

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

SEPARACE PEVNÝCH ČÁSTIC Z HETEROGENNÍ SUSPENZE

SEPARATION OF RIGID PARTICLES FROM HETEROGENEOUS SUSPENSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ PRAX

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. FRANTIŠEK POCHYLÝ, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Prax Ondřej

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Separace pevných částic z heterogenní suspenze

v anglickém jazyce:

Separation of rigid particles from heterogeneous suspension

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Záměrem je vyvinout novou metodu separace pevných částic z heterogenní suspenze.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je literární rešerše separace pevných částic z heterogenní suspenze. Dále zhodnocení jednotlivých metod separace.

V rámci diplomové práce se předpokládá rozpracování odstředivého principu, pokud se nenalezne účinnější způsob separace.

Seznam odborné literatury:

- Budinský, B.: Analytická a diferenciální geometrie. Praha 1983
- Pochylý, F.: Rukopisné poznámky k separaci pevných částic
- Janalík, J.: Hydraulická doprava, Skriptum Ostrava, 1998

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. František Pochylý, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 24.11.2008

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce obsahuje literární rešerši zabývající se separací pevných částic z heterogenní suspenze. První část je věnována pojednání o separačních metodách. Na ni navazuje kapitola o separačních zařízeních, které se používají na čistírnách odpadních vod.

Součástí práce je podrobnější popis separátoru, který slouží k separaci písku z odpadní vody. Popisované zařízení sloužící k oddělování pevných složek ze suspenze využívá kombinace metod sedimentace a odstředování. K vizualizaci separátoru bylo v předkládané práci využito 3D modelu v prostředí Autodesk Inventor Professional 9.

KLÍČOVÁ SLOVA

Separace, separační metody, směs, suspenze, separační zařízení, mechanické předčištění čistíren odpadních vod

ABSTRACT

The bachelor thesis contains a literature search dealing with the separation of solid particles from a heterogenic suspension. The first part is aimed at separation methods. Then, a chapter follows dealing with separation devices, which are used in waste water treatment plants. A more detailed description of the separator used for the separation of sand from waste waters is part of this paper. The described device serving to separate solid particles from a suspension uses the combination of sedimentation and separation methods. To visualize the separator a 3D model in Autodesk Inventor Professional 9 device was used in the presented paper.

KEYWORDS

Separation, separation methods, mixture, suspension, separation equipment, mechanical pretreatment of waste water treatment plants

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PRAX, O. *Separace pevných částic z heterogenní suspenze*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 48 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. František Pochylý, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali při tvorbě této práce. Především bych chtěl poděkovat svojí rodině, která mi byla oporou po celou dobu mého studia. Dále děkuji prof. Ing. Františku Pochylému, CSc. za rady při řešení této práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Miloši Pokornému za zapůjčení skript a Ing. Antonínu Fialovi za cenné rady ke konstrukčnímu řešení.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Separace pevných částic z heterogenní suspenze* vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Františka Pochylého, CSc. a uvedl v seznamu všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 26. 05. 2009

vlastnoruční podpis autora

OBSAH

OBSAH	11
ÚVOD	12
1. CÍL PRÁCE A PŘÍSTUP K ŘEŠENÍ	13
2. SEPARACE PEVNÝCH ČÁSTIC Z KAPALINY	14
3. SEPARAČNÍ METODY FÁZÍ KAPALINY A TUHÉ LÁTKY	16
3.1 Chemické metody separace	16
3.1.1 Srážení	16
3.1.2 Elektrodepozice	17
3.1.3 Loužení	17
3.1.4 Krystalizace	17
3.2 Fyzikálně-mechanické metody separace	19
3.2.1 Filtrace	19
3.2.2 Centrifugace	22
3.2.3 Dekantace	24
3.2.4 Flotace	23
3.2.5 Sedimentace	25
4. SEPARAČNÍ ZAŘÍZENÍ NA ČISTÍRNÁCH ODPADNÍCH VOD	27
4.1 Filtrační zařízení	29
4.2 Usazovací a zahušťovací zařízení	32
4.3 Flotační zařízení	34
4.4 Centrifugační zařízení	34
5. NÁVRH SEPARÁTORU	35
5.1 Technický popis	35
5.2 Výpočet separátoru	36
5.3 Koncepce I	39
5.3.1 Principiální popis koncepce I	39
5.3.2 Konstrukční detaily	39
5.4 Koncepce II	41
5.4.1 Principiální popis koncepce II	41
5.4.2 Konstrukční detaily	42
6. ZÁVĚR	44
7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
8. SEZNAM OBRÁZKŮ	47
9. SEZNAM PŘÍLOH	48

ÚVOD

Člověk odedávna získává ze zdrojů přírody cenné suroviny. Ty se ale v přírodě vyskytují převážně ve formě směsí. Směs jako taková však není vhodná k dalšímu využití a proto je zapotřebí tuto směs dále zpracovat. Tomuto způsobu zpracování říkáme separace. Separace je proces, při kterém se oddělují jednotlivé látky (složky) směsi. Separací pak získáme potřebnou (čistou) látku. Zbytek směsi se odloučí ve formě odpadu, se kterým se dále zachází podle potřeby.

Je jasné, že separace z hlediska technologické náročnosti závisí na tom, jakou látku z dané směsi potřebujeme odseparovat. V historii člověku stačily pouze primitivní způsoby oddělování látek ze směsí. Jako příklad lze uvést způsob čištění obilí ve starém Egyptě tzv. převívání obilí. Princip spočíval v tom, že se obilí po vymlácení vyhazovalo do vzduchu a vítr odnášel lehčí plevy, zatímco těžší zrna padala dolů.



Obr. 1.1: Sklizeň obilí ve starém Egyptě [2]

S rozvojem naší civilizace se začaly separační metody zdokonalovat. Značný pokrok v technologii separace přišel s rozvojem fyziky a chemie. Chemie popsala základní metody separací a zavedla některé pojmy potřebné k popisu separačních metod. Separace byla popsána jako způsob oddělení jedné či více složek ze směsi.

Zásadní pro separování je rozdílnost jednotlivých složek, které chceme separovat. Tato rozdílnost je poté použita k navržení ideálního mechanismu, kterým se separace bude provádět. Pro separaci pevných částic z heterogenní suspenze se nejčastěji využívá difference měrné hmotnosti, tvaru a rozměrů těchto částic.

1. CÍL PRÁCE A PŘÍSTUP K ŘEŠENÍ

Cílem bakalářské práce je literární rešerše separace pevných částic z heterogenní suspenze. V první kapitole jsou popsány jednotlivé separační metody právě pro separaci pevné fáze z kapalné. Separační zařízení pro separaci daných skupenství jsou vysvětleny na zařízeních sloužících k čištění odpadních vod.

Součástí bakalářské práce je vypracování návrhu separátoru. Mechanismus oddělování pevných částic od kapaliny v tomto zařízení probíhá kombinací sedimentace a odstředování. Odstředování v tomto případě napomáhá rychlosti separace a zvyšuje jeho účinnost.

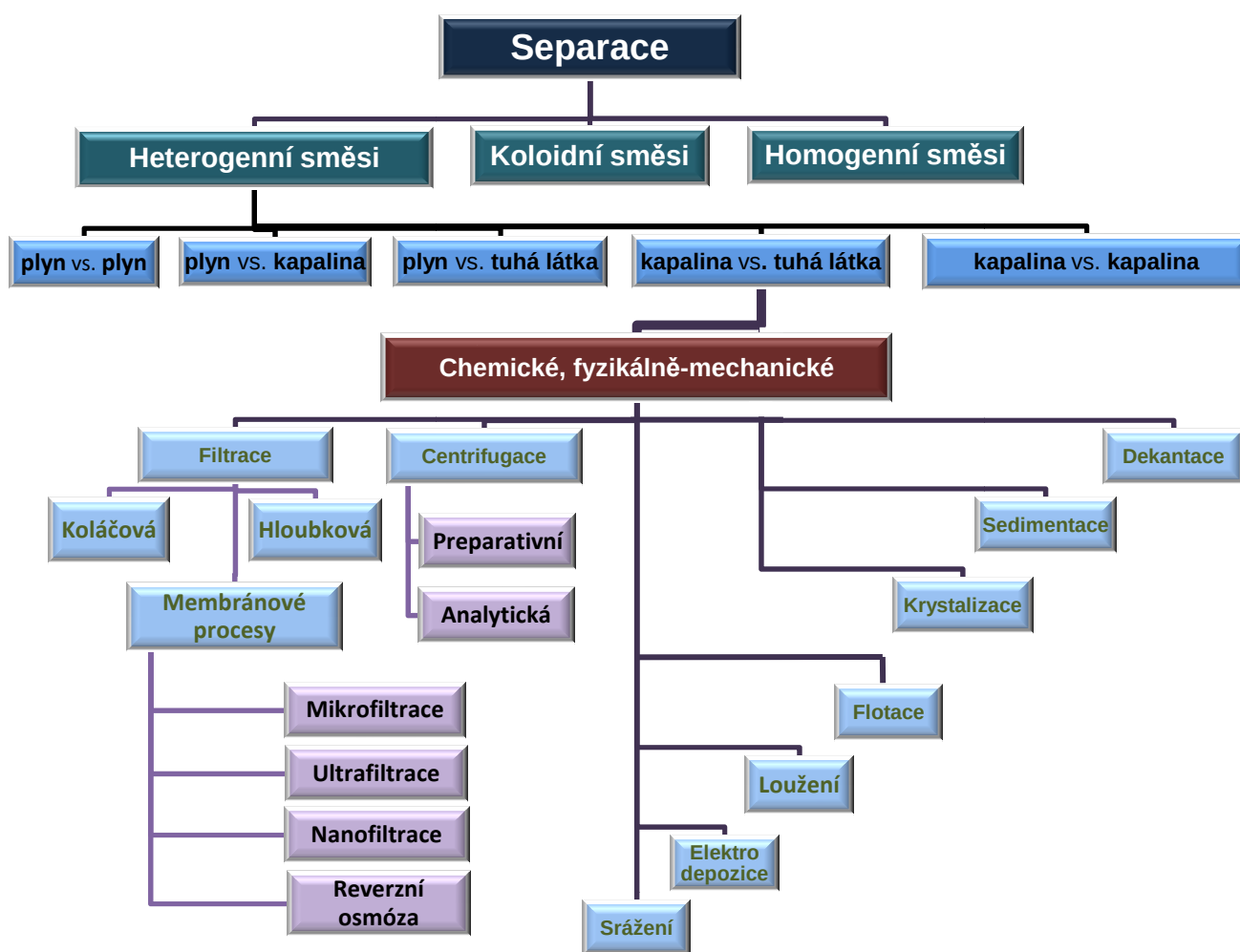
Pro samotný návrh separátoru je zásadní změna tvaru nádoby, ve které suspenze sedimentuje. Aby docházelo k odstředivému působení na částice ve směsi obsažené, je zapotřebí, aby byla nádoba rotačního tvaru.

Návrh separátoru obsahuje dvě koncepce. Zatímco tvar nádoby se u obou koncepcí nemění, jejich odlišnost je v jejich vybavení. V druhé koncepci jsou zahrnuty prvky, které by měly napomáhat odstraňování organických látek ze sedimentu (odpadu). Organické látky jsou odstraňovány proto, aby se s tímto odpadem nemuselo zacházet jako s nebezpečným, což by znamenalo větší náklady na likvidaci.

2. SEPARACE PEVNÝCH ČÁSTIC Z KAPALINY

K tomu, abychom se mohli zabývat jednotlivými metodami separace, je nutné popsat několik základních pojmů. Na obr. 2.1 je znázorněno rozdělení separačních metod. Protože předmětem práce je separace tuhé látky ze suspenze (chcete-li *Separací pevných částic z heterogenní suspenze*), je na diagramu podrobněji rozepsána pouze větev pro separaci těchto dvou skupenství.

V první úrovni diagramu se separace větví podle druhu směsi. U heterogenní směsi rozeznáváme separaci podle skupenství látek, které od sebe separujeme. Pokud provádíme separaci tuhé fáze z kapaliny, využíváme charakteristických vlastností jednotlivých látek. Mluvíme o vlastnostech fyzikálně-mechanických, chemických nebo o jejich kombinacích.



Obr. 2.1: Rozdělení separačních metod podle druhu fází

Pro tyto směsi se využívá následujících separačních metod: centrifugace, filtrace, srážení elektrodepozice, loužení, dekantace, krystalizace a sedimentace. Každá z těchto metod má svoje uplatnění v reálných podmínkách. Pro výběr správné separační metody je nutné znát mechanismy těchto procesů. Tyto procesy budou popsány v následující kapitole.

K základním pojmům k dané problematice patří:

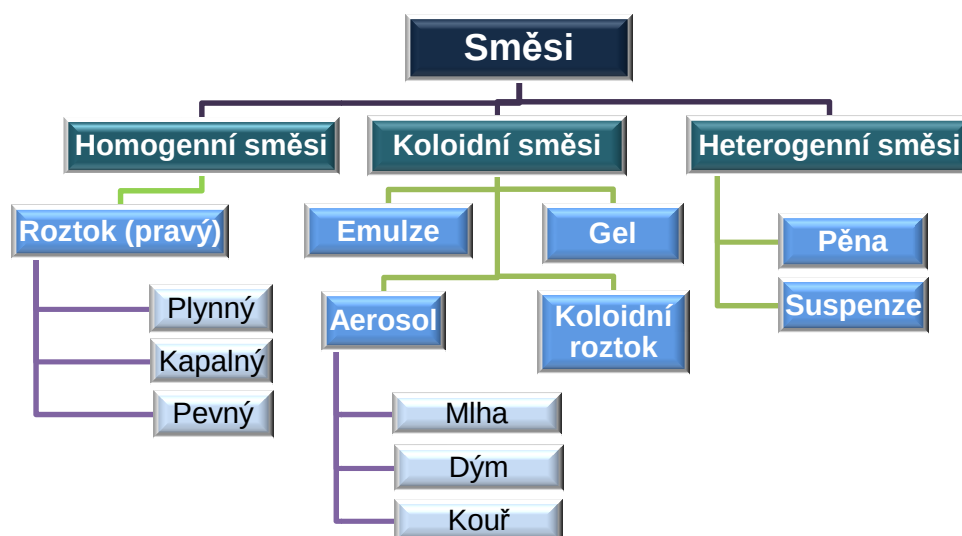
Látka je hmota skládající se z částic (atomů, molekul, iontů). Každá látka má své charakteristické vlastnosti. Základní stavební jednotkou látky je atom nebo ion.

