylo zmíněno v kapitole 6.3.2. Po popsání konstrukce celého lisovacího prvku s výpadem je však vhodné odůvodnit výběr finální varianty. Původním návrhem odvodu shrabků po vylisování bylo tvarové řešení uvnitř potrubí, jež spočívalo ve tvarovaném plechu stočeného do poloměru rovnajícímu se průměru potrubí s otvorem pro osu šnekového dopravníku. Tato varianta však byla zamítnuta, protože by při odvodu shrabků z česlí docházelo k namotávání dlouhých kusů, především vlasů a kousků textilií, a to zejména okolo osy při přecházení shrabků přes trubku dopravníku. Touto konstrukční variantou by mohlo dojít k poškození osy dopravníku, či pohonu stroje.

Z těchto důvodů byla vybrána již dříve zmíněná varianta v kapitole 6.3.2 se dvěma lopatkami a jejich výztuhou, u které je namotávání dlouhých kusů značně minimalizováno



Obr. 6.16 Vyhazovač shrabků

6.5.4 Tlaková hadice AQUAFLAT 10

6.5.4

Tlaková hadice AQUAFLAT 10 slouží k odvodu vylisované vody, což je i její primární využití v průmyslu. Hadice je flexibilní a je ji možno zploštit a srolovat dle potřeb tvaru konstrukce. Typ AQUAFLAT 10 je vhodný k užití do okolních teplot v rozmezí -35°C až $+100^{\circ}\text{C}$, což akceptuje požadavky zadavatele. Toto bylo jedním z hlavních důvodů výběru tohoto typu. Hadice s výztuhou z textilního opletu má vnější průměr 39 mm a je dlouhá 3650 mm. Odtoková hadice je k tělesu česlí připevněna objímkami, které jsou k tělesu přivařeny.



Obr. 6.17 AQUAFLAT 10

6.6 Pohon vertikálních česlí

6.6

6.6.1 Výpočet výkonu

6.6.1

Pro výpočet výkonu motoru vertikálních česlí bylo použito stejného postupu, jako při výpočtu výkonu šnekových dopravníků, protože je konstrukce vertikálního

dopravníku shodná s běžnými konstrukcemi šnekovnic. Značná podobnost je i v konstrukci tělesa česlí s trubkovým korytem dopravníku.

K vypočítání výkonu pohonu vertikálních česlí byla tedy využita rovnice k výpočtu výkonu šnekových dopravníků. [22].

Vstupní parametry:

$$D_1 = 0,5 \text{ mm}$$

$$D_2 = 0,3 \text{ mm až } 0,5 \text{ mm}$$

$$D_3 = 0,3 \text{ mm}$$

$$n = 0,25 \text{ s}^{-1}$$

$$s = 0,2 \text{ mm}$$

$$\rho_s = 1200 \text{ kgm}^{-3}$$

Výpočet výkonu bude rozdělen do třech skupin podle průměrů šnekového dopravníku. Celkový výkon pak bude dán součtem dílčích výsledků.

Určení hmotnostního dopravovaného množství [22]:

$$Q_{m1} = \frac{\pi D_1^2}{4} i s n \rho_s \psi \quad (9)$$

$$Q_{m1} = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} 3,75 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ s}^{-1} \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3} \cdot 0,21 = 9,278 \text{ kgs}^{-1}$$

Jelikož přechodový díl z $\varnothing 300 \text{ mm}$ na $\varnothing 500 \text{ mm}$ má tři závity, můžeme pro hodnotu D_2 zvolit výpočtový průměr 400 mm .

$$Q_{m2} = \frac{\pi D_2^2}{4} i s n \rho_s \psi \quad (10)$$

$$Q_{m2} = \frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} 3,75 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ s}^{-1} \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3} \cdot 0,21 = 4,750 \text{ kgs}^{-1}$$

$$Q_{m3} = \frac{\pi D_3^2}{4} i s n \rho_s \psi \quad (11)$$

$$Q_{m3} = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4} 3,75 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ s}^{-1} \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3} \cdot 0,21 = 13,805 \text{ kgs}^{-1}$$

kde:

Q_{m1-3} $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ - hmotnostní dopravované množství pro 1. až 3. díl dopravníku

D_{1-3} m - průměr spirály pro 1. až 3. díl dopravníku

i ks - počet chodů šnekovnice

s m - stoupání šnekovnice

n s^{-1} - otáčky dopravníku

ρ_s kgm^{-3} - sypná hustota materiálu

ψ - součinitel plnění dopravníku (tab. 6.3)

Tab. 6.2 Rozdělení dopravovaných materiálů [22]

Skupina materiálu	Základní vlastnosti mat.	Příklad
1	silně abrazivní, hrubě kusovitý, nebo lepkavý	drobný koks, hrubozrnné vápno
2	abrazivní, zrnitý, nebo práškovitý	cement, sádra, písek
3	neabrazivní zrnitý	drobné uhlí, cukr, fosfát, hrubě mletá sůl
4	neabrazivní, lehký práškový, nebo zrnitý	uhelný prach, mouka, práškové vápno, semena, zrno, piliny

 Tab. 6.3 Součinitel plnění ψ [22]

Skupina materiálu	Součinitel plnění	D	160	200	250	320	400	500	630
1	0,16 - 0,25	n (l / min)	63	50	40	32	32	32	
		V (m ³ / h)	1,6-2,5	2,5-4	4-6,3	6,3-10	12,5-20	25-40	
2	0,2 - 0,32	n (l / min)	100	80	63	50	40		
		V (m ³ / h)	3,2-5	5,0-8	8-12,5	12,5-20	20-32		
3	0,25 - 0,4	n (l / min)			100	80	63	50	40
		V (m ³ / h)			16-25	25-40	40-63	63-100	100-160
4	0,32 - 0,5	n (l / min)	160	125	100	80	63		
		V (m ³ / h)	8-12,5	12,5-20	20-32	32-50	50-80		

Určení dílčích příkonů [22]:

$$P_1 = \mu Q_{m,1} g h_1 \quad (12)$$

$$P_1 = 2,5 \cdot 9,278 \cdot 9,807 \cdot 0,75 = 170,59W$$

$$P_2 = \mu Q_{m,2} g h_2 \quad (13)$$

$$P_2 = 2,5 \cdot 4,750 \cdot 9,807 \cdot 0,8 = 93,165W$$

$$P_3 = \mu Q_{m,3} g h_3 \quad (14)$$

$$P_3 = 2,5 \cdot 13,805 \cdot 9,807 \cdot 3,1 = 1049,1W$$

kde:

P_{1-3} W - dílčí příkony jednotlivých dílů dopravníku

μ - součinitel odporu (tab. 6.4)

Q_{m1-3} kg.s⁻¹ - hmotnostní dopravované množství pro 1. až 3. díl dopravníku

g ms⁻² - tíhové zrychlení

h_{1-3} m - výška dílů dopravníku

Tab. 6.4 Součinitel odporu [22]

Skupina materiálu	1	2	3	4
μ	4,0 - 5,0	3,2 - 4,0	2,5 - 3,2	2 - 2,5

Výpočet celkového příkonu dopravníku:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (15)$$

$$P = 170,59W + 93,65W + 1049,1W = 1313,34W \doteq 1,313kW$$

kde:

- P W - celkový příkon dopravníku
P₁₋₃ W - dílčí příkony jednotlivých dílů dopravníku

Ze získaných výpočtů můžeme tedy stanovit výkon elektromotoru vhodného k pohánění vertikálních česlí. Z výsledného příkonu dopravníku, jehož hodnota je 1,313 kW, stanovíme nejbližší vyšší tabulkovou hodnotu výkonu motoru. Výsledný výkon elektromotoru je tedy 1,5 kW.

6.6.2 Výběr elektromotoru s převodovou skříní

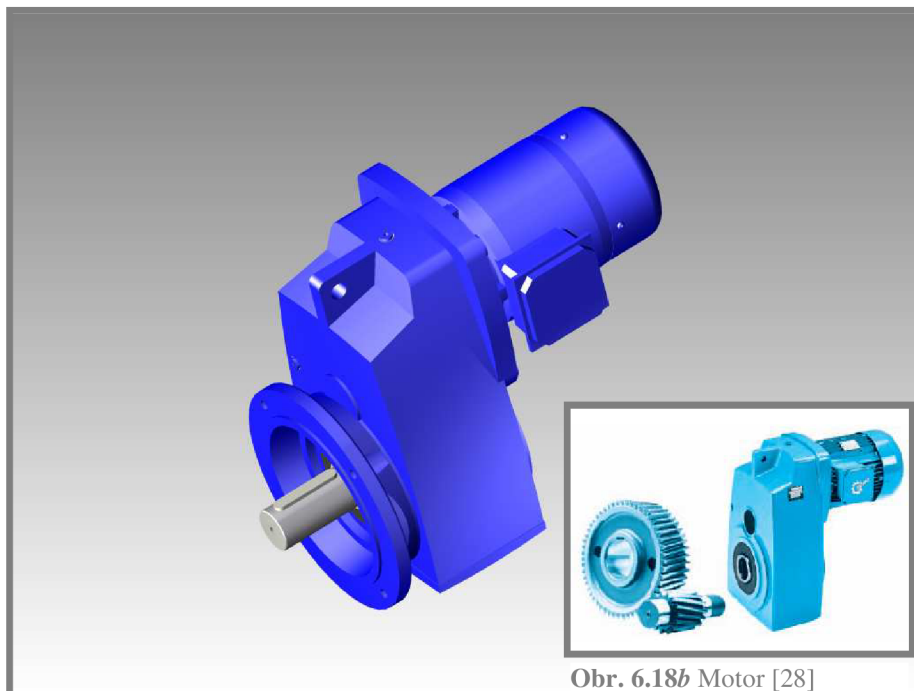
Při výběru elektromotoru a převodové skříně se řídíme vypočítanými parametry a dalšími faktory, jako je například druh práce, pro kterou je elektromotor určen.

