

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in  
komunalno inženirstvo

Kandidat:

**Pavel Debeljak**

# **Fizikalni postopki zgoščevanja in dehidracije blata na KČN**

**Diplomska naloga št.: 101**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 22. 4. 2008

## **STRAN ZA POPRAVKE - ERRATA**

Stran z napako	vrstica	namesto	naj bo
----------------	---------	---------	--------

## **IZJAVA O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali predavatelji Vodarstva in komunalnega inženirstva:

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 628.33(043.2)**

**Avtor: Pavel Debeljak**

**Mentor: izred. prof. dr. Jože Panjan**

**Somentor: asist. dr. Mario Krzyk**

**Naslov: Fizikalni postopki zgoščevanja in dehidracije blata na KČN**

**Ključne besede: odvečno blato, obdelava blata, zgoščevanje blata, dehidracija blata,**

### **Izveček:**

V diplomski nalogi so opisani in medsebojno primerjani najpomembnejši fizikalni postopki zgoščevanja oz. dehidracije odvečnega blata, ki nastaja na komunalnih čistilnih napravah.

V uvodu so navedeni vsi procesi obdelave odvečnega blata in razlika med procesoma zgoščevanja ter dehidracije odvečnega blata.

Glavni del diplomske naloge je razdeljen na dva sklopa. Prvi sklop je namenjen obravnavi najpogostejših fizikalnih postopkov zgoščevanja odvečnega blata: gravitacijskemu, flotacijskemu, centrifugalnemu zgoščevanju, zgoščevanju z gravitacijskimi pasovi in zgoščevanju z rotacijskimi bobni. Drugi sklop pa je namenjen obravnavi najpogostejših fizikalnih postopkov dehidracije odvečnega blata: dehidraciji s tračnimi prešami, centrifugami, filtrskimi prešami in dehidraciji z vakuumsko filtracijo. V vsakem sklopu so postopki najprej predstavljeni teoretično nato pa še medsebojno primerjani na konkretnem primeru. Postopki zgoščevanja odvečnega blata so primerjani na osnovi teoretičnih podatkov pridobljenih z empiričnimi enačbami za primer KČN z 200.000 PE. Najpogostejši fizikalni postopki dehidracije odvečnega blata pa so medsebojno primerjani na podlagi dejanskih podatkov o proizvodnji in obdelavi odvečnega blata na CČN Domžale – Kamnik v letu 2007.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC: 628.33(043.2)**

**Author: Pavel Debeljak**

**Supervisor: assoc. prof. dr. Jože Panjan**

**Co-supervisor: assist. dr. Mario Krzyk**

**Title: Physical procedures of sludge thickening and dehydration at municipal WWT**

**Key words: sewage sludge, sludge treatment, sludge thickening, sludge dehydration**

### **Abstract:**

In graduation thesis are described and mutually compared most important physical procedures of thickening and dehydration of sewage sludge which is occurring on municipal wastewater treatment plants.

All processes of treatment of sewage sludge and difference between processes of thickening and dehydration of sewage sludge are listed in the preface.

Main part of graduation thesis is divided into two assembles. Most frequent physical procedures of thickening of sewage sludge (gravitation, flotation, centrifugal thickening, thickening with gravitational belts and thickening with rotational drums) are assigned in first assembly. Most frequent physical procedures of dehydration of sewage sludge (dehydration with belt filter presses, centrifuges, filter presses and dehydration with vacuum filtering) are assigned in second assembly. In every assembly are procedures first introduced theoretically and then mutually compared on concrete case. Procedures of thickening of sewage sludge are compared on base of theoretical data of gained with empirical equations for case of municipal wastewater treatment plant with 200.000 PE. Most frequent physical procedures of dehydration of sewage sludge are mutually compared based on real data concerning production and to treatment of sewage sludge on municipal wastewater treatment plant Domžale – Kamnik in year 2007.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju izred. prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju asist. dr. Mariu Krzyku za izkazan trud in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala gre osebju CČN Domžale - Kamnik ter vsem podjetjem, ki so mi posredovala zelene podatke v zvezi z njihovimi proizvodi.