Pokud se sloučí více atomů dohromady, jedná se o molekulu. Většina látek je tvořena právě molekulami.

Látky se dělí na směsi a chemicky čisté látky. Chemicky čisté látky jsou prvky a sloučeniny. Směsi rozeznáváme homogenní, koloidní a heterogenní.

Směs je soustava tvořena dvěma nebo více složkami. Má proměnné složení a lze ji rozdělit fyzikálně-mechanickými či chemickými pochody.

Homogenní směs (stejnorodá) obsahuje pouze částice menší než 10^{-9}m . Jsou to například pravé roztoky. Roztoky se dělí podle skupenství, ve kterém se vyskytují. U plynného roztoku se jedná o molekuly jednoho plynu rozptýlené mezi molekulami jiného plynu. Například vzduch se skládá ze 78% dusíku, 21% kyslíku a 1% vzácných plynů. Kapalným roztokem jsou molekuly nebo ionty nízkomolekulárních látek rozptýlené v kapalině. Například roztok chloridu sodného (NaCl) ve vodě (H_2O).



Obr. 2.2: Rozdělení směsí

Koloidní směs obsahuje rozptýlené částice o velikosti od 10^{-7} do 10^{-9}m . Jedná se o emulze (olej ve vodě), gely (bubliny plynu rozptýlené v pevné látce), koloidní roztoky (molekuly organických látek nebo shluky anorganických molekul rozptýlené v kapalině) nebo aerosoly. Příklad aerosolu je mlha (kapičky kapaliny rozptýlené v plynu), dým (částičky rozptýlené v plynu) nebo kouř (kapičky kapaliny a pevné látky rozptýlené v plynu).

Heterogenní směs (různorodá) obsahuje rozptýlené částice větší než 10^{-7}m . Například pěna (bubliny plynu rozptýlené v kapalině) nebo suspenze (částičky pevné látky rozptýlené v kapalině).

Suspenze je jeden z druhů heterogenní směsi. Skládá se z pevné látky a kapaliny. Důležitým znakem suspenze je, že dochází k samovolnému, ale pomalému oddělení směsí (např. sedimentací).

3. SEPARAČNÍ METODY FÁZÍ KAPALINY A TUHÉ LÁTKY

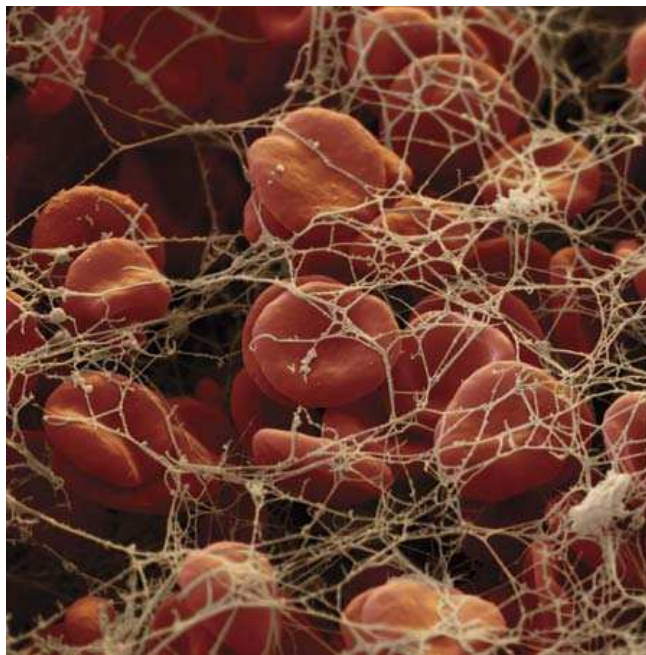
V kapitole jsou popsány jednotlivé separační metody. Zařazení jednotlivých separačních metod do skupin určuje mechanismus, v rámci kterého daná separace probíhá. Rozeznáváme dva druhy mechanismů a to **chemické** a **fyzikálně-mechanické**. U chemických metod separace se využívá pochodů, jako jsou například chemické reakce, dělení na iontové úrovni, atd. U fyzikálně-mechanických metod separace se jako separační faktor využívá difference hmotností, rozměrů a tvarů.

3.1 Chemické metody separace

Tato kapitola pojednává o separačních procesech, ve kterých je pro separaci směsí, stránka chemických vlastností dominantní.

3.1.1 Srážení

Srážení je pochod, při němž se z roztoku vylučuje pevná látka za použití různých činidel. Jedná se například o bentonit, polyesterová pryskyřice, laky vytvrditelné kyselinami, atd. Při tomto procesu se soustřeďují koloidní částice, které následně vytvářejí sraženinu. Tato metoda se nejčastěji využívá v potravinářském průmyslu (srážením mléka vzniká tvaroh) a tento proces je znám ze zdravotnictví (srážení krve). Metoda se uplatňuje také při úpravě surové vody ve vodárenství i při čištění odpadních vod. Částice, ze kterých se vytvoří při srážení kompaktní celek, se označují jako koaguláty. Z tohoto důvodu můžeme v literatuře místo označení srážení nalézt pojem koagulace.



Obr. 3.1: Proces srážení krve [4]

Zjednodušeně se dá popsat jako mechanismus, při kterém dojde ke zpuštění koagulačních faktorů. Tyto koagulační faktory mají za následek srážení krve. V případě poranění dojde k vytvoření tzv. zátky, která ránu zacelí.

3.1.2 Elektrodepozice

Metoda, která se nejčastěji používá pro oddělování kationtů. Separační proces probíhá pouze tehdy, jsou-li oddělované ionty vylučované při dostatečně rozdílném napětí, které se vkládá na elektrody.

3.1.3 Loužení

Loužení je separační metoda, při které se rozpouští složky (minerály) v kapalině, ve které jsou rozpustné. Tedy například ve vodě, vodných roztocích minerálních kyselin nebo vodných roztocích hydroxidů. Cílem loužení je chemickou reakcí převést složky minerálů do koncentrovaného roztoku. Z tohoto roztoku jsou látky získávány srážením nebo krystalizací. Pro operaci loužení je za potřebí surovinu jemně rozemlít (požadovaná velikost zrna bývá menší než 0,1mm). Což je z hlediska výroby (energeticky a technologicky) značně nákladné. Celkově se tato metoda využívá jen v těch případech, kdy je jiný způsob získání koncentráту neschůdný a kdy vysoká cena koncentráту pokryje náklady s touto metodou spojené.

Touto metodou se získávají drahé kovy z rud nebo extrahují kontaminanty z půd. Jako příklad lze uvést těžbu zlata. Při ní se používá kyanidové loužení, které je značně (ekologicky) nebezpečné. V dnešní době se vynakládá mnoho úsilí na zrušení této metody separace zlata.

3.1.4 Krystalizace

Je proces, při němž pomocí jednoduchých operací vzniká čistá krystalická látka. Znečištěná krystalická látka se rozpustí v optimálním množství zvoleného rozpouštědla. Mechanické nečistoty se odfiltrují a rozpuštěná látka se přivede ke krystalizaci.

Krystalizace ochlazením horkého nasyceného roztoku

Horký nasycený roztok se zbaví nerozpuštěných příměsí filtrací za horka. Filtrace za horka se provádí, tak aby se filtrovaný roztok neochladil a nezačal krystalovat ještě ve filtrační aparatuře.

Ochlazováním nasyceného roztoku dochází ke krystalizaci. Nejprve se vytváří krystalizační jádro a na něm pak roste krystal. Rychlost krystalizace závisí na počtu vytvořených krystalizačních jader a na rychlosti růstu krystalů.

Volná krystalizace

Jedná se o krystalizaci v klidu. Za pozvolného chladnutí se vytváří malý počet jader a vznikají relativně větší krystaly.

Rušená krystalizace

Při prudkém ochlazení za míchání vzniká hodně krystalizačních jader a vyrostou velké množství relativně malých krystalů.

Krystalizace odpařením části rozpouštědla.

Tato metoda je oproti metodě krystalizace ochlazením horkého nasyceného roztoku zdoluhavější. Volí se tehdy, nepodaří-li se najít pro krystalizaci rozpouštědlo, v němž je rozpustnost látky za horka a za chladu dostatečně rozdílná. Roztok se přivede ke krystalizaci odpařením části rozpouštědla. Rozpouštědlo se odpařuje buď volným odpařením na vzduchu v digestoři nebo v exsikátoru, nebo odpařením na vodní lázni.

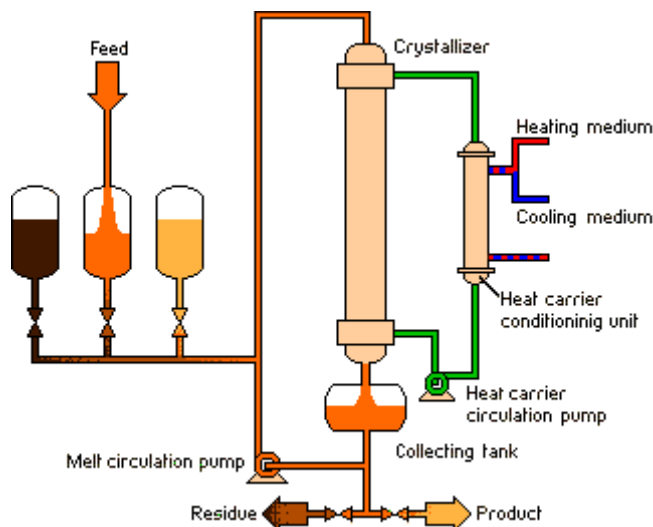
Krystalizace přidáním třetí látky.

Vyloučení krystalů se dosáhne zmenšením rozpustnosti přidáním třetí látky. Bývá to kapalina dokonale mísitelná s rozpouštědlem, ve které se však krystalovaná látka nerozpouští a vylučuje se z roztoku.

V praxi se tato separační metoda používá všude tam, kde nelze látky účinně separovat destilací, rektifikací, a nebo tam, kde jsou vysoké požadavky na čistotu.

Frakční krystalizace

Tento druh krystalizace slouží k oddělení dvou (i více) krystalizujících látek ze směsi. Je založen na různé rozpustnosti těchto látek v jednom rozpouštědle nebo ve směsi rozpouštědel při různých teplotách rozpouštědla.



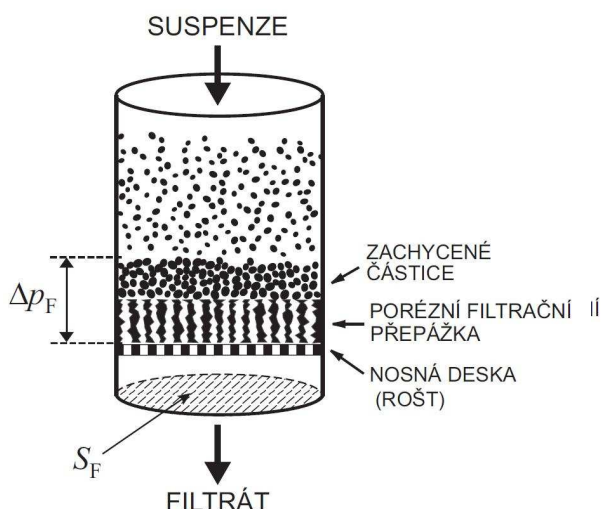
Obr. 3.2: Frakční krystalizace [8]

3.2 Fyzikálně-mechanické metody separace

I pro tyto metody separace nelze uvažovat separační proces, jako výhradně fyzikálně-mechanický. Vždy se při separaci budou vyskytovat jak vazby chemické, tak fyzikální. Mechanické vlastnosti separovaných částic jsou však hlavním kritériem separace, a proto tedy separování fyzikálně-mechanické. Separování se dělí v závislosti na velikosti a hustotě separovaných částic.

3.2.1 Filtrace

Filtrace je jednou ze základních metod separace pevné fáze z kapalné. Tato separační metoda oddělování pevné fáze od tekutiny se děje pomocí propustného materiálu (porézní filtrační přepážky). Suspenze je vedena skrze porézní filtrační přepážku. Ta může být podepřena nosným roštem, který chrání filtrační přepážku před mechanickým poškozením. Pojem filtrace se používá při separování suspenze, která obsahuje částice o velikosti do $1 \times 10^{-5} \text{ m}$. Obsahuje-li filtrovaná suspenze částice menší než $1 \times 10^{-5} \text{ m}$, označuje se takový filtrační proces jako membránový. Při nich se používají speciální mikroporézní filtrační materiály - membrány. Tato metoda se běžně používá ve všech průmyslových odvětvích a také při laboratorních operacích. Z průmyslu lze jako příklad uvést filtraci cukerných krystalů nebo separaci buněk mikroorganismů od kultivačního média.