Výrobců elektromotorů na trhu je velké množství a výběr mezi nimi není jednoduchý. Z tohoto důvodu je nutné zvážit několik základních parametrů výběru. Zřejmě nejdůležitějším faktorem je kvalita výrobku, cena a jeho životnost. Dále je vhodné přihlídnout na servis, odbornou pomoc při řešení problémů, rychlost dodání a na zkušenosti s jednotlivými výrobky.

S ohledem na dlouhodobé a velice dobré zkušenosti s výrobky i zástupci firmy Getriebbau NORD Drivesystems bude pro vertikální česle použita převodovka s elektromotorem právě firmy NORD.

6.6.3 Elektromotor s plochou čelní převodovkou SK 4282 VF VL2 – 90/L4

Při výběru správného typu převodovky bylo dbáno na použití a zatížení stroje, který bude daným zařízením poháněn.



Obr. 6.18b Motor [28]


Obr. 6.18 Elektromotor SK 4282 VF VL2 – 90/L4 [28]

Požadavky:



- vhodná konstrukce převodovky pro umístění na vertikálních česlích
- výkon motoru
- převodová skříň o výstupních otáčkách $n=15 \text{ min}^{-1}$
- vhodná volba ložisek a konstrukce skříně proti zatížení od vertikálního dopravníku
- plná výstupní hřídel a odsazená příruba pro přišroubování

Jako vhodné tvarové řešení pro vertikální česle byla zvolena plochá čelní převodovka s motorem o výkonu 1,5 kW dle vypočtené hodnoty, která nese základní označení SK 4282 – 90/L4 s výstupními otáčkami 15 min^{-1} .

Tab. 6.5 Převodová skřín s motorem SK 4282 - 90/L4 [28]

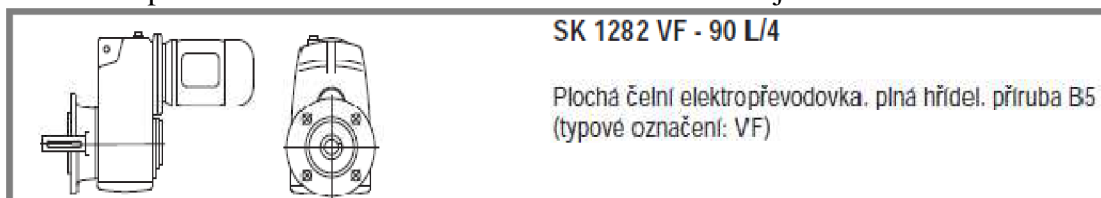


1,50 kW

P_1 [kW]	n_2 [min ⁻¹]	M_2 [Nm]	f_B	i_{ges}	F_R [kN]	F_A [kN]	$F_{R VL}$ [kN]	$F_{A VL}$ [kN]			
1,50	3,9	3673	0,8	361,69	22,7	32,0	38,6	40,0	SK 5382 - 90L/4	124	C85
	4,2	3411	0,9	331,48	24,1	32,0	39,5	40,0			
	5,2	2755	1,0	269,99	27,1	32,0	41,4	40,0			
	5,6	2558	1,3	248,70	27,8	32,0	41,9	40,0			
	6,9	2076	1,5	202,57	29,3	32,0	42,9	40,0			
	6,9	2076	1,3	134,03	29,3	32,0	42,9	40,0	SK 5282 - 100L/6	109	C84
	9,2	1557	1,4	100,19	30,5	32,0	43,7	40,0			
	10	1432	1,9	91,81	30,1	32,0	43,8	40,0			
	10	1432	1,9	134,03	30,1	32,0	43,8	40,0	SK 5282 - 90L/4	105	C84
	14	1023	2,2	100,19	27,5	32,0	44,3	40,0			
	17	843	2,2	81,61	26,1	32,0	44,4	40,0			
	25	573	3,3	55,55	23,6	32,0	44,6	40,0			
	5,5	2605	0,8	253,12	12,3	22,0	24,6	30,0			
	6,6	2170	0,8	211,09	15,9	22,0	26,7	30,0			
	7,3	1962	1,0	191,57	17,2	22,0	27,5	30,0			
8,3	1726	0,9	110,78	18,5	22,0	28,2	30,0	SK 4282 - 100L/6	73	C82	
9,0	1592	0,8	155,40	19,1	22,0	28,6	30,0				
13	1102	1,5	110,78	19,1	22,0	29,8	30,0	SK 4282 - 90L/4	69	C82	
15	955	1,7	90,52	18,5	22,0	30,0	30,0				
18	796	2,0	76,70	17,7	22,0	30,3	30,0				
31	462	2,6	45,05	15,6	22,0	30,2	30,0				

Tento základní typ převodové skříně lze dále konstrukčně upravovat dle požadavků zákazníka.

Jedním z těchto požadavků byla plná výstupní hřídel pro umístění spojky a odsazená příruba. Tuto konstrukční variantu v sobě zahrnuje zkratka VF.



Obr. 6.19 Typová příruba B5 [28]

Dalším parametrem byla vhodná volba ložisek a konstrukce převodové skříně proti zatížení od vertikálního dopravníku. Z tohoto důvodu bylo zvoleno technické provedení s názvem: Pohony pro ventilátory a míchadla. Tento typ provedení převodovek je určený speciálně pro větráky, ventilátory a míchadla na čističkách odpadních vod.

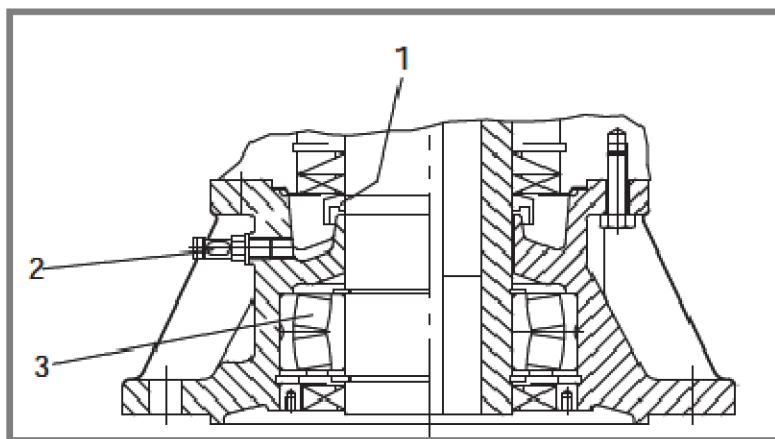
Podle katalogu firmy NORD Drivesystems jsou dány následující provozní podmínky motoru s převodovou skříní:

- souvislý 24 hodinový provoz při jmenovitém momentu a výkonu motoru
- vibrace v uloženích hřídelí, celkové vibrace, ohybové síly a momenty působící na výstupní hřídel převodovky při využití ložisek hřídele převodovky k uložení míchadla, nebo ventilátoru
- svislé provedení

- venkovní prostředí, tedy vlhkost a agresivní látky, včetně změn teplot a kondenzace
- ochrana životního prostředí – požadavek na absolutní těsnost, jednoduchá výměna oleje a malá hlučnost [28]

Volba řady zesíleného provedení ložisek hřídelí s označením VL2, která je určena pro větší zatížení ložisek v axiálním a radiálním směru, garantuje delší životnost ložisek. Použité soudečkové naklápěcí ložisko (poz.3) je vhodné pro dlouhé hřídele míchadel, kde částečně koriguje jejich házivost. [28]

Pozice 1 a 2 na obrázku znázorňují přepadový kroužek při úniku oleje a olejový senzor, který je však pouze u provedení VL3.



Obr. 6.20 Zesílená řada ložisek VL2 [28]

Zesílená řada ložisek tedy zajišťuje možnost většího radiálního i axiálního zatížení pohonu dopravníku.