Prav tako se zahvaljujem vsem tistim, ki ste mi skozi celoten študij stali ob strani.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZGOŠČEVANJE BLATA</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Gravitacijsko – težnostno zgoščevanje</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Teoretične osnove gravitacijskega zgoščevanja</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Načrtovanje gravitacijskih zgoščevalnikov</b>	<b>8</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Tipi grabljic in strgal</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Možne težave pri gravitacijskem zgoščevanju</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Flotacijsko zgoščevanje (plavljenje)</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Princip delovanja in vidiki načrtovanja DAF zgoščevalnikov</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Centrifugalno zgoščevanje</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Tipi centrifug za zgoščevanje blata</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Zgoščevanje z gravitacijskimi pasovi / tračni zgoščevalniki</b>	<b>28</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Princip delovanja tračnih zgoščevalnikov</b>	<b>28</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Načrtovanje tračnih zgoščevalnikov</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Zgoščevaje z rotacijskimi bobni</b>	<b>31</b>
<b>2.6</b>	<b>Primerjava najpogostejših metod zgoščevanja blata</b>	<b>33</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Dimenzioniranje in izbira primernega gravit. zgošč.</b>	<b>34</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Izbira primernega flotacijskega zgoščevalnika</b>	<b>39</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Izbira primernega centrifugalnega zgoščevalnika</b>	<b>40</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Izbira primernega zgoščevalnika z gravitacijskimi pasovi</b>	<b>41</b>
<b>2.6.5</b>	<b>Izbira primernega zgoščevalnika v obliki rotacijskega bobna</b>	<b>44</b>
<b>2.6.6</b>	<b>Primerjava izbranih zgoščevalnikov</b>	<b>46</b>

<b>3</b>	<b>DEHIDRACIJA BLATA</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Stiskanje s filtrskimi pasovi (tračne preše)</b>	<b>55</b>
<b>3.2</b>	<b>Centrifugiranje</b>	<b>57</b>
<b>3.3</b>	<b>Stiskanje s povratnimi filtrskimi ploščami</b>	<b>60</b>
<b>3.4</b>	<b>Vakuumsko filtriranje</b>	<b>65</b>
<b>3.5</b>	<b>Primerjava najpogostejših metod dehidracije blata</b>	<b>68</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Izbira primerne tračne preše</b>	<b>69</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Izbira primerne centrifuge</b>	<b>71</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Izbira primerne filtrske stiskalnice</b>	<b>73</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Primerjava izbranih naprav za dehidracijo</b>	<b>74</b>
<b>4</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>79</b>
	<b>VIRI</b>	<b>80</b>
	<b>PRILOGE</b>	



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Določitev  $v_i$ ,  $q_g$ ,  $q_u$  in  $q_t$

Preglednica 2: Primerjalne naprave za zgoščevanje blata

Preglednica 3: Primerjava stroškov investicije naprav za zgoščevanje

Preglednica 4: Primerjava ocene stroškov porabe električne energije naprav za zgoščevanje

Preglednica 5: Primerjava ocene stroškov porabe polimerov pri napravah za zgoščevanje

Preglednica 6: Primerjava skupnih letnih stroškov pri izbranih napravah za zgoščevanje

Preglednica 7: Podatki o proizvodnji blata na CČN Domžale – Kamnik v letu 2007

Preglednica 8: Podatki potrebni za izbiro primerljivih dehidracijskih naprav

Preglednica 9: Primerjava stroškov investicije naprav za dehidracijo

Preglednica 10: Primerjava ocene stroškov porabe električne energije naprav za dehidracijo

Preglednica 11: Primerjava ocene stroškov porabe polimerov pri napravah za dehidracijo

Preglednica 12: Primerjava skupnih letnih stroškov pri izbranih napravah za dehidracijo