Obr. 3.3: Základní uspořádání filtračního zařízení [3]

Filtrační proces

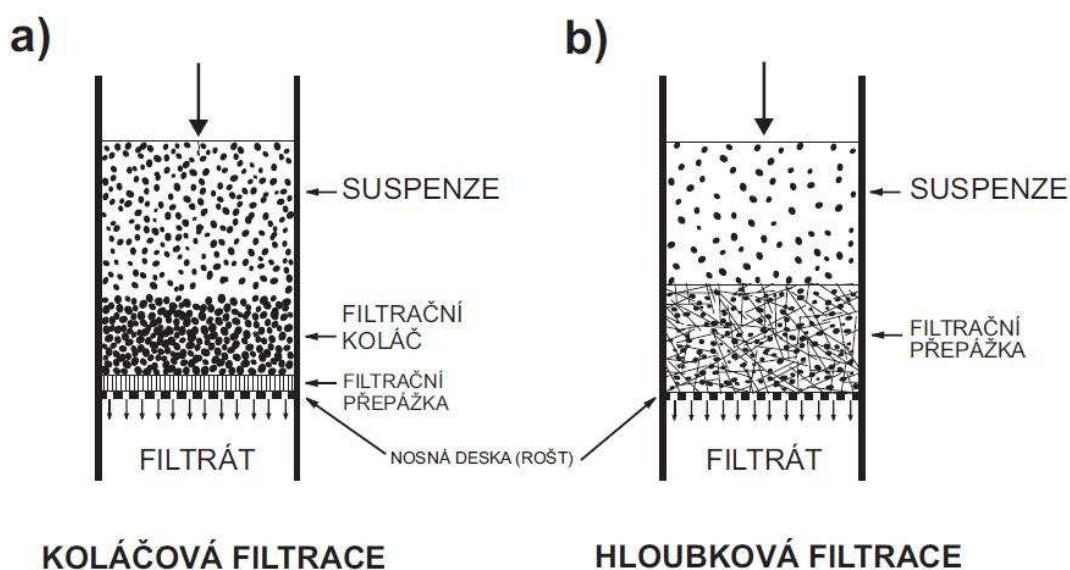
Typický proces filtrace lze popsat v několika krocích. Základní uspořádání filtračního zařízení je znázorněno na obr. 3.3. Porézní filtrační přepážka pro zachycení částic má obvykle plochý tvar.

Na tuto přepážku se využívá materiálu, jako jsou např. různé textilie, filtrační papíry, síta různých materiálů, desky z porézní keramiky nebo makroporézní polymerní membrány. Filtrační přepážka se umísťuje tak, aby byla v rovině kolmé na směr toku suspenze a filtrátu. Velikost filtrační přepážky určuje velikost filtrační plochy daného filtru. Tekutina v suspenzi prochází vrstvou částic zachycených na filtrační přepážce,

poté filtrační přepážkou. Tekutina, která je poté již zbavená částic, odchází z filtračního zařízení jako filtrát. Z filtračního procesu nám tedy vzniknou dva produkty – filtrát a zachycené částice.

Koláčová filtrace

V případě, že jsou filtrované částice obsažené v suspenzi větší než je velikost pórů filtrační přepážky, zachytí se částice na povrchu této přepážky. Na tomto povrchu začnou vytvářet vrstvu, která se nazývá filtrační koláč (viz. obr. 3.4a). Velikost filtračního koláče s postupem času narůstá. Tímto nárůstem se dá říci, že vzniká další filtrační vrstva. Filtrační přepážka slouží tedy k filtraci pouze ze začátku. Poté se již částice usazují na již vzniklé vrstvě filtračního koláče.



Obr. 3.4: a) Koláčová filtrace b) Hlubková filtrace [3]

Filtrační koláč však může mít na filtrační proces také negativní vliv. Je to zejména v případě, kdy takto vzniklý koláč zpomalí průtok suspenze. Pokud je zpomalení nežádoucí, musí být odstraněno. K odstranění tohoto zpomalení se používá pomocných filtračních látek. Jedná se o inertní zrnité materiály s tvrdými nedeformovatelnými částicemi (např. aktivní uhlí). Další metodou používanou na zrychlení průtoku jsou různá činidla, která způsobí shlukování částic do větších celků.

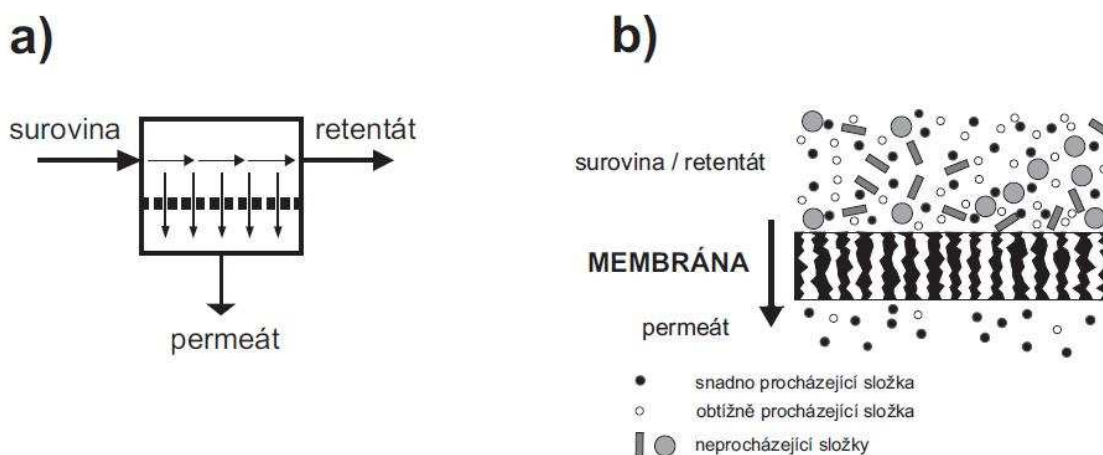
Hlubková filtrace

Dalším způsobem filtrování částic je tzv. Hlubková filtrace. Tato metoda využívá jako propustný materiál vysoce porézní filtrační přepážky. V tomto případě jsou velikosti pórů větší než částice obsažené v suspenzi. Suspenze tedy prochází filtrační přepážkou. K jejich zachycení dochází v důsledku interakcí různé fyzikálně-chemické podstaty mezi částicemi a materiálem přepážky. V tomto případě tedy nedochází k tvorbě filtračního koláče.

Hlubková filtrace se používá zejména v případech, kdy suspenze neobsahuje velké množství pevných částic (pod 1 obj.%).

Membránové separační procesy

Obsahuje-li suspenze částice menší než $1 \times 10^{-5} \text{ m}$, označuje se takový filtrační proces jako membránový. Filtrace se uskutečňuje pomocí selektivně propustných pevných přepážek. Tyto přepážky nazýváme separační membrány. Suspenze se přivádí k vstupnímu povrchu membránového dělicího aparátu (obr. 3.3a). Tam působením hybné síly procházejí (permeují) některé či všechny složky dělené směsi filtrační membránou a vytvářejí tzv. permeát. Část směsi zadržaná nad povrchem membrány se ze separačního zařízení odvádí dál (tzv. retentát). Vzniknou tedy dva produkty – permeát a retentát.



Obr. 3.5: a) Schéma procesu membránové separace. b) Dělení směsi při průchodu porézní membránou. [3]

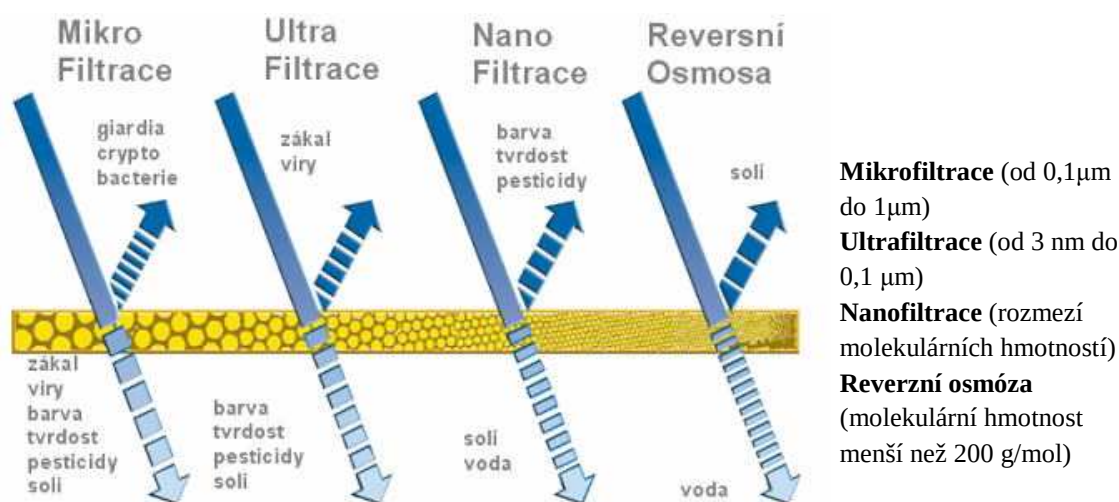
Podle fyzikálně-mechanických a chemických vlastností složek dané směsi a podle typu použité membrány mohou při membránovém dělení směsi nastat tyto případy:

- Membránou prostupují všechny složky dělené směsi, ale jejich rychlosti průchodu (permeace) jsou rozdílné.
- Membránou prochází pouze některé složky směsi. Zbylé složky jsou zachyceny na povrchu membrány.

Mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a hyperfiltrace

Mikrofiltrací se oddělují částice velikosti od $0,1 \mu\text{m}$ do $1 \mu\text{m}$. Hnací silou přitom bývá rozdíl tlaku. Takto propustnou membránou jsme schopni zachytit např. pigmenty, bakterie, cysty nebo prvoky. Ultrafiltrace se nejčastěji využívá v úpravnách vody. V této oblasti se tato metoda označuje jako čířící nebo membránová operace. Ultrafiltrace se provádí přes membrány, které jsou porézní a zachycují makromolekuly a mikroorganismy. Rozdíl mezi filtrací a ultrafiltrací je v rozdílnosti membránového filtru, resp. ve velikosti pórů membrány.

Nanofiltrace se používá pro separaci pevných částic o velikosti přibližně 1 až 10 nm. Tato metoda membránové filtrace se již přibližuje reversní osmóze (hyperfiltraci), pořád jsou ale velikosti pórů větší než v případě hyperfiltrace. Lze při ní používat výrazně nižší tlakové rozdíly (cca 0,3 až 2 MPa) než u hyperfiltrace. Hybnou silou metod membránových filtrací je tlakový rozdíl mezi retentátovou a permeátovou stranou.



Obr. 3.6: Porovnání membránových technologií [6]

Filtrát (permeát) je při těchto filtracích kapalina obsahující suspendované nebo rozpuštěné částice malé velikosti, které prošly póry membrány. Rozeznáváme dva způsoby membránové filtrace (obr. 3.5). Rozdílnost těchto filtrací je ve způsobu toku retentátového proudu. Tento tok může být buďto podélný (tangenciální) nebo s uzavřeným výstupem retentátu (anglicky tzv. dead-end filtration). V případě membránové filtrace s podélným tokem proudu nedochází k vytváření vrstvy částic na retentátovém povrchu membrány. Hydraulický odpor vrstvy částic je v tomto případě nízký a intenzita toku vysoká. Obvykle se zde významně projevuje koncentrační polarizace membrány a při ultrafiltracích dochází také k tvorbě gelové vrstvy na povrchu membrány.

3.2.2 Centrifugace

Pro separaci pevných látek z kapaliny lze také využít odstředivé síly. Díky rozdílným hustotám částic v suspenzi pak odstředivá síla F_o způsobí, že se jednotlivé složky směsi vzájemně oddělí. Tento proces separace nazýváme centrifugace (neboli odstřed'ování). Centrifugace se využívá v případech, kdy částice v suspenzi sedimentují (viz. kap. 3.3.3) příliš dlouho nebo u nich sedimentace vůbec neprobíhá.

V jiných případech se odstřed'ováním sedimentaci napomáhá. Ke vzniku odstředivé síly potřebné k separaci se využívá zařízení, jako jsou centrifugy, kontinuální odstředivky, atd. O některých zařízeních bude řečeno více v následující kapitole.

Odstředivá síla

$$F_o = m \cdot r \cdot \omega^2 ,$$

kde:

F_o [N] je odstředivá síla;
 m [kg] - hmotnost částice;
 ω [rad.s⁻¹] - úhlová rychlost;

$$\omega = 2\pi \cdot n$$

$n [\text{min}^{-1}]$ - otáčky;

$\pi [-]$ - Ludolfovo číslo.

Vyjádření poměru mezi centrifugačním zrychlením a zrychlením tíhovým udává:

Relativní centrifugační síla

$$R = r\omega^2 / g$$

kde:

$r \omega^2 [\text{m.s}^{-2}]$ je centrifugační zrychlení;

$g [\text{m.s}^{-1}]$ - centrifugační zrychlení.

Na rychlosti sedimentace vedle centrifugační síly rozhoduje difference mezi hustotou centrifugované částice a rozpouštědla (přímo úměrně) a faktoru tření (nepřímo úměrně).