Zatížení v axiálním směru je dáno především vahou vertikálního dopravníku. Výpočet zatížení od vertikálního dopravníku v ose y:

$$F_y = (m_d + m_s)g \quad (16)$$

$$F_y = (132,5 + 231,12) \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} = 3567,11 \text{ N} \doteq 3,567 \text{ kN}$$

kde:

F_y	N	- síla ve směru osy y
m_d	kg	- hmotnost dopravníku
m_s	kg	- odhadovaná maximální hmotnost shrabků
g	ms^{-2}	- tíhové zrychlení

Výpočet maximální odhadované hmotnosti shrabků [22]:

$$m_s = \left(\frac{\pi D_1^2}{4} i + \frac{\pi D_2^2}{4} i + \frac{\pi D_3^2}{4} i \right) h_s \rho_{sm} \quad (17)$$

$$m_s = \left(\frac{\pi \cdot 0,5^2 \text{ m}}{4} \cdot 3,75 + \frac{\pi \cdot 0,4^2 \text{ m}}{4} \cdot 3 + \frac{\pi \cdot 0,3^2 \text{ m}}{4} \cdot 11,5 \right) \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3}$$

$$m_s = 231,12 \text{ kg}$$

kde:

m_s	kg	- odhadovaná maximální hmotnost shrabků
D_{1-3}	m	- průměr spirály pro 1. až 3. díl dopravníku
i		- počet chodů šnekovnice
h_s	m	- maximální výška shrabků v jednom závitě šnekovnice
ρ_{sm}	kgm^{-3}	- hustota mokrých shrabků

Vypočtená hodnota síly v ose x - $F_x = 3,567 \text{ kN}$ v porovnání s axiální silou převodovky $F_{A \text{ VL}} = 30 \text{ kN}$ je dostatečně malá. Jedná se však pouze o orientační výpočet a není zapotřebí mu přiřkládat větší váhu.

Orientační zatížení v radiálním směru se může určit z rovnice pro výpočet odporové síly pohybujícího se tělesa v prostředí. U výpočtu budeme uvažovat jako těleso spodní díl šnekovnice dopravníku a jako prostředí bude uvažována odpadní voda. Pro jednoduchost určíme jako kolmý průřez ve směr toku odpadní vody plochu obdélníku.

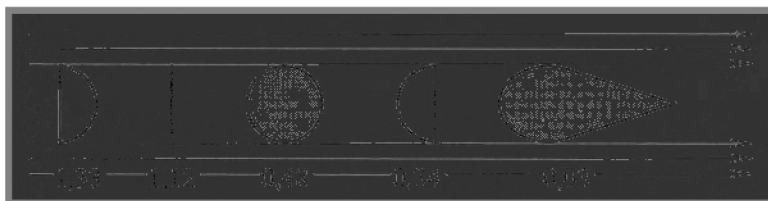
Výpočet síly působící na dopravník v ose x [22]:

$$F_x = \frac{1}{2} C \rho S_m v^2 \quad (18)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot 1,12 \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3} \cdot 0,4 \text{ m}^2 \cdot 0,7^2 \text{ ms}^{-1} = 131,712 \text{ N}$$

kde:

F_x	N	- síla ve směru osy x
C		- součinitel odporu (obr. 6.21)
ρ	kgm^{-3}	- hustota odpadní vody
S_m	m^2	- plocha kolmá ke směru toku média
v	ms^{-1}	- rychlost odpadní vody



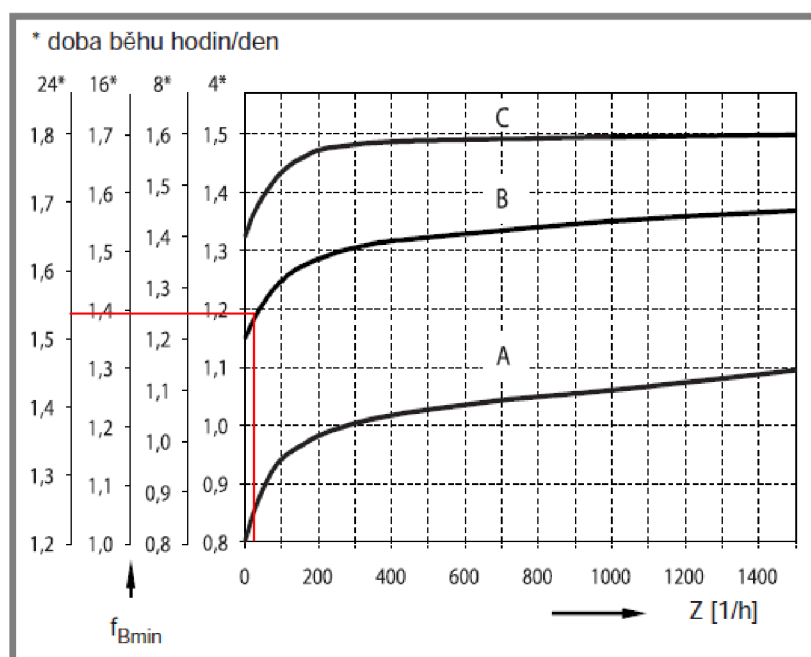
Obr. 6.21 Součinitel odporu

Z výsledku je patrné, že zátěžná síla je s porovnáním se silou převodovky $F_{R \text{ VL}} = 30 \text{ kN}$ zanedbatelná. Avšak ve výpočtu nejsou uvažovány rázy a podobná jednorázová zatížení. Proto můžeme považovat tento výpočet pouze za orientační a nemusíme mu přiřkládat váhu.

Dalším důležitým parametrem u vybraného řešení převodové skříně je také provozní faktor $f_B = 1,7$, který je potřeba zkontrolovat zařazením stroje do vhodného druhu provozu a porovnáním s grafem na obrázku 6.22.

Tab. 6.6 Druh provozu stroje

Křivka	Druh provozu
A	a) rovnoměrný provoz
B	b) nerovnoměrný provoz
C	c) těžký nerovnoměrný provoz



Obr. 6.22 Závislost doby běhu zařízení na počtu sepnutí

kde:

$Z \text{ h}^{-1}$ - předpokládaný počet spínání stroje za hodinu $Z = 30 \text{ h}^{-1}$
 f_{Bmin} - minimální provozní faktor

Z grafu byla odečtena hodnota minimálního provozního faktoru $f_{Bmin} = 1,53$, což je hodnota menší, než u vybraného typu převodovky $f_B = 1,7$ a tudíž vyhovuje provozním podmínkám pohonu česlí.

Splněním všech požadavků tedy dostáváme typové označení převodovky s elektromotorem: SK 4282B VF VL2 – 90/L4.

6.6.4 Příruba s manipulačními úchyty

6.6.4

Tento prvek slouží ke spojení převodové skříně a motoru s tělesem česlí. Protože zakončení česlí a připojovací rozměry převodové skříně nejsou shodné, je zapotřebí přechodového prvku k jejich spojení.

Přechodovým prvkem je plechové mezikružší z plechu tlustého 8 mm, vnitřním průměrem 230 mm a vnějším průměrem 410 mm. Na plechovém výpalku

jsou také tři manipulační úchyty pro hák jeřábu, či jiné transportní prvky. Úchyty jsou rozmístěny na obvodu po devadesáti stupních, z nichž dva protilehlé jsou ohnuty směrem nahoru pod úhlem 55° . Třetí úchyt ohnutý není a slouží především pro vyvažování vertikálních česlí při spouštění do šachty. Průměr otvoru na každém z úchytů je 55 mm.

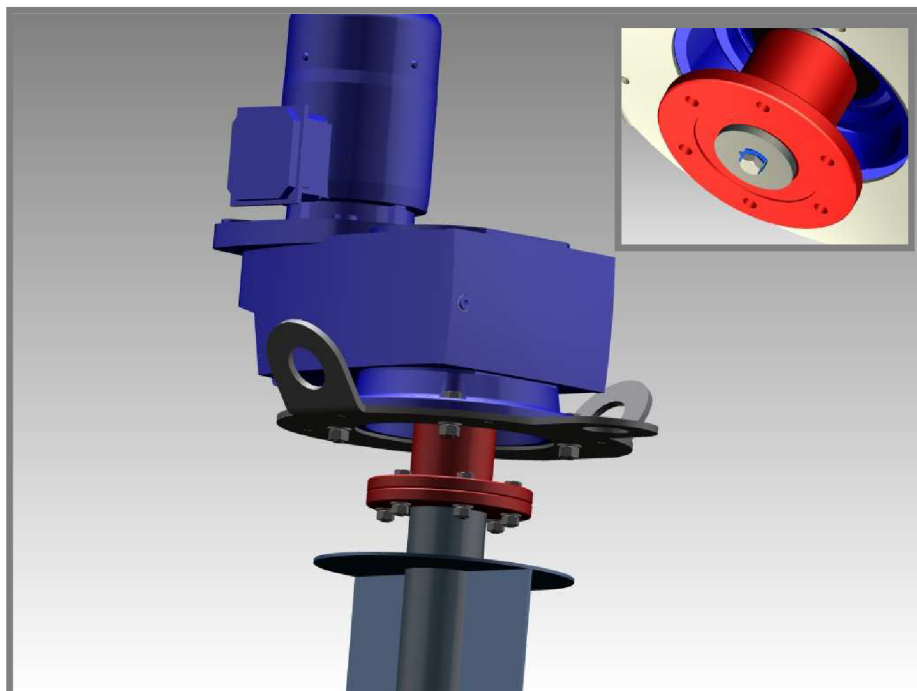
Na spojovacím prvku převodovky s česlemi jsou dvě kruhová pole vrtaných otvorů. Vnitřní pole čtyř děr, jehož průměr je 265 mm, odpovídá přípojovací přírubě převodové skříně a motoru typu B5. Díry mají průměr 15 mm pro šroub M 14. Vnější pole slouží ke spojení s tělesem česlí. Pole o průměru 354 mm je tvořeno šesti otvory pro šrouby M 10.