## KAZALO SLIK

- Slika 1: Potek usedanja gostih suspenzij in štiri področja:
- Slika 2: Kosmičenje delcev zaradi diferenciranega usedanja
- Slika 3: Potek usedanja v odvisnosti od koncentracije opazovanega biološkega blata
- Slika 4: Shema tipičnega okroglega gravitacijskega zgoščevalnika
- Slika 5: Krivulja gravitacijskega masnega pretoka
- Slika 6: Primer krivulje masnega pretoka
- Slika 7: Shema DAF zgoščevalnika
- Slika 8: Shema tračnega zgoščevalnika
- Slika 9: Graf  $q_g$ ,  $q_u$ ,  $q_t$  in grafična določitev mejnega masnega pretoka
- Slika 10: Krivulja  $q_g$  in grafična določitev mejnega masnega pretoka  $q_t$  po state-point metodi
- Slika 11: Krivulje za določitev najprimernejše naprave Huber DB
- Slika 12: Krivulje za določitev najprimernejše naprave Huber Rotamat RoS 2
- Slika 13: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja gravitacijskega zgoščevalnika
- Slika 14: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja flotacijskega (DAF) zgoščevalnika
- Slika 15: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja centrifugalnega zgoščevalnika
- Slika 16: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja tračnega zgoščevalnika
- Slika 17: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja zgoščevalnika v obliki rotacijskega bobna
- Slika 18: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za zgoščevanje
- Slika 19: Graf skupnih letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za zgoščevanje
- Slika 20: Shema stiskalnice s filtrskimi pasovi
- Slika 21: Skica delovanja HTS decanter centrifuge za dehidracijo blata iz podjetja Flottweg
- Slika 22: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja v tračne preše
- Slika 23: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja naprave za centrifugalno dehidracijo
- Slika 24: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja filtrske stiskalnice
- Slika 25: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za dehidracijo
- Slika 26: Graf skupnih letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za dehidracijo

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

KČN	Komunalna čistilna naprava
CČN	Centralna čistilna naprava
ČN	Čistilna naprava
PE	Populacijski ekvivalent
SS	Suhe snovi
X	Vsebnost trdnih snovi v blatu
IB <sub>p</sub>	Indeks blata
VB <sub>p</sub>	Koncentracija blata
DAF	Dissolved-air flotation
SS	Suha snov
€	Euro

## 1 UVOD

Na KČN odteka in se zbirajo odpadne vode z večjo ali manjšo količino kontaminantov, ki jih iz vode odstranimo fizikalno oz. z biološko reakcijo pod vplivom mikroorganizmov in encimov. Med procesom čiščenja odpadne vode poleg očiščene vode nastaja odvečno oz. odpadno komunalno blato. Odpadno komunalno blato nastaja tako med primarno in sekundarno obdelavo odpadnih voda na KČN, kot tudi na domačih greznicah. Glede na kvalitativne zahteve za določen način uporabe blata in z vidika transportnih možnosti gre lahko blato pred uporabo skozi različne vrste in stopnje procesov predelave oz. obdelave. Štirje glavni procesi obdelave blata, ki se pred njegovo končno dispozicijo izvajajo na KČN so (McFarland, 2001): zgoščevanje, stabilizacija, kondicioniranje in dehidracija oz. izsuševanje odvečnega blata.

Znotraj vseh navedenih procesov obstajajo različni postopki in možnosti za dosego želenih ciljev, ki pa imajo vsak svoje specifične značilnosti ter pozitivne in negativne lastnosti. Od njih pa je, poleg tega kaj hočemo z uporabo posameznega postopka sploh doseči, odvisna odločitev kakšen postopek bomo uporabili v primeru posameznega procesa obdelave blata. Morda največja dilema pri izbiri določenega postopka, se pojavlja, v primeru procesov zgoščevanja blata in dehidracije blata. Dodatna težava pri izbiri določenega postopka pa je tudi ta, da za pomoč pri tem ni na voljo neke konkretne primerjave med različnimi postopki. Tako je vsak, ki je odgovoren za odločitev o izbiri postopka zgoščevanja ali dehidracije blata prisiljen opravljati lastno primerjavo med njimi in tako ugotavljati primernost in stroške posameznega postopka.

Tudi zgoraj omenjeni razlogi so me vzpodbudili k izdelavi diplomske naloge v kateri obravnavam in poizkušam medsebojno primerjati predvsem fizikalne postopke in metode zgoščevanja blata ter dehidracije blata. Postopke medsebojno primerjam glede na najpomembnejše in medsebojno primerljive parametre, ki vplivajo na učinkovito delovanje procesa in njegovo sprejemljivost za uporabnika. Primerjavi med postopki zgoščevanja in

postopki dehidracije sta ločeni in medsebojno neodvisni. V obeh primerih pa se primerjavi nanašata na neke začetne in neke končne - želene kvalitativne in kvantitativne lastnosti blata.