Oproti filtraci, kde se zařízení a procesy dělily podle druhu filtračních membrán, dělíme centrifugaci podle rychlosti otáček. A to na:

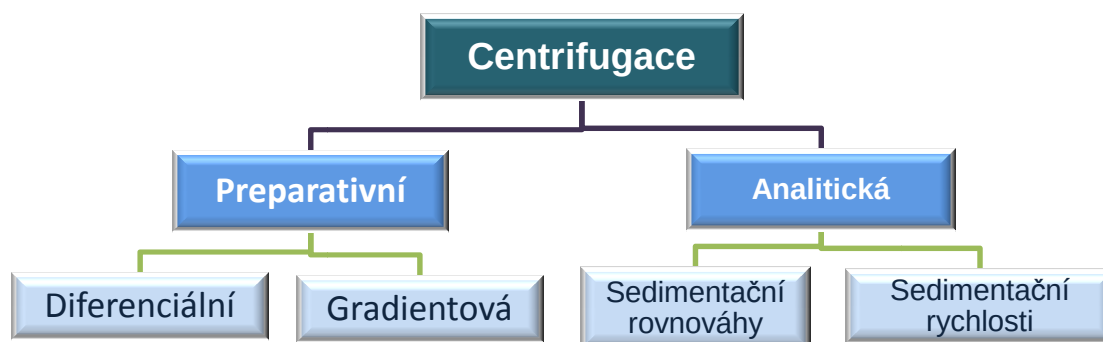
- Pomalootáčkové (5000 ot/min)
- Rychlootáčkové (25000 ot/min)
- Ultracentrifugace (80000 ot/min)

Dalším kritériem dělení je dle typu rotoru. Zde rozeznáváme dva typy a to:

- Rotory úhlové
- Rotory výkyvné

Způsoby centrifugace

Rozeznáváme dva způsoby centrifugace a to preparativní a analytické. Preparativní centrifugace se dále dělí na diferenciální a gradientovou a analytická centrifugace na centrifugaci sedimentační rovnováhy a centrifugaci sedimentační rychlosti.



Obr. 3.7: Způsoby centrifugace

Diferenciální centrifugace

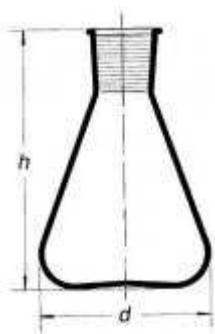
Pro dělení částic se využívá rozdílů rychlostí sedimentace částic obsažených v suspenzi. Proces odstředování probíhá v homogenním mediu s podstatně nižší hustotou, než mají sedimentující částice. V průběhu sedimentují různé částice jinak rychle a to úměrně své velikosti.

Gradientová centrifugace

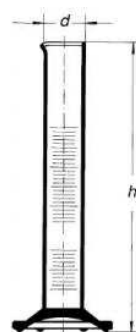
V tomto případě se dosahuje rozdělení směsí na základě rovnovážné centrifugace. Za použití prostředí o měnící se hustotě (hustotní gradient), kdy rozsah hustot leží v rozmezí očekávaných hustot dělených částic. Částice pak sedimentuje jen do úrovně, ve které se její hustota shoduje s hustotou média (tzv. izopyknický bod).

3.2.3 Dekantace

Je separační metoda oddělování tuhé fáze od kapalné, kdy se tuhá látka nechá usadit na dně nádoby a čirá kapalina se odlije nebo odsaje. V laboratorních podmínkách se k tomuto druhu separace používají Erlenmeyerovy baňky nebo odměrné válce.



Erlenmeyerova baňka



Odměrný válec

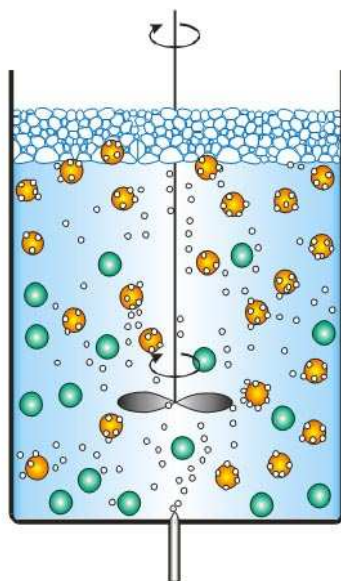
Obr. 3.8: Nádoby využívané v laboratorních podmínkách při dekantaci [25]

V praxi se tato metoda využívá například při odborné manipulaci s vínem. Při přelévání vína do karafy se oddělí čiré víno od usazeniny, která zůstane v lahvi.

Dále se můžeme setkat s odstředivou dekantací. Odstředivá síla napomáhá k urychlování sedimentačního procesu, při němž se směs o různých hustotách usazuje. Kapalina je při odstředování stírána z hladiny nebo přetéká přes okraj nádoby.

3.2.4 Flotace

Jedná se o separační proces, který je založen na rozdílné smáčivosti složek směsi ve vodě. Za přítomnosti vzduchových bublin se ve flotátoru (flotační žlab) vytvářejí hydrofilní (snadno smáčitelné) a hydrofobní (špatně smáčivé) částice. Flotace se provádí v jednom či více stupních zařazených za sebou. Doba zdržení ve flotátoru závisí na druhu materiálu. Je od cca 5 minut (uhlí) až do jedné hodiny (některé rudy).



Oranžovou barvou na obrázku jsou znázorněny hydrofobní částice a zelenou hydrofilní částice.

Obr. 3.9: Proces flotace [5]

Flotační proces

Z jedné strany se do flotátoru přivádí rozemletá směs nebo její suspenze. Ke zvýšení rozdílu smáčivosti se ve většině případů využívá flotační činidlo.

Hydrofobní částice jsou za pomoci vzduchových bublinek vynášeny ve formě pěny na hladinu flotátoru. Odtud je pěna shrnována a odváděna k vysušení a dalšímu zpracování. Hydrofilní zůstávají suspendovány v objemu flotačního žlabu. Důležitá je při flotaci i velikost zrn minerálů, která bývá zpravidla mezi 0,1 až 0,4mm.

3.2.5 Sedimentace (usazování)

Sedimentace je jednou z nejdůležitějších metod separace pevných částic ze suspenze. Působením gravitační síly dochází k usazování částic. Podle toho, jak se liší hustoty částic od hustoty tekutiny, se dá usoudit, po jaké trajektorii se budou usazované částice pohybovat. Tento rozdíl hustot také ovlivňuje rychlost pohybu částic. „Rychlost usazování izolované částice se liší od rychlosti stejné částice, usazující se v přítomnosti dalších částic, neboť dochází k jejich vzájemnému ovlivňování.

Tento případ označujeme jako rušené usazování. Při výpočtech usazováků, ve kterých se zpracovávají suspenze s nízkou koncentrací suspendovaných částic, vzájemné ovlivňování částic zanedbáváme, usazování považujeme za nerušené a používáme vztahy pro usazování izolované částice.“ [1]

Síly působící na částici

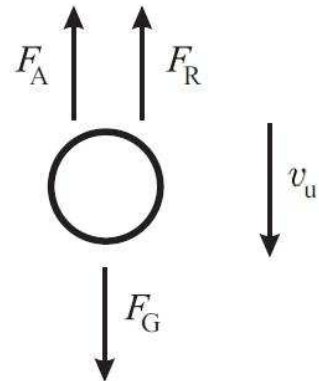
Na každou sedimentující částici, která se nachází v gravitačním poli, působí tři síly. Jedná se o sílu tíhovou F_G , sílu vztahovou F_A a sílu odporu prostředí F_R . Platí pro ně následující vztahy:

$$F_G = m_p g = V_p \rho_p g$$

$$F_A = V_p \rho g$$

kde:

m_p [kg]	je hmotnost částice;
V_p [m ³]	- objem;
ρ [kg.m ⁻³]	- hustota tekutiny;
ρ_p [kg.m ⁻³]	- hustota částice;
g [m.s ⁻²]	- gravitační zrychlení.



Obr. 3.10: Síly působící na částici při usazování v gravitačním poli[3]

Pro výpočet síly F_R použijeme vzorec:

$$F_R = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot u$$

kde:

π [-]	je Ludolfovo číslo;
η [-]	- koeficient dynamické viskozity;
d [mm]	- průměr částice;
u [m.s ⁻¹]	- usazovací rychlost.

Prostá sedimentace, při níž si částice zachovávají individuální charakter a pro každou platí výše uvedené vztahy pro pád izolované částice

Rušená sedimentace, u níž dochází při nárůstu objemové koncentrace suspendovaných částic nad cca. 0,5 % k vzájemnému ovlivňování. Přitom si částice zachovávají svůj individuální charakter, svůj tvar i velikost.

Zahušťování suspenze, ke které dochází při dalším nárůstu koncentrace suspendovaných částic. Je charakterizována vznikem dvou od sebe oddělených prostředí. Jedním je kapalina prakticky bez suspendovaných částic, druhým je suspenze, v níž však ztrácí částice individuální charakter a tvoří pórovitou vrstvu, která svým pohybem ve směru gravitace vytlačuje kapalnou fázi a zahušťuje se.

4. SEPARAČNÍ ZAŘÍZENÍ NA ČISTÍRNÁCH ODPADNÍCH VOD

V reálném životě se málo kdy setkáme se směsí (viz.kap.2) z čistě koloidních, homogenních nebo heterogenních částic. Ve většině případů jsou ve směsi zastoupeny všechny velikosti částic (koloidní, homogenní a heterogenní). Takovýmto případem směsi, která obsahuje kombinaci různých velikostí a tvarů částic a je u ní nutné použít většinu separačních metod je odpadní voda. Proto jsou separační zařízení popsána právě na zařízeních sloužících k čištění odpadních vod.

Znečištění těchto vod bývá tvořeno rozpuštěnými a nerozpuštěnými látkami, jedná se tedy o odpadní vodu, která musí být před vypuštěním do povrchových vod čištěna. Pro čištění odpadních vod slouží čistírny odpadních vod (ČOV).



Obr. 4.1: Čistírna odpadních vod [9]

ČOV je soubor strojních a stavebních zařízení, ve kterých probíhají stejné čistící procesy jako v přírodě, ale jsou soustředěny na mnohem menší ploše. Podmínky průběhu čištění jsou uměle podporovány. Proces čištění odpadních vod zde probíhá mnohem rychleji a intenzivněji než v přírodě. Každá čistírna se projektuje podle potřeby dané lokality. Čistírna bývá rozdělena do několika stupňů čištění. Jejich rozdělení je podle metod separace odpadních vod a to:

- Fyzikálně - mechanické
- Biologické
- Chemické

Další dělení čistíren je podle tzv. ekvivalentního obyvatele (EO). Tento faktor ovlivňuje především rozlohu, kterou ČOV v krajině zaujímá.

Podle počtu ekvivalentních obyvatel rozeznáváme NV č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Rozdělení čistíren podle ekvivalentního obyvatele:

- Domovní – do 50 EO
- 500 – 2000 EO připojených na ČOV
- 2001 – 10000 EO připojených na ČOV
- 10001 – 100000 EO připojených na ČOV
- Velké čistírny – celkový počet připojených EO je nad 100000

Každé zařízení na ČOV má svoje místo. Mechanické čištění bývá uspořádáno podle velikosti a vlastností částic, které se snažíme odseparovat v dané úrovni čištění. K přehlednějšímu rozřídění zařízení používaných při mechanickém čištění slouží tabulka 4.1, podle které se dále budeme zabývat jednotlivými zařízeními.

Separační metoda	Zařízení používané na ČOV
Filtrace (cezení) • využívá se difference rozměrů; Nerozpuštěné látky větší než otvory (průliny) jsou na zařízeních zachycovány.	Česle Síta Jemná síta Bubnové filtry Sítopásové lisy Kalolisy
Usazování a zahušťování • působením gravitační síly a na základě rozdílnosti hustot dochází k separaci složek	Lapáky šterku a písku Usazovací nádrže Dosazovací nádrže Zahušťovací nádrže
Flotace (vzplývání) • využívá vztakovou sílu a rozdíl hustot jednotlivých složek; Využívá se umělé snižování hustot příměsí a tím dochází k oddělování složek.	Lapáky tuku Odlučovače olejů a ropných látek Usazovací nádrže Flotační vany s tlakovým vzduchem Elektroflotační vany
Odstředování (centrifugace) • působením odstředivé síly a na základě rozdílu hustot oddělovaných složek dochází k separaci;	Kontinuální odstředivky

Tabulka 4.1: Zařízení mechanického předčištění

4.1 Filtrační zařízení

Tyto typy zařízení zachycují nerozpuštěné částice, které jsou větší než otvory, kterými suspenze protéká.

Česle

Zařízení zachycující plovoucí nečistoty větší než je průlina (díra) v separující části mechanismu. Předměty, zachycené tímto zařízením jsou dopravovány mimo separovanou suspenzi nejčastěji do popelnice, dopravníku nebo lisu. Odseparované částice se nazývají shrabky. Česle se dělí podle druhu konstrukce. Každý druh konstrukce má svoji rozměrovou řadu, která se dá upravovat dle situace (průlina, rozměr a typ přepravního potrubí nebo kanálu, hloubka a další parametry).

Česlice jsou umístěny tak, aby protékající vodě kladly co nejmenší odpor. Přitom výška hladiny kolísá v rozmezí od 40% do 100%. Rychlost vody před česlemi nesmí klesnout pod $0,3 \text{ m.s}^{-1}$, v průlinách však nesmí rychlost stoupnout nad $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ aby nedocházelo k protlačení zachycených nečistot proudem vody.