Obr. 6.23 Příruba s manipulačními úchyty

6.6.5 Spojka

Spojení převodovky s motorem a vertikálního dopravníku je zajištěno pomocí přírubového spoje se zámkem. Jedna část spojky je součástí hřídele dopravníku. Druhý díl je tvořen přírubou s nábojem, který je nasazen na výstupní hřídeli převodovky. Proti pootočení je příruba zabezpečena perem. V ose y je potom tato příruba pojištěna podložkou a šroubem M12 x 30, který je proti povolání zajištěn podložkou s nosem. Průměr přírubové spojky je 190 mm a vzájemně je spojena šesti šrouby M12 x 45.



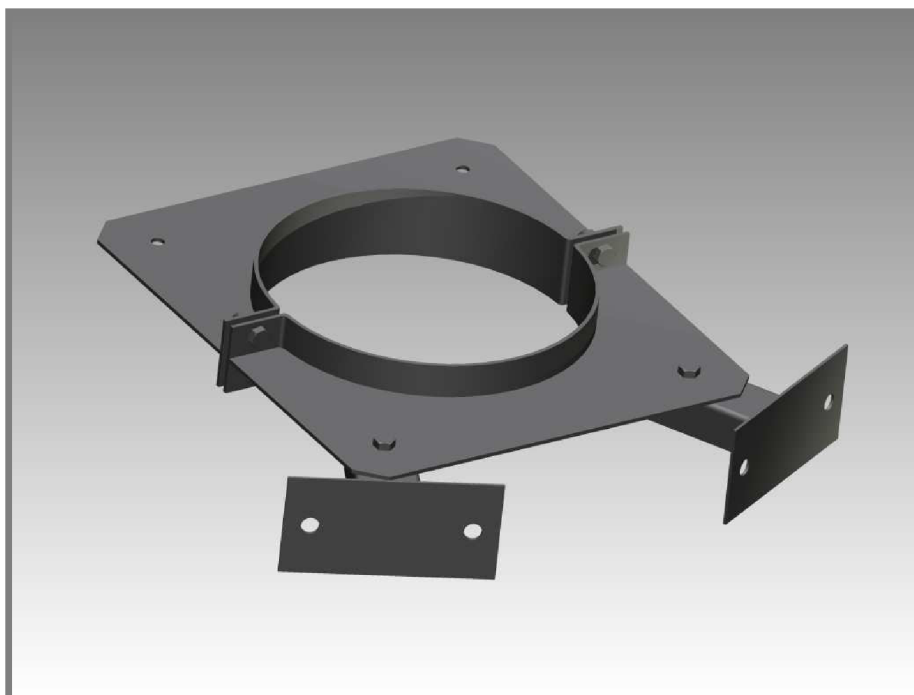
Obr. 6.24 Spojka

7 UKOTVENÍ VERTIKÁLNÍCH ČESLÍ

Kotvící prvky slouží k přichycení vertikálních česlí ke stěnám šachty a měly by zabránit vychýlení česlí z vertikální pozice, či jejich pootočení okolo vlastní osy. Součástí kotevních systémů pro dané zařízení jsou kotvící prvky a objímky se vzpěrami.

7.1 Konstrukce objímek se vzpěrami

Objímky sloužící pro ukotvení vertikálních česlí se skládají ze dvou shodných polovin a dvou vzpěr.

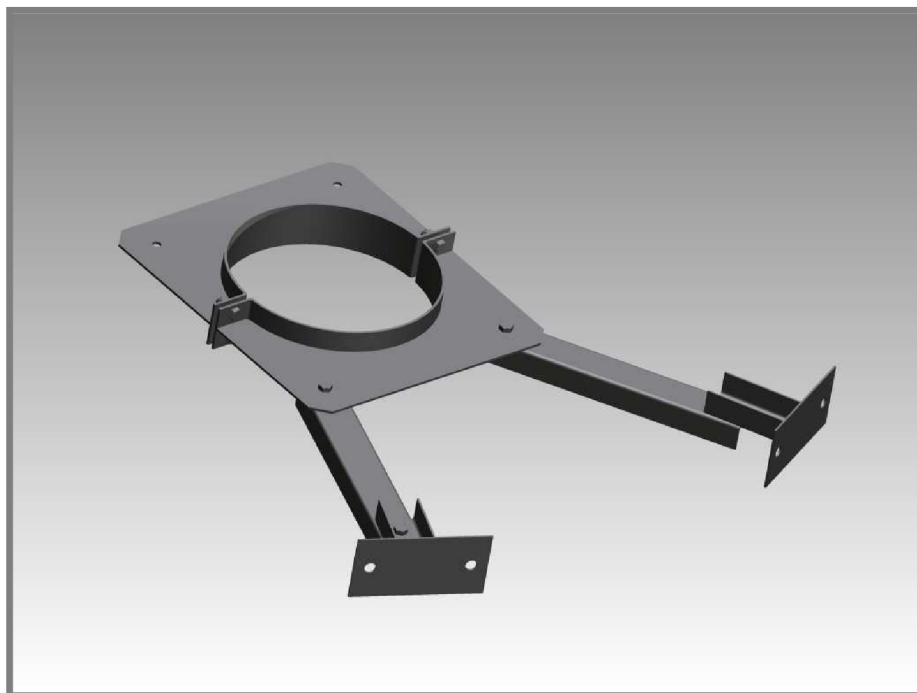


Obr. 7.1 Objímka se vzpěrami

Objímky jsou složeny z tvarovaného plechu sloužícího k upevnění vzpěr a ze skruženého plechu dle tvaru tělesa česlí, v kterém jsou vyvrtány otvory pro šrouby M 12 spojující obě poloviny objímky.

Vzpěry jsou vyrobeny z plechových U-profilů a skládají se ze dvou částí. Jednou z nich je plechový profil s otvorem pro přišroubování k objímce. Druhým dílem je plotna o rozměrech 100 x 200 mm, přivařená k profilu s otvory pro kotvící prvky.

Na obrázku 7.2 je zobrazena druhá varianta vzpěr, která je vhodná pro ukotvení česlí, jejichž poloha je vzdálenější od stěny šachty. Vzpěry jsou sestaveny ze dvou kusů. Prvním je U-profil, na který navazuje patka shodná s první variantou. Důvodem proč je konstrukce vzpěry dvouprvková, je její lepší manipulace při montáži. Především při natočení patky, aby lépe kopírovala kulatý povrch stěny šachty. Konstrukce vzpěry se pak nemusí tvarově upravovat při samotné montáži.



Obr. 7.2 Objímka se vzpěrami 2

7.2 Možnosti kotvicích prvků

7.2

Jelikož se vertikální česle budou ukotvovat do betonových stěn šachty, jedná se o kotvení do pevných materiálů, jimiž jsou například kámen, asfalt, dlaždice, zdivo, nebo právě zmíněný beton. Firmy, zabývající se výrobou kotvicích prvků nabízejí dvě možnosti ukotvení. První variantou je kotvení mechanické, druhou variantou je kotvení pomocí chemický kotev.

7.2.1 Mechanické kotvení

7.2.1

Zajištění kotvy v daném materiálu, jak již název napovídá, je mechanické. Při výběru mechanických kotev máme k dispozici několik způsobů provedení, tvarů a rozměrů v závislosti na výrobcích jednotlivých kotev. Princip funkce mechanického kotvení spočívá v tom, že se do předvrtaného otvoru vloží kotva a následně dojde k rozepření pohyblivé části kotvy. Únosnost těchto spojení je velmi vysoká, ale je limitovaná kvalitou materiálu, ve kterém je kotva umístěna. Při montáži mechanické kotvy do nekvalitního materiálu, může dojít k uvolnění kotvy a vytržení kusu tohoto materiálu. Mechanická kotva je galvanicky zinkována.

Při montáži mechanické kotvy je potřeba dodržovat postup předepsaný výrobcem. Tento postup můžeme shrnout do několika kroků:



Obr. 7.3 Mechanické kotvení – postup [15]

- Prvním krokem při montáži mechanické kotvy je vyvrtání otvoru s vŕlím, která je daná výrobcem.
- Druhým krokem je vyčištění otvoru od nečistot, které by mohly částečně zabránit vložení kotvy do otvoru.
- V dalším kroku dojde k usazení kotvy do otvoru pomocí usazovacího nástroje.
- Posledním krokem je aktivace samotné kotvy. Přes část kotvy, vyčnívající z otvoru, se nasune kotvený prvek, podložka a matice. Matice se utáhne momentovým klíčem dle pokynů výrobce na daný utahovací moment, aby došlo k aktivování kotvy.

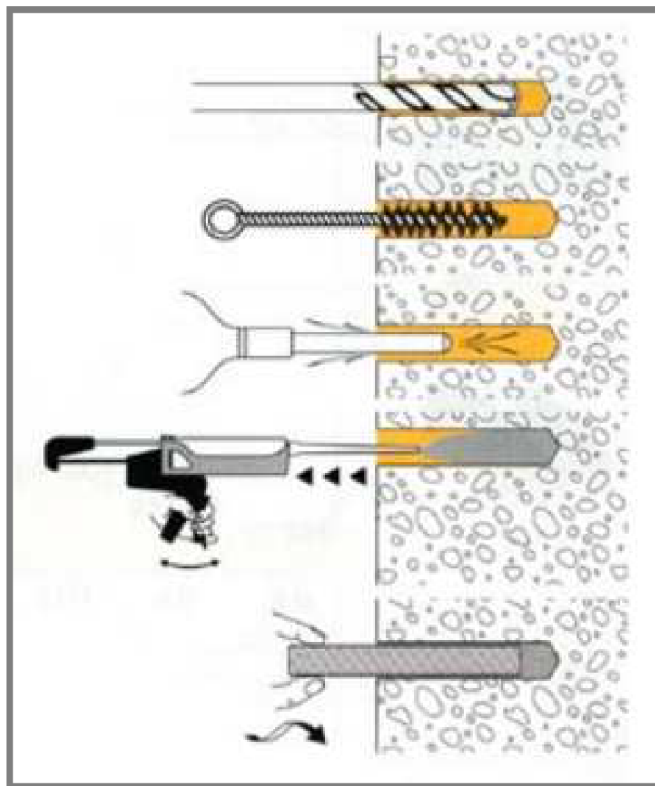
Pro mechanické ukotvení vertikálních česlí byla navržena průvleková kotva s typovým označením HTS – M16 pro trhlinový beton od společnosti HILTI.

7.2.2 Chemické kotvení

Další možností pro ukotvení stroje je použití chemického kotvení. Připevnění kotvy k danému materiálu je zajištěno chemickou reakcí dvousložkového lepidla, při níž dojde ke smíchání plnidla s tvrdidlem. Obě tyto části jsou smíchány v trysce montážní pistole. Lepidlo částečně vyplní vyvrtaný otvor, do kterého je následně zasunut kotvící šroub a dojde k vytvrzení pryskyřice kolem kotvy. Chemické kotvy není možno zatížit okamžitě po montáži, je zapotřebí aby se spoj vytvrdil. Potřebná doba pro vytvrzení chemické kotvy je závislá především na teplotě a vlhkosti okolí. Při nízké teplotě a vysoké okolní vlhkosti dochází k prodloužení vytvrzovací doby.

Výhodou použití chemických kotev je především to, že nedochází po jejich montáži ke zvýšenému působení rozpěrného tlaku v okolí kotvy, jako je tomu u mechanického kotvení. Díky této vlastnosti můžeme umísťovat kotvící prvky do menší vzdálenosti mezi jednotlivými kotvami a lze minimalizovat hloubku otvoru pro kotvící šroub od povrchu materiálu.

Při montáži chemické kotvy je podobně jako u mechanických kotvicích prvků nutné dodržovat pracovní postup uvedený výrobcem, aby byla dodržena kvalita a bezpečnost spoje. Pracovní postup je možno opět shrnout do několika kroků:



Obr. 7.4 Chemické kotvení – postup [19]

- a) Prvním krokem je vyvrtání otvoru do podloží s vůlí danou výrobcem, aby se pryskyřice dostala okolo celé kotvy.
- b) V dalším kroku je nutné vyčistit otvor kartáčem a odstranit tak hrubé nečistoty vzniklé při vrtání. Pokud by nebyl otvor dostatečně čistý, došlo by po vpravení lepidla k přilepení kotvy pouze k těmto úlomkům a spoj by nebyl dostatečně pevný.
- c) Po vyčištění otvoru kartáčkem je nutné vzduchovým pístem vyfouknout zbylý prach ze stejného důvodu, který byl popsán v bodě b).
- d) Čtvrtým krokem je nanesení dvousložkového lepidla do otvoru.
- e) V následujícím kroku se instaluje kotva do otvoru s pryskyřicí, očistí se okolí kotvy a odstraní se vytlačené části lepidla z otvoru, dříve než dojde k jejich vytvrzení.
- f) Po úplném vytvrzení chemické kotvy dojde k usazení kotvené součásti, která se zajistí maticí.

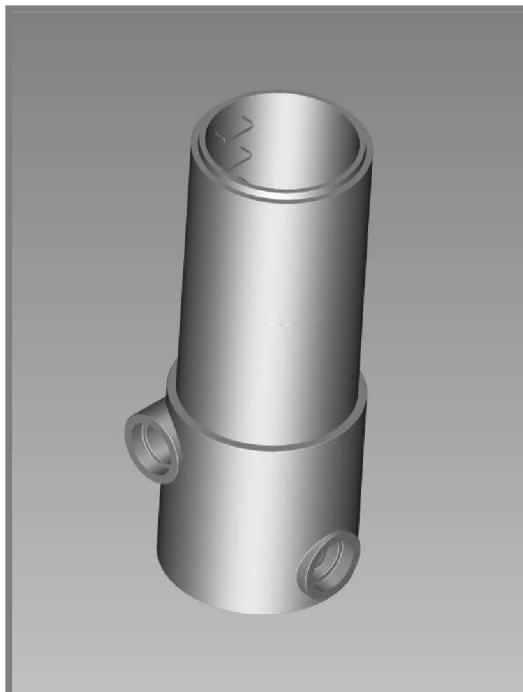
Pro chemické ukotvení vertikálních česlí byla zvolena vytláčovací chemická malta firmy HILTI s typovým označením HIT-HY 150 MAX.

Z obou zmíněných variant je pro lepší vlastnosti vhodnější použít chemické kotvení. Hlavním důvodem výběru tohoto kotvicího systému je to, že při jeho použití nedochází k vnitřním pnutím v podkladovém materiálu. A jelikož jsou vertikální

česle kotveny do šachty s šířkou stěny 90 mm, mohlo by při použití mechanického kotvení dojít k vylomení části stěny šachetní skruže.

8 ŠACHETNÍ SYSTÉM 501

Podle zadání byla konstrukce vertikálních česlí navrhována s ohledem na její použití v typové šachtě 501. Šachta se skládá z normalizovaných skruží o průměru 1000 mm a šachetního dna, které bylo upraveno dle požadavku zadavatele.



Obr. 8.1 Sestava šachty typu 501

Celková sestava šachty je tedy sestavena z upraveného šachetního dna o průměru DN 1000 mm a hloubce 1250 mm. Šachetní dno má dva přítokové a jeden odtokový otvor. Dalšími díly jsou dva kusy šachetních skruží o stejném průměru a výšce jednoho dílu 1000 mm. Celková hloubka šachty je tedy 3250 mm, což je o 50 mm více než zadaná hodnota. Rozdíl padesáti milimetrů oproti zadání je zvolen proto, aby vznikl přesah oproti okolnímu terénu a nevtékala tak do šachty nepředčištěná voda z povrchu. Poslední částí sestavy šachty je víko rozdělené na dvě poloviny s oky pro jeho uzamknutí. Uzamčení šachty je doporučeno především z bezpečnostních důvodů.