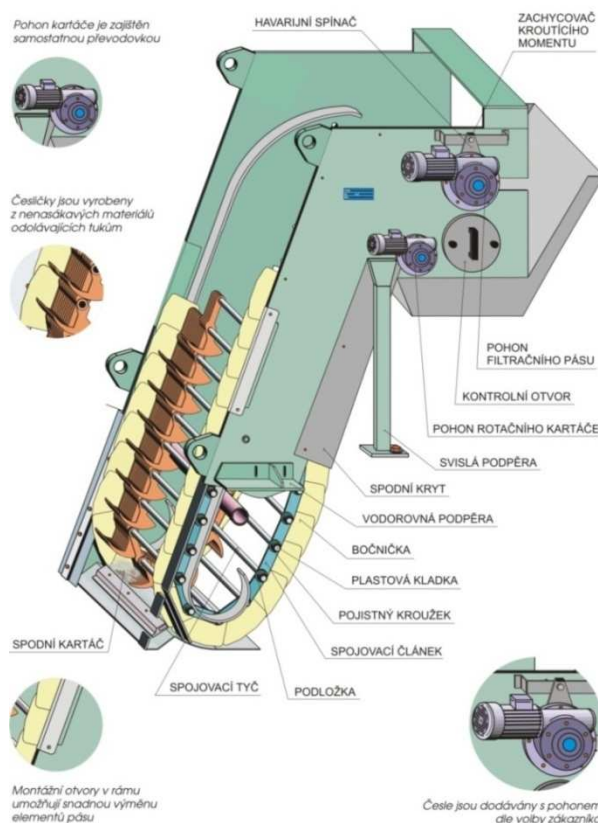
Ztráta tlakové výšky při průtoku česlemi:

$$\Delta h = \beta \times \left(\frac{d}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{v^2}{2g} \times \sin \alpha$$

kde:

b [mm]	- je velikost průliny;
d [mm]	- šířka česlice;
g [m.s^{-2}]	- gravitační zrychlení;
Δh [mm]	- ztráta hladiny;
v [m.s^{-1}]	- rychlost vody před česlemi;
α [°]	- sklon česlí;
β [-]	součinitel tření;

Samočisticí česle SCC-VM



Obr. 4.2: Samočisticí česle [11]

V praxi se používá mnoho druhů česlí. Každý z těchto typů česlí se konstruuje v závislosti na rozměrech kanálu, průtoku, velikosti zachycovaných částic a způsobu manipulace se shrabky (zachycené plovoucí látky).



Obr. 4.3: Rotační česle [12]

Síta

Síto se často používá (pokud to situace umožňuje) jako náhrada cenově dražších česlí. Stejně jako u česlí existuje u sít rozměrová řada. Síta se vyrábí převážně ze síťového pletiva, které bývá z nerezových materiálů nebo plastů.

Separaci provádí síto, které je kontinuálně stíráno kartáči. Tyto kartáče shrnují zachycené částice mimo síto a skluzem se dopravují dál (kontejner, dopravník,...). Přefiltrovaná (cezená) voda pokračuje k dalšímu stupni čištění.

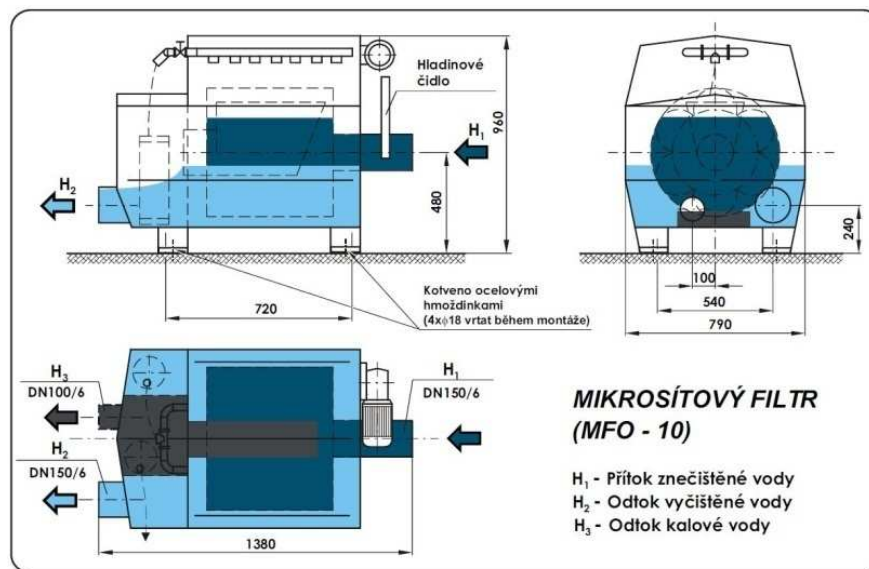
Jemná síta

Separace zde probíhá membránovou filtrací (viz. kapitola 3.2.1). Membrána může být instalována například na upravený typ česlí. Rám česlí v tomto případě tvoří podpůrnou konstrukci, aby se předešlo případnému poškození síta.

Bubnové filtry

Jedná se o zařízení (viz.obr. 4.7), které se umísťuje na ČOV náhradou za terciérní dočištění. V tomto zařízení se používají natolik jemná síta, aby docházelo k odseparování velmi malých částic aktivovaného kalu, jež nezachytí dosazovací nádrž, např. hydraulickým přetížením čistírny za deště.

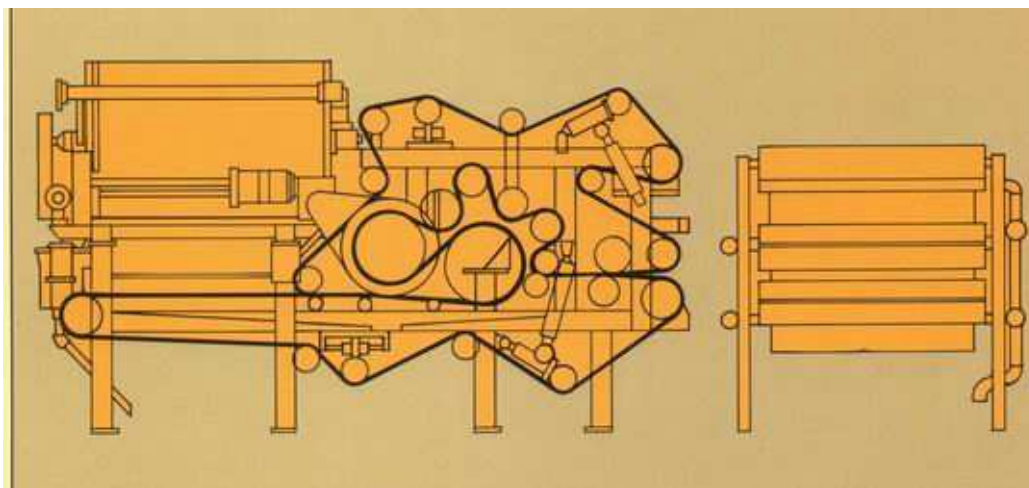
Suspenze natéká v ose filtru přímo na filtrační buben (ten je tvořen z jednotlivých segmentů), kde probíhá separace. Tato separace probíhá tak dlouho, dokud se segmenty filtru (nacházející se v daném okamžiku dole) nezanesou. Jakmile se spodní segmenty zanesou, dojde ke zmenšení průtoku suspenze. To má za následek zvýšení hladiny ve filtru. Hladina je snímána senzory, které jsou nastaveny tak, aby v případě dosažení maximální úrovně hladiny spustily převodovku, která pootočí buben filtru a tím dosadí do spodní části filtru čisté filtrační segmenty. Zanesené segmenty jsou proplachovány. Usazeniny propláchnutím odpadnou z povrchu segmentu do žlábků, kterým jsou dopraveny mimo bubnový filtr.



Obr. 4.4: Mikrošitový filtr [11]

Sítopásové lisy

Při technologickém procesu odvodnění stabilizovaného kalu se z vysráženého kalu oddělí pomocí sítopásového lisu tuhá složka, tzv. kalový koláč, který se likviduje odvozem na skládku nebo kompostováním. Tekutá složka odtéká k dalšímu zpracování. Výkon sítopásových lisů je v rozmezí $1 - 30 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ v závislosti na druhu kalu.

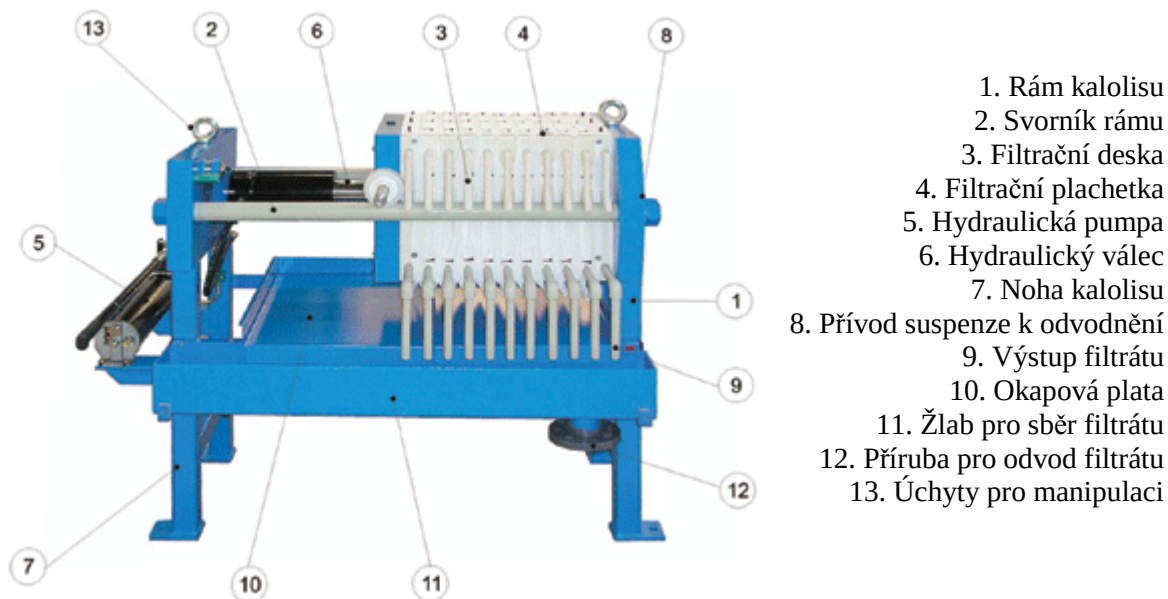


Obr. 4.5: Schéma sítopásového lisu [14]

Kalolisy

Jsou vyráběny dva základní typy, a to **komorové** a **membránové** kalolisy. Membránové kalolisy dosahují až dvojnásobného výkonu ve srovnání s odpovídajícími komorovými kalolisy. Kalolisy dosahují zpravidla maximální sušiny v pevné fázi za současného dosažení nejvyšší čistoty kapalné fáze. Kalolis se skládá z filtračních desek, které mají v pracovní části drenážní systém povlečený filtrační tkaninou. Kapalná fáze vstupní suspenze prochází přes filtrační tkaninu a pevné částice jsou na této vrstvě zachyceny.

Dalším čerpáním suspenze dojde k vytvoření pevného kalového koláče, který po otevření kalolisu samovolně vypadává ze zařízení a odfiltrovaná kapalina je dále drenážním systémem vedena mimo pracovní prostor.



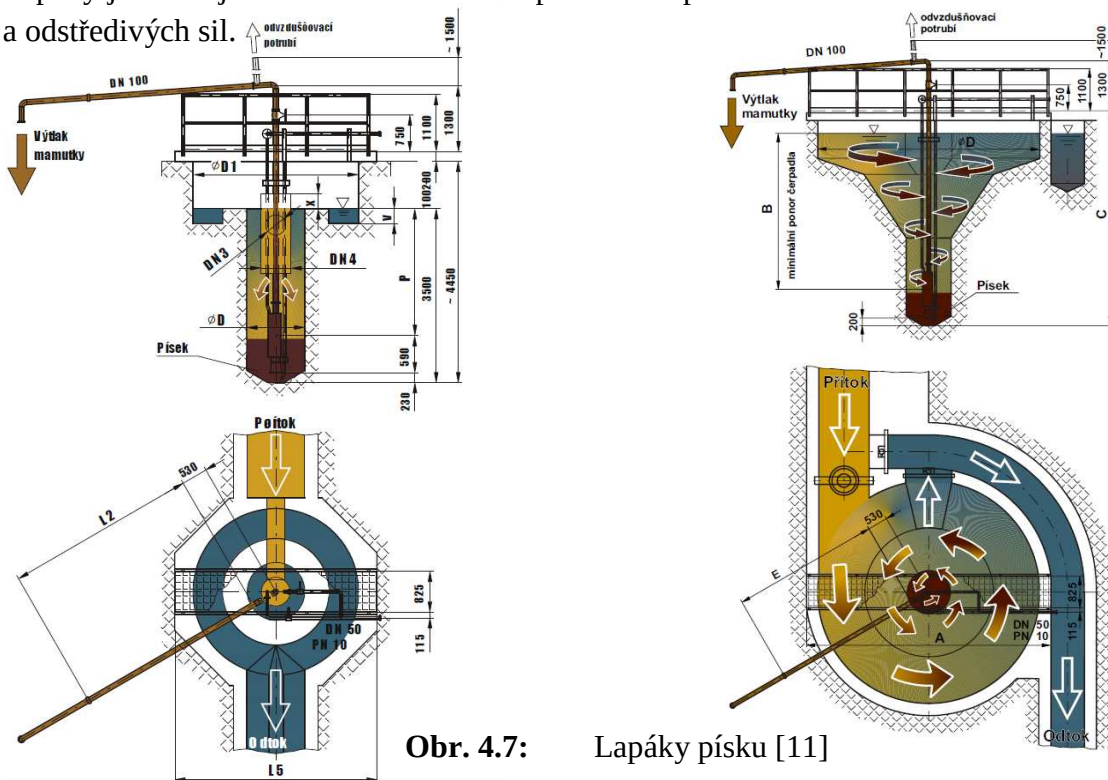
Obr. 4.6: Základní části kalolisu [15]

4.2 Usazovací a zahušťovací zařízení

Jsou to zařízení využívající pochodu popsaných v kapitole 3.2.5.