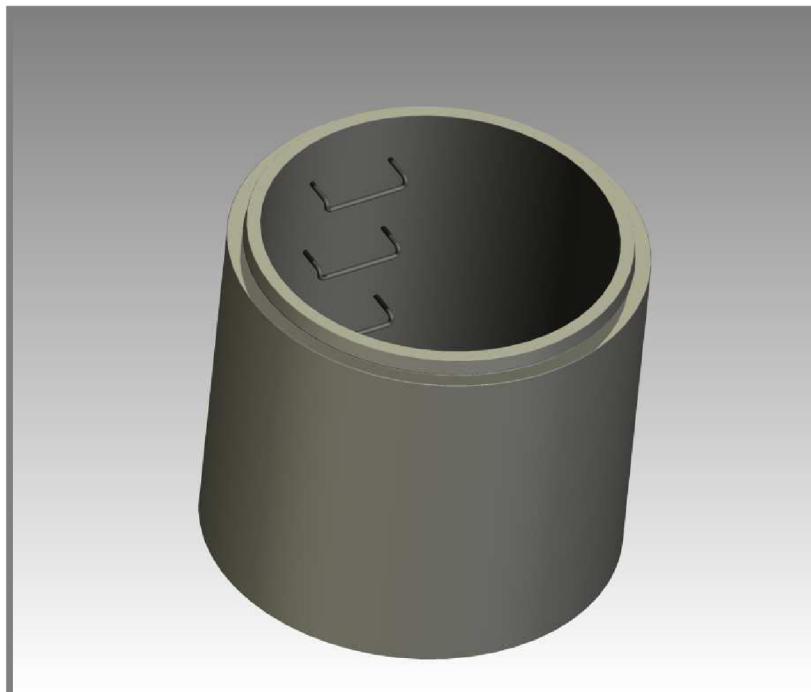
„Betonové dílce kanalizačních šachet umožňují přístup k systémům stokových sítí a kanalizačních přípojek, které jsou určeny pro gravitační odvádění odpadních vod samospádem, nebo příležitostně při malém přetlaku. Šachty slouží mimo jiné i k zavedení přístrojů pro manipulaci s vodou. Výhoda výstavby z betonových prefabrikátů je ve zkrácení doby výstavby proti monolitickým šachtám, v garanci kvality betonu, v těsnosti spojů mezi jednotlivými dílci a technickém provedení dílců.“ (PREFA Brno a.s., 2008, s. 30)

Tento typ betonových šachetních dílců se dodává se zabudovanými kramlovými stupadly KASI s ocelovým jádrem a PE povlakem dle DIN 19555-A-ST a DIN 19555-B-ST.

Materiál, z něhož jsou dílce zhotoveny je beton pevnostní třídy C 40/50, který je vysoko odolný proti obrušování a proti agresivitě chemického prostředí stupně AX1.

8.1 Šachetní skruže

Skruže, z kterých je šachta sestavena, jsou běžně používané prvky kanalizačních programů pro městské standarty o tloušťce stěny 90 mm dle ČSN EN 1917. Vnitřní průměr šachetních dílců je 1000 mm a výška jednoho dílu je jeden metr. Součástí typizovaných skruží jsou i stupadla KASI o kroku 250 mm.

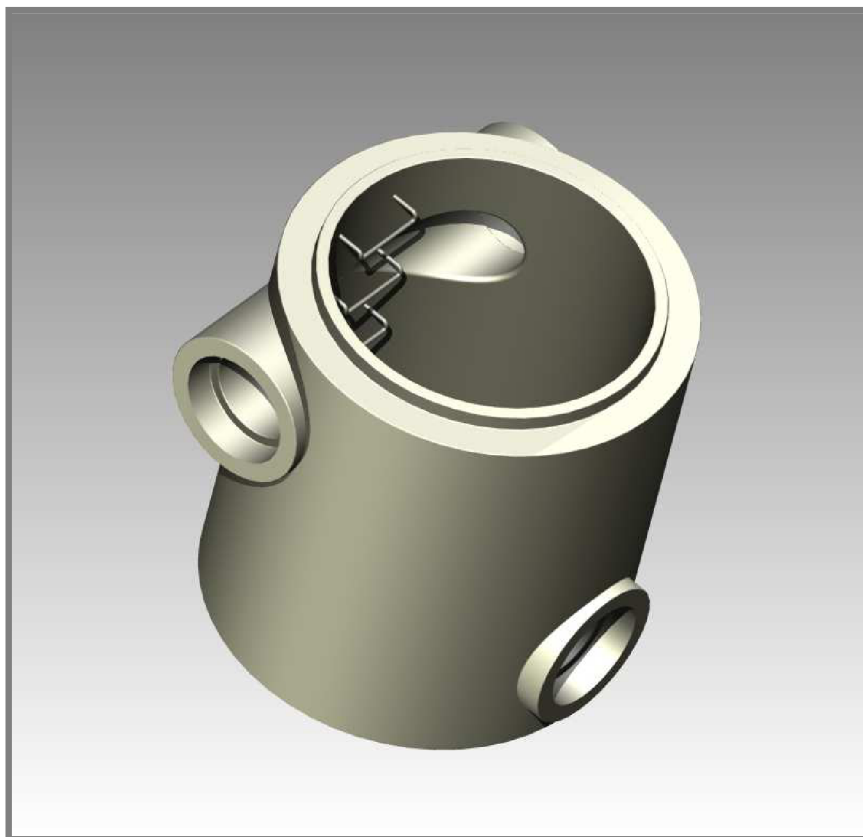


Obr. 8.2 Skruž DN 1000

8.2 Šachetní dno

Dno šachty bylo navrženo ve shodě s normou ČSN EN 1917. Součástí dna jsou stupadla KASI o shodném kroku 250 mm jako mají skruže šachty.

Šachetní dno je konstrukčně navrženo dle požadavků zadavatele a v souladu s podmínkami pro umístění vertikálních česlí. Šachetní dno obsahuje odtokový otvor o vnitřním průměru DN 300 mm a dva vtoky o stejném průměru, které jsou navzájem protilehlé. Všechny tři otvory dna tak tvoří tvar písmene T. (obr. 8.3) Výškové umístění obou vtoků je zvoleno dle požadavků na konstrukce česlí tak, aby dno vtoku bylo v co největší výšce, nejlépe v rovině s horním okrajem česlicového síta. Důvodem tohoto umístění je to, aby nedocházelo k zaplavování přítoku. Ideální umístění odtoku je takové, že by jeho vrchní rovina byla pod rovinou dna česlí. Z důvodu výškového omezení dna česlí však není možno tyto doporučené zásady striktně dodržet. Vnitřní průměr šachetního dna je tak stejně jako u skruží DN 1000 mm a jeho hloubka je 1250 mm.



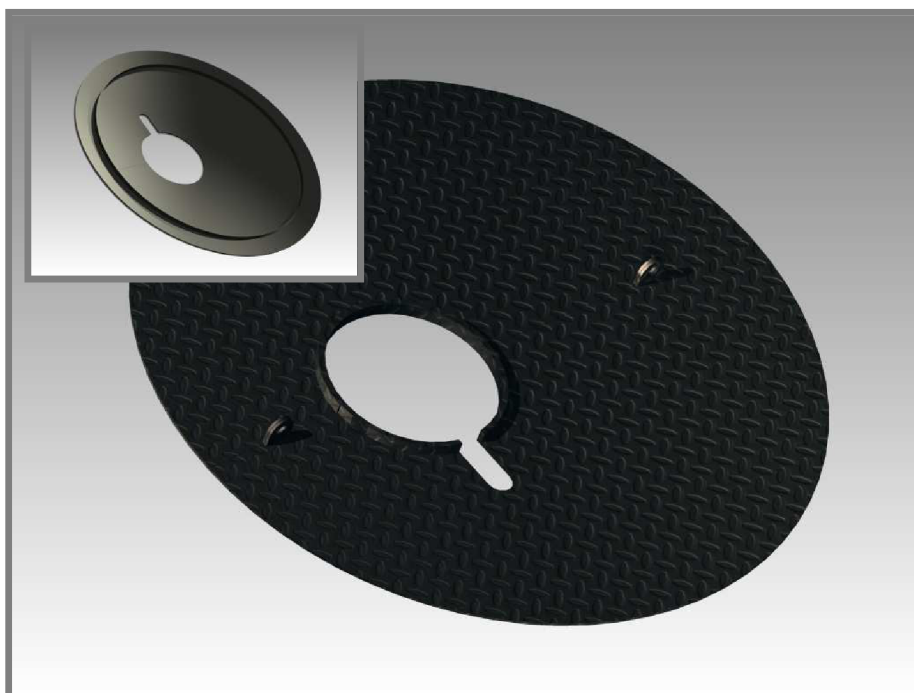
Obr. 8.3 Šachetní dno

8.3 Poklop šachty

Jelikož horní část vertikálních česlí vystupuje z šachty, nelze pro její zakrytí použít běžné poklopy z šachetního systému 501. Z tohoto důvodu bylo nutno navrhnout jiné řešení pro zakrytí šachty.

K zakrytí šachty byl navrhnout poklop skládající se ze dvou polovin. Rám poklopu je vyroben ze skruženého obdélníkového profilu 5 x 20 mm ve tvaru půl kruhu s vnějším poloměrem 500 mm. Pro konstrukci poklopu byl vybrán slzičkový plech tloušťky 5 mm o poloměru 590 mm tak, aby překryl stěnu šachty. Plech má tvar poloviny kruhové plochy, v němž je vyřezán otvor pro vertikální česle. Okolo otvoru v krytu je navařen prstenec ze stejného profilu, z kterého je zhotovený rám. Na obou polovinách krytu česlí jsou navařena dvě navzájem protilehlá oka, sloužící k uzamčení poklopu.

Na levé polovině rámu je v plechu krytu vyřezán navíc otvor pro hadici k odvodu vody z lisu.