Lapáky šterku a písku

Lapáky jsou strojně stavební zařízení. Separace zde probíhá na základě sedimentačních a odstředivých sil.



Obr. 4.7: Lapáky písku [11]

U menších ČOV se ve většině případů budují vertikální lapáky. Tyto lapáky mají kruhový půdorys. Dno přechází do komolého jehlanu. Suspenze přitéká potrubím do horní části uklidňovacího válce. Ze dna je písek odčerpáván mamutkou. Voda zbavená písku odtéká potrubím, zatímco při zaplnění spodní části pískem, se uvede do provozu kompresor a stlačený vzduch. Spuštěním mamutového čerpadla je směs vzduchu, písku a vody odčerpávána ven z lapáku.

Dalšími typy lapáků jsou odstředivý odlučovač písku a vírový odlučovač písku, které se používají převážně na větších ČOV a dosahují účinnější separace.

Usazovací, dosazovací a zahušťovací nádrže

Rozdílnosti mezi jednotlivými nádržemi jsou především podle umístění v lince technologického procesu na ČOV.

Usazovací nádrže jsou zařízení navrhované pro průtočné rychlosti 4 až 15 mm.s⁻¹ (primární kal). Každá nádrž se skládá z vtokové části, sedimentační části, odtokové části a části zahušťování kalu. Hloubka těchto nádrží se volí podle typu suspenze a pohybuje se kolem 2 až 4 metrů. Střední doba zdržení se pohybuje kolem 2 až 4 hodin.

V dosazovacích nádržích probíhá rozdělení aktivovaného kalu (ten přitéká z aktivačních nádrží). Nádrže jsou navrhované na sedimentační rychlost 0,5 mm.s⁻¹. Doba zdržení se pohybuje kolem 1 až 2 hodin. Odsazený kal se částečně zahušťuje a část se vrací do aktivačních nádrží.

Zahušťovací nádrže jsou součástí kalového hospodářství, kde se díky dlouhé době zdržení (4 až 20 hodin) zahušťuje přebytečný kal čerpaný z dosazovacích nádrží. Například u biologického kalu se docílí zvýšení sušiny až 4%. Tvar nádrže připomíná dosazovací nádrž s tím rozdílem, že její strojní vybavení shrabovacího mechanismu je robustnější.



Obr. 4.8: Usazovací nádrže na ČOV Modřice

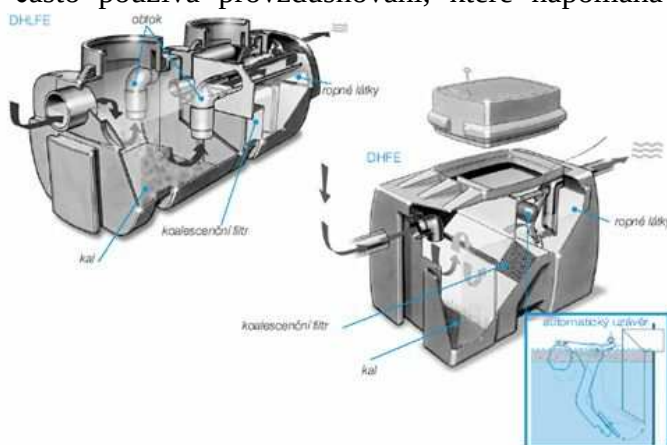
Cyklony

Nebo spíše hydrocyklony, jsou zařízení, ve kterých dochází k separaci suspenze pomocí specifického tvaru nádoby. Do ní je nátok zaveden tangenciálně do horní části nádoby. S klesající výškou se zmenšuje průměr nádoby. V určitém bodě se proud suspenze zaškrtní natolik, že dojde k vytvoření zpětného víru, který vynese lehčí částice (například organiku) nad nátok, kde se nachází odtoková část (například ve formě přepadové hrany).

4.3 Flotační zařízení

Lapáky tuku, odlučovače olejů a ropných látek

Jsou to nádrže, ve kterých se tuk zachytává na hladině pomocí norných stěn. Norná stěna je hradidlo, které vyčnívá mírně nad úroveň hladiny, ale zasahuje pouze do určité hloubky nádrže (nesmí se dotýkat dna). Lehčí tuk zůstává na hladině a je zachytáván touto nornou stěnou. Z nádrže je tuk odstraňován pomocí shrabovacího mechanismu. U těchto zařízení se často používá provzdušňování, které napomáhá vynášet tuk na hladinu.



Obr. 4.9: Odlučovač ropných látek [13]

Elektroflotační a flotační vany

Z jedné strany se do flotátoru přivádí rozemletá směs nebo její suspenze a ve většině případů flotační činidlo. Toto činidlo se používá ke zvýraznění rozdílů smáčivosti. Hydrofobní částice jsou za pomoci vzduchových bublinek vynášeny ve formě pěny na hladinu flotátoru. Odtud je pěna shrnována a odváděna k vysušení a dalšímu zpracování. Hydrofilní zůstávají suspendovány v objemu flotačního žlabu. Důležitá je při flotaci i velikost zrn minerálů, která bývá zpravidla mezi 0,1 až 0,4mm.

4.4 Centrifugační zařízení

Kontinuální odstředivky

Běžně používaným typem odstředivek jsou dekantální odstředivky s kontinuálním provozem, které mohou být dle prostorového uspořádání toku médií buďto souproutdé nebo protiproutdé.

Kal se přivádí do otáčivého bubnu odstředivky s vodorovně uloženou osou zpravidla axiálně. Při rotaci bubnu se oddělí tuhé složky, které se usazují na vnitřním povrchu pláště a jsou kontinuálně vynášeny šnekovým dopravníkem. Oddělená kalová voda je rovněž kontinuálně odváděna.

5. NÁVRH SEPARÁTORU

Separátor písku je zařízení, které slouží k oddělení pevných částic obsažených v suspenzi. V historii se místo separátoru používaly mělké nádrže, do kterých byla přiváděna suspenze. V těchto nádržích se nechal usadit kal, který se musel následně manuálně odstranit (pomocí lopat). Z důvodu zlepšení hygieny práce se navrhlo zařízení, které vyřadilo nutnost lidského zásahu do samotného procesu separace.

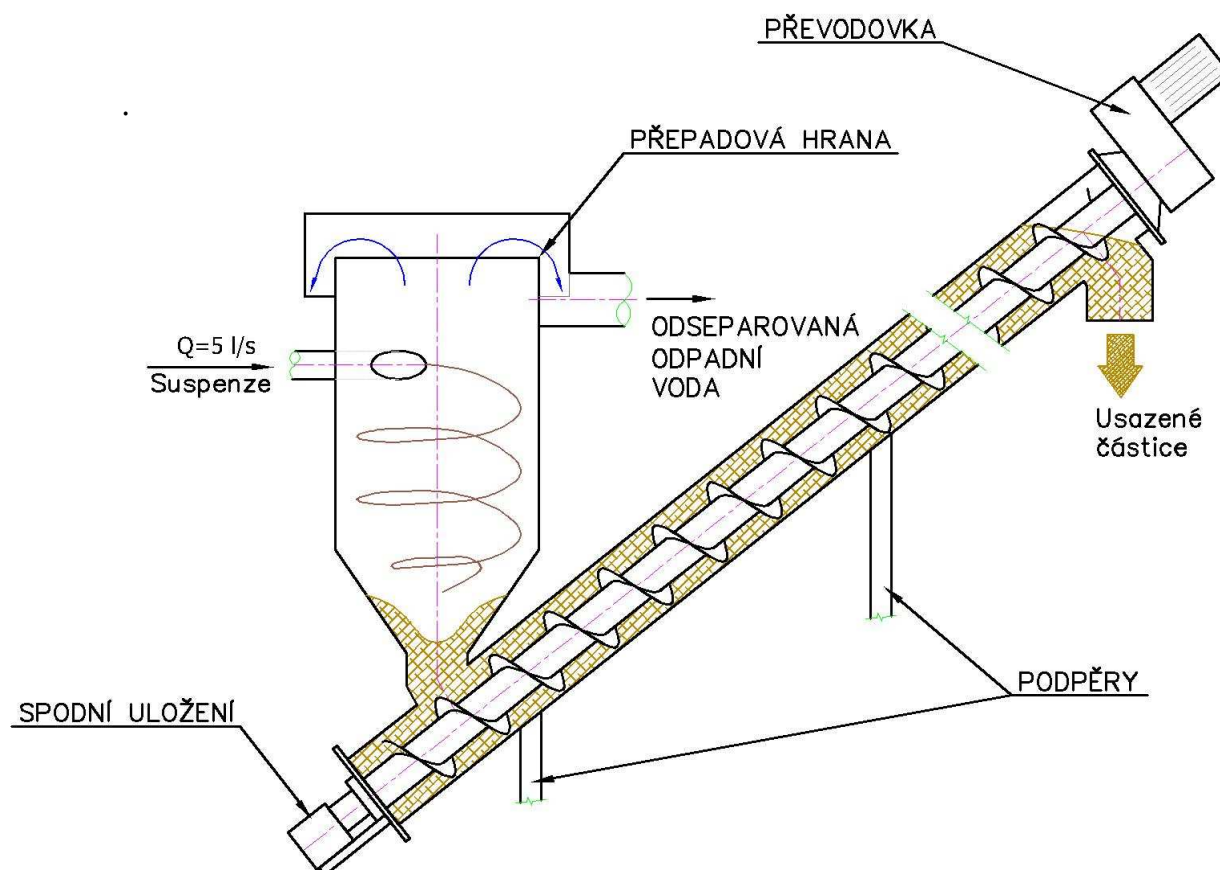
5.1 TECHNICKÝ POPIS

Zařízení se obecně skládá ze sběrné nádrže a šikmo zabudovaného dopravního šneku. Odseparovaná voda odchází z toho zařízení přepadem, zatímco částice usazené u dna vynáší dopravník do kontejneru. Protože se separátor navrhuje pro čištění odpadních vod, je vhodné zvolit materiálové provedení z nerezové oceli. Tato ocel nejlépe odolává agresivnímu prostředí, které se vyskytuje na ČOV. Při výskytu jemné frakce v suspenzi se používá hřídelová šnekovnice. Tato šnekovnice má lepší charakter pro dopravu takovéto frakce. Kvalitnějšímu odseparování písku a odstranění větší části organiky se napomáhá záložním přívodem vody a instalováním přídatného míchání. Pro venkovní umístění se separátor opatřuje vyhříváním.

Pro vlastní návrh separátoru je nejdůležitější vybrat mechanismus, kterým budou pevné částice separovány z odpadní vody. Ze známých řešení, se jeví varianta separátoru, ve které se suspenze separuje kombinací usazování a odstředování jako nejvýhodnější (ať již z hlediska provozních nákladů, tak i nároků na údržbu). Potřebnou dobu sedimentace urychluje tangenciální zavedení nátoky do nádoby separátoru. Díky tomuto způsobu vstupu suspenze se dosáhne vzniku odstředivé síly, která sedimentačnímu procesu napomáhá.

V novém návrhu separátoru, bude zásadní změna tvaru nádoby, ve které bude suspenze sedimentovat. Aby docházelo k odstředivému působení na částice ve směsi obsažené, je zapotřebí, aby byla nádoba rotačního tvaru.

Separátor bude navržen pro výkon $Q = 5 \text{ l.s}^{-1}$. Pro ovládání automatického chodu separátoru a elektromagnetického ventilu bude separátor řízen elektrickým rozváděčem. Časový režim je zajištěn pomocí programovatelného automatu Logo Siemens s vestavěným programem. Časový režim je nastavitelný. Chod elektropřevodovky závisí na vyhodnocování měření účinníku $\cos\varphi$, což způsobí omezení doby chodu na minimum (pouze pokud bude písek v separátoru), energetickou úsporu a větší životnost zařízení. Rozváděč obsahuje signalizační a ovládací prvky, svorky pro připojení dálkové signalizace na centrální počítač (beznapěťové kontakty s max. zatížitelností 3,5A; 250 V~). Umístění rozváděče bude na stěně v blízkosti separátoru. Rozváděč bude z důvodu venkovního umístění opatřen zateplením



Obr. 5.1: Návrh separátoru

5.2 Výpočet separátoru

U každého návrhu zařízení je nutné před návrhem konstrukce vyhodnotit problematická místa a vyhodnotit parametry, kterých má dané zařízení dosáhnout. Všechny rozměry by také měly odpovídat požadovaným výstupům a dějům pobíhajícím uvnitř zařízení.

Navrhovaný separátor bude konstruován pro čistírnu, která má pojmout 1000 EO. Protože se na takto kapacitně malých čistírnách nestaví usazovací nádrže, do separátoru bude suspenze dopravována z lapáku písku. Tomuto druhu suspenze říkáme primární písky. Pro EO se uvažuje 120 litrů odpadní vody za den. Pro danou čistírnu tedy 120000 l/den ($120\text{m}^3/\text{den}$).

Dopravované množství

Pro výpočet množství písku, které bude potřeba dopravit ze separátoru za den, vyjdeme z hodnoty, která je uvedena ve skriptech *Stokování a čištění odpadních vod II* [21]. Vyjdeme z předpokladu, že člověk vyprodukuje 12kg písku za rok. To znamená $0,0333\text{kg}/\text{osobu}/\text{den}$. Pro naši čistírnu se tedy jedná přibližně 33,5 kg písku za den (množství, které vyprodukuje 1000 EO). Za předpokladu, že je měrná hmotnost písku $1800\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vychází dopravované množství 18,5 litrů denně.

Toto množství je hodně malé budeme-li uvažovat osmi-směnný provoz. Díky této hodnotě můžeme bezpečně navrhnout pro daný separátor **průměr šnekovnice Ø200mm**, což je nejmenší průměr šnekovnice, který jsme mohli použít.

Šnekovnice Ø200 mm dokáže dopravit až 1,5 m³ písku za hodinu. Musíme brát v potaz, že jsme počítali s hodnotami průměrnými. Ve špičce (tzn. přívalové deště apod.) se hodnota může pohybovat 10 až 40x výš. Díky tomuto „kapacitnímu přebytku“ se můžeme rozhodnout zpomalit otáčky převodovky, což ve výsledku ušetří na ceně.

Návrh převodovky

Návrh převodovky vychází ze tří hodnot. První je **krouťící moment**. Ten závisí na pěti faktorech (průměr šneku, délka šneku, dopravní sklon, odpor přepravovaného materiálu a konstrukčním provedení – typ uložení). Bohužel odpor přepravovaného materiálu je těžko odhadnutelný, proto budeme muset vyjít z druhé určující hodnoty a tou jsou **otáčky**. Protože je dopravní kapacita šneku velká, můžeme zvolit pomalejší **otáčky (10 ot/minutu)**. Poslední hodnota, která se u kvalitních výrobců bere v potaz, je **servisní faktor**. Servisní faktor udává poměr mezi dimenzí motoru a převodovky, je bezrozměrná a pohybuje se okolo čísla jedna. Pohybujeme-li se v hodnotách menších než jedna, znamená to, že je motor silnější než převodovka. Díky tomu lze zvolit menší převodovou skříň. To má za následek menší pořizovací náklady, ale velké riziko poškození převodovky. A protože je převodová skříň mnohonásobně dražší než elektromotor, je lepší volit servisní faktor větší než hodnota jedna (např. servisní faktor 1,1 znamená o 10% silnější převodovku). Faktory větší než 1,7 se používají u vícesměnného provozu. Pro daný případ volíme z důvodu malého provozního zatížení servisní **faktor 1**.

Díky poměru mezi krouťícím momentem a otáčkami (čím jsou menší otáčky, tím je větší krouťící moment) získáváme přibližné hodnoty všech tří faktorů pomocí kterých zvolíme typ převodovky. Jedná se o přibližné hodnoty z toho důvodu, že každá firma si pro jednotlivá zařízení vytváří tzv. řadu. Je to výhodnější z hlediska návrhu podobných zařízení a servisu. Po zvážení všech parametrů se jeví jako nejvhodnější převodovka od firmy NORD typ **SK3282AFBH 80L/4 0,75kW 400V 50Hz**.

Doba zdržení

Posledním faktorem pro dimenzování rozměrů separátoru je doba zdržení. Tento faktor je důležitý především v situacích, kdy do separátoru vstupuje kontinuálně velké množství suspenze po relativně dlouhou dobu.

5.3 Koncepce I

5.3.1 Principiální popis koncepce I

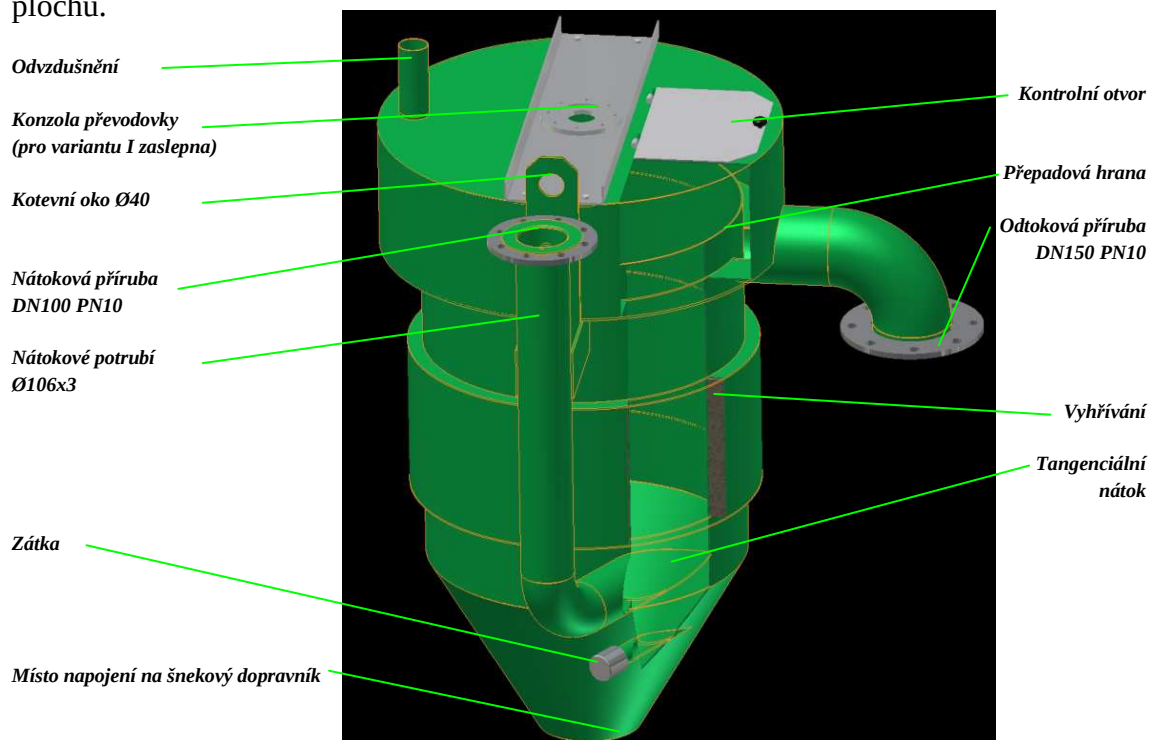
Suspenze vstupuje do bubnu separátoru ve výšce 2000mm v půdorysné ose separátoru. Připojení na zařízení je přes přírubu DN100 PN10. Suspenze pokračuje nátokovým potrubím Ø106x3, které je tangenciálně napojeno na samotný buben separátoru. Zde dochází k postupné sedimentaci kalu (písku), zatímco zbytek suspenze odtéká přes přepadovou hranu do odtokového potrubí, které je zakončeno otočnou přírubou DN150 PN10. Sedimentované částice se usazují ve spodní části dopravního šneku, který při 10 otáčkách za minutu kontinuálně dopravuje sediment pod úhlem $37^{\circ}30'$. V poslední třetině dopravního šneku se sediment z důvodu přesáhnutí úrovně hladiny v nádobě začne odvodňovat. Díky pomalým otáčkám a dostatečné délce nad úrovní hladiny vypadáva ze separátoru odvodněná směs.

Z důvodu umístění separátoru ve venkovním prostředí bude zařízení opatřeno vyhříváním. To zabrání případnému poškození při zimním provozování.

5.3.2 Konstrukční detaily

Buben separátoru

Buben separátor je část zařízení, ve které dochází k samotné separaci. Těžší fáze, převážně písek, vlivem gravitačních a odstředivých sil a také dostatečným uklidněním suspenze v nádobě sedimentuje. Sediment přechází do dopravního šneku, zatímco odseparovaná suspenze odtéká přes přepadovou hranu. Buben separátoru bude z důvodu agresivního prostředí vyroben z nerezové oceli 1.4301 o tloušťce 3mm. Příkon topné rohože bude 0,18kW; 230V; 50Hz. Což je standardní příkon pro danou vyhřívanou plochu.

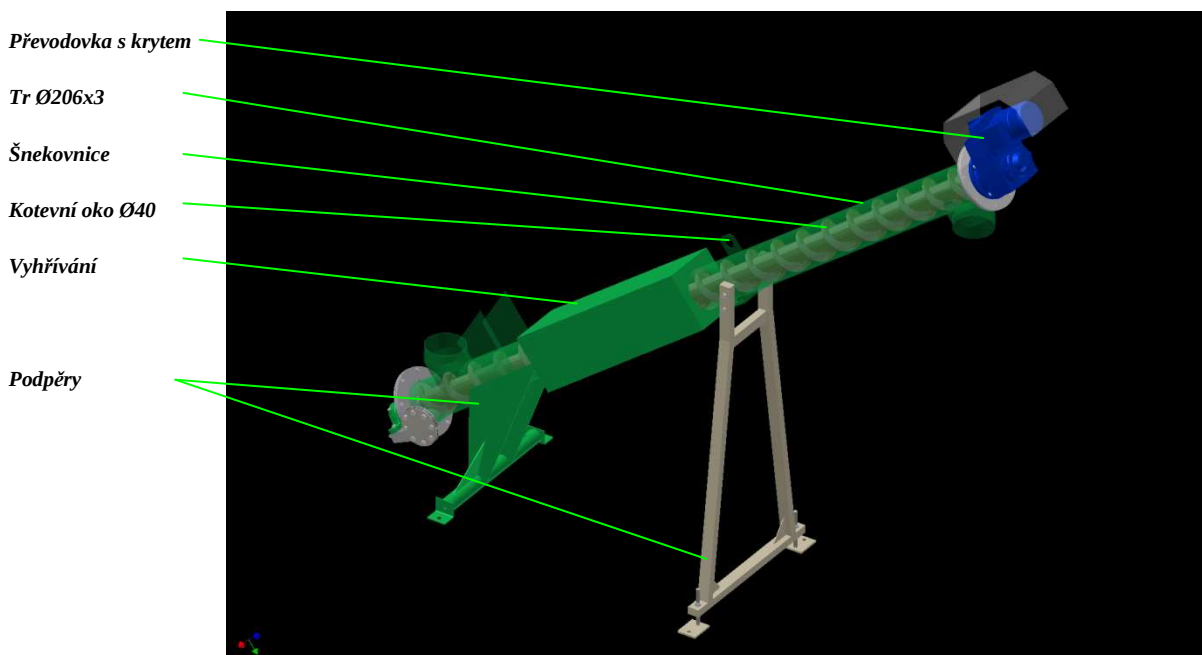


Obr. 5.3: Buben separátoru

Kontrolní otvor má čistě informativní funkci. Odvzdušnění chrání buben před přetlakováním. Kotevní oko Ø40 mm je přivařeno pro snadnější a bezpečnější manipulaci s celým separátorem. Obě příruby (nátoková, odtoková) jsou otočné pro snadnější napojení na potrubní systém.

Dopravní šnek

Tato část separátoru slouží k dopravě tuhé fáze, která se usadí ve spodní části separátoru. Ze dna je tato fáze vyhrnována šnekem k výstupnímu otvoru, za současného odlučování vody.



Obr. 5.4: Dopravní šnek

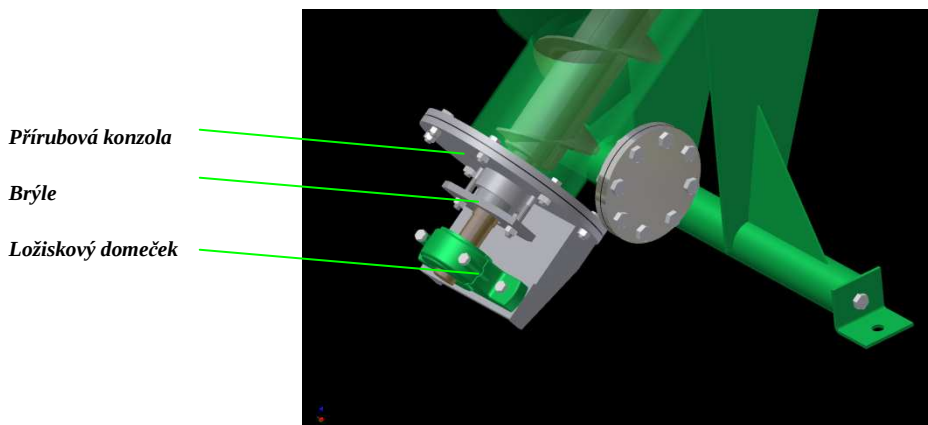
To probíhá v poslední třetině šneku, protože první dvě třetiny šnekovnice jsou pod úrovní hladiny. Materiálové provedení je nerezová ocel třídy 1.4301 ze stejných důvodů z důvodu agresivního prostředí. Šnekovnice je vyrobena z materiálu St.52.3 Převodovka byla na základě přibližných odhadů zvolena od firmy NORD typ SK3282AFBH 80L/4 0,75kW 400V 50Hz. Příkon topné rohože bude 0,18kW; 230V; 50Hz. Kotevní oko Ø40 mm je přivařeno pro snadnější a bezpečnější manipulaci s celým separátorem.

Pohon a uložení šneku

Šnekovnice je hřídelová a to znamená, že z jedné strany bude osazena převodovkou a z druhé strany uložena v ložiskovém domečku. Je to z toho důvodu, aby se hřídelová šnekovnice neodvalovala po vnitřním průměru žlabu. Naopak v případě použití bezhřídelové šnekovnice, by nám spodní uložení s ložiskovým domečkem ubylo. V tomto případě se ale počítá s tím, že se šnek bude odvalovat po vedení (lišty nebo samotný žlab), které by se muselo zohlednit při konstrukci. Dochází zde k opotřebení vedení.