Obr. 8.4 Poklop šachty

9 ODHAD CENOVÉ KALKULACE VERTIKÁLNÍCH ČESLÍ

Odhadovaná cena za výrobní náklady jednoho kusu vertikálních česlí byla konzultována s jednotlivými subdodavateli a výrobcí dle aktuálních ceníků pro měsíc květen roku 2010.

Tab. 9.1 Odhad cenové kalkulace vertikálních česlí

Položka	Cena v Kč (bez DPH)
Hutní materiál	18300
Šnekovnice	27600
Spojovací materiál	1400
Motor	20500
Stírací kartáče	4500
Děrovaný plech	5250
Doplňkový materiál ⁽¹⁾	9000
Výrobní náklady ⁽²⁾	42600
Celkové výrobní náklady	129150

⁽¹⁾ Doplnkový materiál tvoří například: madla, zámky, odtoková hadice, náběhové gumové prvky, atd.

⁽²⁾ Mezi výrobní náklady patří součásti, které nejsou obsaženy v cenách za materiál, samotná výroba stroje a zisk výrobce.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vypracovat konstrukční návrh vertikálních česlí s integrovaným lisem shrabků pro mechanické předčištění odpadních vod. Konstrukce česlí je určena pro typovou šachtu 501 hlubokou 3200 milimetrů. Základními požadavky na konstrukci bylo její umístění v daném šachetním systému a snadná údržba.

Vertikální česle byly navrženy podle stávajících typů zařízení, jejich využití v běžné praxi a pracovních podmínkách a podle požadavků zadavatele, kterých bylo zapotřebí dosáhnout. Jedním ze základních nároků byla jednoduchost celé konstrukce, snadná montáž a údržba zařízení a jeho cenová dostupnost, což byly stěžejní body, pomocí nichž byl návrh česlí koncipován.

Prvním a zároveň nejdůležitějším cílem práce bylo zajištění funkčnosti celého zařízení. Z tohoto důvodu byl po domluvě se zadavatelem vypočítán maximální průtok odpadní vody, dle kterého byl vybrán základní tvar česlí, průměr česlicového koše a množství průlin v sítu stroje s ohledem na jejich velikost.

Samotné řešení vertikálních česlí bylo navrženo jako šroubovaná konstrukce, jejíž jednotlivé díly jsou zhotoveny převážně z nerezového materiálu 17 246 vhodného pro stroje pracující ve vodě obsahující chemické látky. Upřednostnil jsem konstrukci, která se skládá z jednotlivých částí spojených šrouby. Tento typ jsem zvolil především proto, že na rozdíl od svařované konstrukce se při běžné údržbě, či při poruše zařízení, dají jednotlivé díly snadno vyměnit a není nutný větší zásah do celkové stavby stroje. Tímto typem konstrukce je tak splněna podmínka na jednoduchost a snadnou a rychlou údržbu vertikálních česlí.

Dalším stěžejním krokem při návrhu zařízení byl vhodný výběr zpracování lisu shrabků. Z mnoha variant byla zvolena konstrukce tak zvaného gravitačního lisu, který je svými rozměry a provedením nevhodnějším typem a to i z hlediska finanční náročnosti. Princip zařízení spočívá v lisování shrabků vlastní vahou a jejich následným vyhrnutím do kontejneru. Voda, která je ze shrabků vylisována, následně odtéká zpět do šachty.

Nedílnou součástí konstrukce česlí je jejich pohon, jež je realizován třífázovým elektromotorem s převodovou skříní SK 4282 VF VL2 – 90/L4 o výkonu 1,5 kW a výstupními otáčkami 15 s^{-1} od firmy NORD. Vybraný model je primárně určen mimo jiné pro míchadla na čističkách vod a převodová skříně je vybavena zesílenou řadou ložisek.

Šachetní systém 501, pro který jsou česle navrženy, se skládá ze dvou skruží a šachetního dna. Šachetní dno bylo upraveno v souladu s normou ČSN EN 1917 tak, aby vyhovovalo požadavkům zadavatele a zároveň bylo vhodné pro ideální funkčnost vertikálních česlí. Celková hloubka šachetního systému je 3250 milimetrů. Hloubka šachty je záměrně o 50 milimetrů větší a to z toho důvodu, aby se do šachty nedostávaly nečistoty, které by tak nemusely být česlemi zachyceny. Jelikož horní část vertikálních česlí vystupuje z šachty, nelze pro její zakrytí použít běžné poklopy z šachetního systému 501. Na základě toho byl navrhnut tvarovaný uzamykatelný poklop skládající se ze dvou částí.

Uchytení vertikálních česlí k šachtě je realizováno pomocí vzpěr a chemického kotvení, jehož mechanické vlastnosti jsou pro daný typ spoje vhodnější než ukotvení stroje mechanickými kotvami.

Dalším požadavkem zadavatele byla celková hmotnost stroje, která nesmí přesahovat hodnotu 1500 kg, což konstrukce splňuje. Její hmotnost tak včetně nátokového plechu a kotvicích prvku činí 480 kg.

Odhadovaná cena zařízení byla stanovena ve spolupráci se subdodavatelem a výrobcem na 129150 Kč bez DPH. Výsledná cena stroje se může měnit dle aktuální ceny materiálu a nabídky jednotlivých subdodavatelů.

Stanovené cíle diplomové práce byly splněny v plném rozsahu dle zadání.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČÍŽEK, P.; HEREL, F.; KONÍČEK, Z. *Stokování a čištění odpadních vod* . 1. vyd. Praha : SNTL, 1970. 400 s.
- [2] ŠTĚRBA, O.; ROSOL, J. *Znečišťování a ochrana vod* . 1. vyd. Olomouc : Univerzita Palackého, 1989. 181 s.
- [3] POKORNÝ, M.; MAZEL, L. *Vodárny a čistírny*. 2. přeprac. vyd . Brno : VUT, 1992. 149 s. ISBN 80-214-0473-6.
- [4] TUČEK, F.; CHUDOBA, J.; KONÍČEK, Z. *Základní procesy a výpočty v technologii vody : Celostát. vysokošk. příručka pro stud. vys. šk. chemickotechnol. stud. oboru č. 28-05-8 Technologie vody*. 2., přeprac. vyd . Praha : [s.n.], 1988. 494 s.
- [5] *Mechanické čištění odpadních vod*. Praha : Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1996. 99 s. ISBN 80-02-01096-5.
- [6] ŠÁLEK, J.; HLAVÍNEK, P.; MIČÍN, J. *Vodní stavitelství*. Brno : CERM, 2002. 144 s. ISBN 80-214-2068-5.
- [7] HLAVÍNEK, P.; PRAX, P.; KUBÍK, J. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. 1. vyd. Brno: ARDEC, 2007. 164 s. ISBN 978-80-86020-55-6.
- [8] HLAVÍNEK, P. *LinkIntegrated urban water resources management : proceedings of the NATO Advanced Research Workshop*. 1. vyd. Brno : NOEL2000, 2005. 334 s. ISBN 80-86020-47-9.
- [9] HLAVÍNEK, P.; MIČÍN, J.; PRAX, P. *Stokování a čištění odpadních vod*. 1. vyd. Brno : CERM, 2003. 283 s. ISBN 80-214-2535-0.
- [10] LEINVEBER, J.; ŘASA, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. . Praha : Scientia, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [11] SVOBODA, P.; BRNADEJS, J.; PROKEŠ, F. *Výběry z norem*. 1. vyd. Brno : CERM, 2007. 223 s. ISBN 80-7204-465-6.
- [12] *HUBER Technology Inc*. [online].2009 [cit. 2009-11-05]. Dostupné z: <www.huber.de>.
- [13] *HUBER Technology Inc : Czech Republic* [online]. 2010 [cit. 2009-11-05]. Dostupné z: <<http://www.hubercs.cz/>>.
- [14] *IN EKO Team s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-02-13]. Dostupné z: <www.in-eko.cz>.

- [15] *HILTI ČR, spol. s r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z: <www.hilti.cz>.
- [16] *WH-KOTE, spol. sr.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z: <www.wh-kote.cz>.
- [17] Česle. in *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2009 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Česle>>.
- [18] *Topinfo s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z: <<http://voda.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2417>>. ISSN 1801-4399.
- [19] *Marigold* [online]. 2007 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z: <<http://www.marigold.cz/wifi/doku.php/pripevneni>>.
- [20] *3D ContentCentral* [online]. 2010 [cit. 2009-15-12]. Dostupné z: <<http://www.3dcontentcentral.com/parts/browse/Latches.aspx>>.
- [21] *Volný pád s odporem prostředí* [online]. 2007 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <www.gnj.cz/.../volny_pad/fl_5_volny_pad_s_odporem_prostredi.doc>.
- [22] *Ústav automobilního a dopravního inženýrství* [online]. 2010 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <<http://www.iae.fme.vutbr.cz/cs/studium/opory>>.
- [23] *Integrace-cz* [online]. 2009 [cit. 2009-05-12]. Dostupné z: <www.integrace.cz>.
- [24] *INKOS CZ, s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/cz/tech_hrube_predcisteni.htm>.
- [25] *BMTO Group a.s.* [online]. 2008 [cit. 2010-01-20]. Dostupné z: <<http://www.bmto.cz/cistirny-odpadnich-vod/hrube-cesle-spodem-stirane/>>.
- [26] *Abeceda vodních pohonů* [online]. 2007 [cit. 2010-01-20]. Dostupné z: <<http://mve.energetika.cz/>>.
- [27] *Povodí Labe* [online]. 2009 [cit. 2009-11-27]. Dostupné z: <<http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/>>.
- [28] *NORD Drivesystems* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z: <http://www2.nord.com/cms/cz/hp_home_CZ.jsp>.
- [29] *OL-STEEL cze* [online]. 2010 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <<http://www.olsteel.cz/pages/Onas.aspx>>.
- [30] *Kartáčovna Koloveč, spol. s r.o.* [online]. 2008 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <http://www.kartacovnakolovec.cz/czech/produkty_tk_valce/>.