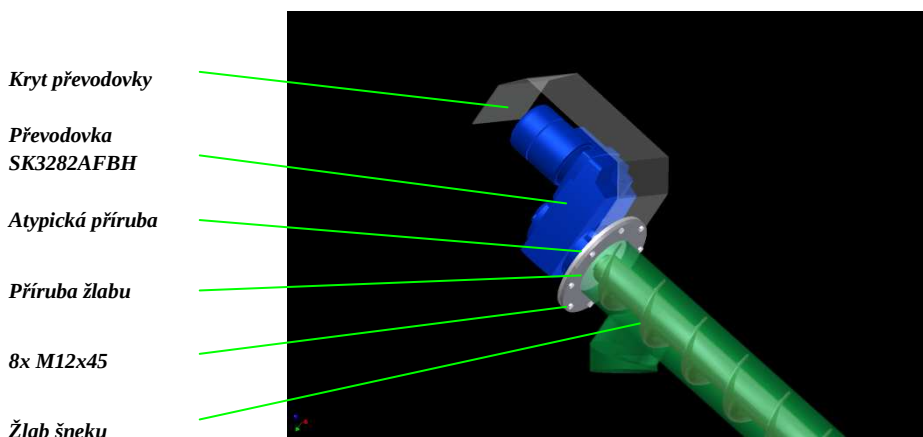
Volba hřídelové šnekovnice je z důvodu lepších vlastností pro přepravu daného typu sedimentu.

Spodní uložení je řešeno přírubovou konzolou, na které je umístěn ložiskový domeček a vedení pro utěsnění, které je dotlačováno tzv. brýlemi.



Obr. 5.5: Spodní uložení

Uložení převodovky je provedeno přes atypickou přírubu, která je upravena tak, aby se z jedné strany mohla uchytit osmi šrouby k přírubě žlabu a z druhé strany pomocí čtyř šroubů držela převodovku. Převodovka je z důvodu práce ve venkovním prostředí opatřena krytem.



Obr. 5.6: Uložení převodovky

5.4 Konceptce II

5.4.1 Principiální popis konceptce II

Tato konceptce nahlíží na separátor jako na zařízení, které nemá za úkol pouze odseparovat pevnou fázi ze suspenze, ale také oddělit organické látky od anorganických. Je to z toho důvodu, že jsou organické látky důležité pro následnou technologii úpravy vody. Organické látky slouží jako živiny pro mikroorganismy, které čistí odpadní vodu.

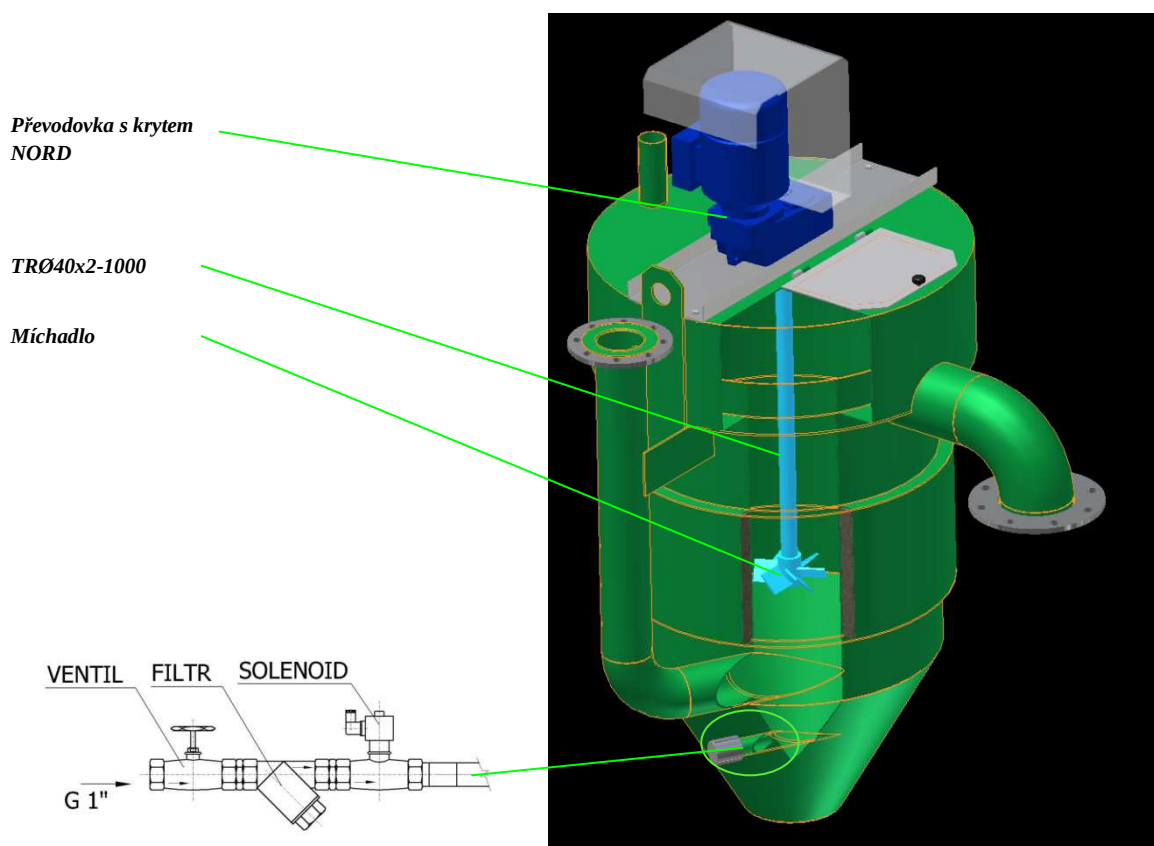
Dalším důležitým faktorem je, že se s takto odseparovaným pískem nemusí zacházet jako s nebezpečným odpadem. Nejvyšší přípustná hodnota DOC (rozpuštěný organický uhlík) je 80mg.l^{-1} .

U této koncepce vstupuje suspenze do bubnu separátoru stejně jako u varianty I. Připojení na zařízení je přes přírubu DN100 PN10. Suspenze pokračuje nátokovým potrubím Ø106x3, které je tangenciálně napojeno na samotný buben separátoru. Zde se suspenze za pomoci míchadla a přívodu prací vody propírá, což způsobuje rozdělení frakce na velice jemné částice.

Tím se lehčí organické látky uvolní od sedimentujících těžkých částic a jsou unášeny dále do dalších stupňů čištění na ČOV. Zbýlý proces funguje na stejném principu jako v případě koncepce I.

5.4.2 Konstrukční detaily

Buben separátoru s mícháním



Obr. 5.7: Nádob s míchadlem

Buben separátoru je osazen převodovkou, která pohání míchadlo. Míchadlo by mělo zlepšit separaci fází a napomoci oddělení organických látek od anorganických. Tvar nádoby se oproti koncepci I nemění.

Prací voda

Přívod prací vody je zajištěn přes sestavu ventilu s filtrem a solenoidem. Řízení přívodu prací vody má na starost automat Logo Siemens. Tím je zajištěno propírání písku usazeného u dna nádoby v potřebných časových intervalech. Propírání sedimentu by mělo napomoci uvolnění organických látek od zbytku suspenze a tím dosažení plné funkce koncepce II.



Obr. 5.8: Sestava ventil, filtr, solenoid

6. ZÁVĚR

Bakalářská práce se ve své teoretické části zabývala jednotlivými metodami separace pevných částic z heterogenní suspenze. Z celé řady popsaných metod byly pro návrh separátoru vybrány separační metody sedimentace a odstředování, které se z hlediska konstrukční a ekonomické stránky jeví jako nejvýhodnější. Za použití zmíněných metod byly navrženy dvě koncepce, z nichž koncepce II byla finálně zkonstruována a umístěna na ČOV Loučany. Koncepce II měla za úkol v rámci provozu separovat písek a zároveň oddělovat organické látky od minerálních částic, čímž by vznikly dva produkty. A to písek (bez organických látek), který již není považován za nebezpečný odpad a směs obsahující organické látky důležité pro následnou technologii úpravy vody. Při modelování separátoru bylo využito 3D modelovacího softwaru Autodesk Inventor 8.

Přínosem této bakalářské práce je poznatek, že koncepce umístěná na ČOV Loučany splňovala požadavky na separaci písku. K oddělení organických látek od sedimentující suspenze však nebylo dosaženo a to ani za použití



Obr. 6.1: Separátor na ČOV Loučany

přídavných zařízení propírání a praní písku.

Pro zjištění parametrů, které by pomohly plně funkci separátoru, by bylo zapotřebí delšího sledování zařízení za provozu. Z tohoto studia by se daly s určitostí navrhnout opatření, které by danou problematiku vyřešily.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAZEL, M. *Vodárny a čistírny*. Vysoké učení technické v Brně, Brno 1986. 145 s. ISBN 55-598-86
- [2] *Sklizeň obilí ve starém Egyptě*
URL:< <http://masch.blog.cz/0706/naradi-egyptskych-zemedelcu>>
- [3] HASAL, P., SCHREIBER L., ŠNITA D. a kol. *Chemické inženýrství*. 2.vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2007, 348 s. ISBN 978-80-7080-002-7
- [4] *Proces srážení krve*
URL:<<http://cache.eb.com/eb/image?id=98328&rendTypeId=4>>
- [5] *Proces flotace*
URL:<<http://www.vscht.cz/uchi/michani/flotace/princip.htm>>
- [6] *Porovnání membránových technologií*
URL:<<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4082>>
- [7] *Centrifugace*
URL:<<http://biomikro.vscht.cz/isolacebmm/prednaska2.pdf>>
- [8] *Frakční krystalizace*
<<http://www.sulzprag.cz/fractional.html>>
- [9] *Čistírna odpadních vod*
URL:<<http://www.kpria.cz/>>
- [10] *Zařízení mechanického předčištění*
URL:<http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=13>
- [11] *Samočisticí česle*
URL:< <http://www.fontanar.cz/czech.html> >
- [12] *Rotační čelce*
URL:<<http://www.hubercs.cz/>>
- [13] *Odlučovač ropných látek*
URL:< <http://voda.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3564&h=6&pl=37>>
- [14] *Schéma sítopásového lisu*
URL:<<http://www.fs.cvut.cz/cz/U218/peoples/hoffman/PREDMETY/COVP/Covpe-2.htm>>
- [15] *Základní části kalolisu*
URL:<<http://www.envites.cz/produkty.phtml?k=2&menu=p>>
- [16] *Schéma odstředivky*
URL:<http://www.fs.cvut.cz/cz/U218/obor/tzo/hmp/i_hmp.htm>
- [17] ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Ediční řada C, Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika, Praha 2006. 283 s. ISBN 80-86769-74-7
- [18] PRAX, P., HLAVÍNEK, P., MIČÍN, J., *Příručka stokování a čištění*. Brno 2001. 251 s. ISBN 80-86020-30-4

- [19] MALÝ, M., MALÁ, J., *Chemie a technologie vody*. 2. vydání. Brno 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9
- [20] VOHLÍDAL, J., ZEMÁNEK, F., *Chemie 4 Fyzikální chemie*. Praha 1986. 289 s. ISBN 04-619-86
- [21] REŠETKA, D., *Stokování a čištění odpadních vod II Čištění odpadních vod*. 2. vydání Vysoké učení technické v Brně, Brno 2001. 194 s. ISBN 55-639-87
- [22] *Technologické postupy pro zpracování odpadních kalů*
URL:<<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy2005/Bara/postupy.html>>
- [23] BENEŠOVÁ, M., SATRAPOVÁ H., *Odmaturuj z chemie*, Brno 2002, 208 s. ISBN 80-86285-56-1
- [24] TUČEK, F., CHUDOBA, J., KONÍČEK, Z., *Vybrané procesy a výpočty z technologie vody*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 1975, 486 s. ISBN 440-33545
- [25] *Erlenmeyerova baňka, Odměrný válec*
URL:< <http://www.kralupy.cz/dg/www2/stranky/chemie/dekantace.htm>>

8. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1.1:	Sklizeň obilí ve starém Egyptě	12
Obr. 2.1:	Rozdělení separačních metod podle druhu fází	14
Obr. 2.2:	Rozdělení směsí	15
Obr. 3.1:	Proces srážení krve	16
Obr. 3.2:	Frakční krystalizace	18
Obr. 3.3:	Základní uspořádání filtračního zařízení	19
Obr. 3.4:	a) Koláčová filtrace b) Hloubková filtrace	20
Obr. 3.5:	a) Schéma procesu membránové separace. b) Dělení směsi při průchodu porézní membránou	21
Obr. 3.6:	Porovnání membránových technologií	22
Obr. 3.7:	Způsoby centrifugace	23
Obr. 3.8:	Nádoby využívané v laboratorních podmínkách při dekantaci	24
Obr. 3.9:	Proces flotace	25
Obr. 3.10:	Síly působící na částici při usazování v gravitačním poli	26
Obr. 4.1:	Čistírna odpadních vod	27
Obr. 4.2:	Samočisticí česle	29
Obr. 4.3:	Rotační česle	30
Obr. 4.4:	Mikrosítový filtr	31
Obr. 4.5:	Schéma sítopásového lisu	31
Obr. 4.6:	Základní části kalolisu	32
Obr. 4.7:	Lapáky písku	32
Obr. 4.8:	Usazovací nádrže na ČOV Modřice	33
Obr. 4.9:	Odlučovač ropných látek	34
Obr. 5.1:	Návrh separátoru	36
Obr. 5.2:	Situační nákres	38
Obr. 5.3:	Buben separátoru	39
Obr. 5.4:	Dopravní šnek	40
Obr. 5.5:	Spodní uložení	41
Obr. 5.6:	Uložení převodovky	41
Obr. 5.7:	Nádoba s míchadlem	42
Obr. 5.8:	Sestava ventil, filtr, solenoid	43
Obr. 6.1:	Separátor na ČOV Loučany	44

. Tab. 4.1:	Zařízení mechanického předčištění	28
--------------------	-----------------------------------	----

9. SEZNAM PŘÍLOH

1. Model separátoru – detail spodního uložení
2. Model separátoru – řez
3. Model separátoru - sestava
4. Sestavný výkres separátoru
5. Kusovník sestavného výkresu