- [31] *PREFA BRNO a.s.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <<http://www.prefa.cz/katalog.php?katid=336>>.
- [32] *Maflex* [online]. 2009 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z: <www.maflex.cz/CZ/Nerez/17246.pdf>.
- [33] *Katchem spol. s r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z: <http://www.katchem.cz/lity_pa_6.php>.
- [34] *TTR, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z: <http://www.ttr.cz/snekove_dopravniky.html>.
- [35] *Perfo Linea a.s.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z: <<http://www.perfolinea.cz/derovane-plechy/kalkulacka.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

Zkratka	Význam	
CAD	Computer Aided Design	
CNC	Computer Numeric Control	
ČOV	Čistička odpadních vod	
PE	Polyetylén	
SČH	Stírané česle hrablové	
SČŘ	Stírané česle řetězové	
SČV	Stírané česle vozíkové	

Symbol	Jednotka	Popis
a_p	m	- šířka průliny
b	m	- velikost průliny
b_p	m	- délka průliny
$b_{p,1}$	m	- délka obdélníkového tvaru průliny
C		- součinitel odporu
d	m	- průměr potrubí
D_1	m	- průměr spirály pro 1. díl dopravníku
D_2	m	- průměr spirály pro 2. díl dopravníku
D_3	m	- průměr spirály pro 3. díl dopravníku
$d_{\check{c}}$	m	- průměr česlice
d_k	m	- vnitřní průměr koše
f_B		- provozní faktor
f_{Bmin}		- minimální provozní faktor
F_x	N	- síla ve směru osy x
F_y	N	- síla ve směru osy y
g	ms^{-2}	- tíhové zrychlení
h	m	- výška koše
h_1	m	- výška 1. dílu dopravníku
h_2	m	- výška 2. dílu dopravníku
h_3	m	- výška 3. dílu dopravníku
h_o	m	- výška otvoru česlicového koše
h_s	m	- maximální výška shrabků v jednom závitě šnekovnice
i	ks	- počet chodů šnekovnice
l_o	m	- délka oblouku otvoru česlicového koše
m_d	kg	- hmotnost dopravníku
m_s	kg	- odhadovaná maximální hmotnost shrabků
m_x	m	- velikost mezery mezi průlinami v ose x
m_y	m	- velikost mezery mezi průlinami v ose y
n	s^{-1}	- otáčky dopravníku
n_c	ks	- výsledný počet průlin v česlicovém koši
n_{min}	ks	- minimální počet průlin v sítu
n_p	ks	- předdimenzovaný počet průlin
P	W	- celkový příkon dopravníku

P_1	W	- dílčí příkon 1. dílu dopravníku
P_2	W	- dílčí příkon 2. dílu dopravníku
P_3	W	- dílčí příkon 3. dílu dopravníku
Q_{m1} dopravníku	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	- hmotnostní dopravované množství pro 1. díl
Q_{m2} dopravníku	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	- hmotnostní dopravované množství pro 2. díl
Q_{m3} dopravníku	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	- hmotnostní dopravované množství pro 3. díl
Q_{\max}	m^3s^{-1}	- maximální průtok odpadní vody
Q_p	m^3s^{-1}	- teoretický průtok odpadní vody jednou průlinou
s	m	- stoupání šnekovnice
S	m^2	- průtočná plocha
S_k	m^2	- plocha česlicového koše
S_m	m^2	- plocha kolmá ke směru toku média
S_o	m^2	- plocha otvoru
S_p	m^2	- plocha průliny
$S_{p,m}$	m^2	- plocha průliny s mezerami
v	ms^{-1}	- rychlost proudění odpadní vody
v_p	ms^{-1}	- rychlost odpadní vody v průlině
v_v	ms^{-1}	- rychlost vody před česlicemi
Z	h^{-1}	- předpokládaný počet spínání stroje za hodinu $Z = 30$
h^{-1}		
α	°	- sklon česlí od vodorovné osy
β		- tvarový součinitel česlic
μ		- součinitel odporu
ρ	kgm^{-3}	- hustota odpadní vody
ρ_s	kgm^{-3}	- sypná hustota materiálu
ρ_{sm}	kgm^{-3}	- hustota mokrých shrabků
ψ		- součinitel plnění dopravníku
Δh	m	- ztrátová výška hladiny

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1.1 Náhon vodního díla	14
Obr. 1.2 Schéma hrubých a jemných česlí	15
Obr. 1.3 Strojně stírané česle vozíkové	17
Obr. 1.5 Strojně stírané česle hrablové	18
Obr. 1.4 Strojně stírané česle řetězové	18
Obr. 1.6 Česle s česlicovou mříží	19
Obr. 1.8 Rotační síto	20
Obr. 1.7 Rotační česle	20
Obr. 1.9 Rotační šnek se sítem	21
Obr. 1.10 Rotační česle RoK4	21
Obr. 1.11 Česle STEP SCREEN	22
Obr. 5.1 Česle rozdílných průměrů	27
Obr. 5.2 Česle konstantního průměru	27
Obr. 5.4 Šnekovnice s osou	28
Obr. 5.3 Bezosá šnekovnice	28
Obr. 5.5 ROTAMAT Ro4	29
Obr. 5.6 Koncept vertikálních česlí	31
Obr. 6.1 Vertikální česle	32
Obr. 6.2 Česlicový koš se sítem	33
Obr. 6.3 Návrh experimentu	34
Obr. 6.4 Rozměry otvorů děrovaného plechu	35
Obr. 6.5 Rám česlicového koše	38
Obr. 6.6 Vertikální dopravník česlí	39
Obr. 6.7 Spirála šnekovnice	40
Obr. 6.8 Příruba dopravníku a vyhazovač	41
Obr. 6.9 Spirálový kartáč dopravníku	42
Obr. 6.10 Spirálové kartáče	42
Obr. 6.11 Těsnící kartáč	42
Obr. 6.12 Těleso česlí	43
Obr. 6.13 Třetí díl tělesa česlí s lisem shrabků	44
Obr. 6.14 Lisovací zařízení shrabků	45
Obr. 6.15 Výpad pro shrabky	46
Obr. 6.16 Vyhazovač shrabků	47
Obr. 6.17 AQUAFLAT 10	47
Obr. 6.18 Elektromotor SK 4282 VF VL2 – 90/L4	51
Obr. 6.18b Motor	51
Obr. 6.19 Typová příruba B5	52
Obr. 6.20 Zesílená řada ložisek VL2	53
Obr. 6.21 Součinitel odporu	54
Obr. 6.22 Závislost doby běhu zařízení na počtu sepnutí	55
Obr. 6.23 Příruba s manipulačními úchyty	56
Obr. 6.24 Spojka	57
Obr. 7.1 Objímka se vzpěrami	58
Obr. 7.2 Objímka se vzpěrami 2	59
Obr. 7.3 Mechanické kotvení – postup	60
Obr. 7.4 Chemické kotvení – postup	61

Obr. 8.1 Sestava šachty typu 501	63
Obr. 8.2 Skruž DN 1000	64
Obr. 8.3 Šachetní dno	65
Obr. 8.4 Poklop šachty	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Rozdělení česlí podle velikosti průlin	16
Tab. 5.1 Chemické složení materiálu 17 246	30
Tab. 5.2 Tabulka mechanických hodnot materiálu 17 246	30
Tab. 6.1 Hodnoty tvarového součinitele	34
Tab. 6.2 Rozdělení dopravovaných materiálů	49
Tab. 6.3 Součinitel plnění ψ	49
Tab. 6.4 Součinitel odporu	50
Tab. 6.5 Převodová skříň s motorem SK 4282 - 90/L4	52
Tab. 6.6 Druh provozu stroje	55
Tab. 9.1 Odhad cenové kalkulace vertikálních česlí	67

SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Příloha 1: Výkres sestavy A2 – DP – VR – S1

Příloha 2: Montážní výkres A2 – DP – VR – M1

Příloha 1: Výkres sestavy