Dejansko imamo tako pri procesu zgoščevanja kot tudi pri procesu dehidracije blata enak cilj. To je za zmanjšanje količine vode v blatu oz. povečevanje koncentracije trdnih snovi v njem. Pa vendar je razlika med tema dvema procesoma bistvena. Pomembna fizikalna lastnost zgoščenega blata je namreč ta, da je rezultat procesa zgoščevanja še vedno snov, ki ima v hidravličnem smislu lastnosti tekočine. To dejstvo nam omogoča da blato po zgoščevanju do morebitnih sledečih procesov na KČN ali do končne uporabe transportiramo po ceveh. To je poleg koncentracije trdnih snovi tudi bistvena razlika med zgoščenim in dehidriranim blatom (McFarland, 2001). Namreč v primeru, da želimo iz blata odstraniti več vode kot nam dopuščajo procesi zgoščevanja, je potrebno poseči po postopkih dehidracije oz. osuševanja. Še več vode pa lahko odstranimo s sušenjem, pri katerem uporabljamo toplotno energijo (Vesilind, 2003). Ker dehidriranega blata ni več možno prečrpavati s črpalkami oz. ga transportirati po ceveh, se je potrebno posluževati drugih načinov transporta (razni nakladači, transportni trakovi, tovornjaki, vlak itd.) (McFarland, 2001).

## 2 ZGOŠČEVANJE BLATA

Na KČN se, pred njegovo končno dispozicijo, izvajajo štiri glavni procesi obdelave odvečnega blata. To so (McFarland, 2001):

- Zgoščevanje blata - to je proces s katerim poizkušamo blatu, praviloma še pred nadaljnimi procesi obdelave na KČN, bistveno zmanjšati vsebnost vode oz. povečati koncentracijo trdnih snovi v njem
- Stabilizacija blata - zajema biološke in kemične postopke s katerimi v prvi vrsti želimo trajno ali pa vsaj začasno ublažiti nezaželene značilnosti blata
- Kondicioniranje blata - pomeni kemično ali temperaturno obdelavo blata s katero dosežemo večjo učinkovitost zgoščevanja in/ali dehidracije blata, ki sicer v večini primerov niti ne dosegata zadovoljivih rezultatov
- Dehidracija oz. izsuševanje blata - je proces, ki praviloma pride na vrsto kot zadnji in s katerim želimo čim bolj povečati koncentracijo trdnih snovi v blatu oz. iz njega iztisniti čim več odvečne tekočine ter s tem minimirati njegovo prostornino

Zgoščevanje blata je navadno prvi proces obdelave odvečnega blata po njegovem nastanku na KČN. Zgoščevanje blata pomeni odstranjevanje vode iz blata in s tem bistveno zmanjšanje celotnega volumna. Povečanje koncentracije trdnih snovi v blatenici iz 1 % na 2 % pomeni kar 50 % zmanjšanje celotnega volumna blatenice. Zmanjšanje volumna pa pomeni nižje investicijske in obratovalne stroške pri nadaljnjih procesih obdelave blata. Predvsem je pomembna razlika v velikosti rezervoarjev, črpalk in ostale »dolvodne« opreme.

V splošnem postopki zgoščevanja blata temeljijo predvsem na fizikalnih zakonitostih. Na KČN napravah najdemo 5 glavnih načinov zgoščevanja in sicer (McFarland, 2001):

- Gravitacijsko (težnostno – sedimentacijsko) zgoščevanje
- Flotacijsko (plavljenje) zgoščevanje
- Centrifugalno zgoščevanje
- Zgoščevanje z gravitacijskimi pasovi
- Zgoščevanje z rotacijskimi bobni

Uspešnost zgoščevanja ali dehidriranja se glede na vrsto blata zelo razlikuje. Naprimer učinek dehidriranja aktivnega blata iz KČN je kljub podobni koncentraciji trdnih snovi veliko slabši kot učinek dehidriranja dobro pregnitega primarnega blata. Poleg temperature, pH vrednosti in fizikalno kemičnih lastnosti snovi samih je koncentracija trdnih snovi v blatu odvisna predvsem od načina vezave vode s trdnimi snovmi. V gostih suspenzijah oz. blatu se voda nahaja v treh oblikah (Vesilind, 2003, Panjan, 2000):

- v nevezani obliki, ki jo lahko izločamo s težnostnim zgoščevanjem.
- kot kapilarno vezana voda, ki jo lahko izločamo le z odcejanjem pod pritiskom
- kot adsorbirana voda (molekularno vezana), ki jo lahko izločamo le z dovajanjem toplotne energije

Vodo iz aktivnega blata je tako težko odstraniti, ker je vezana na celice bakterij ali pa je kemično vezana v celičnih strukturah.

## **2.1 Gravitacijsko – težnostno zgoščevanje**

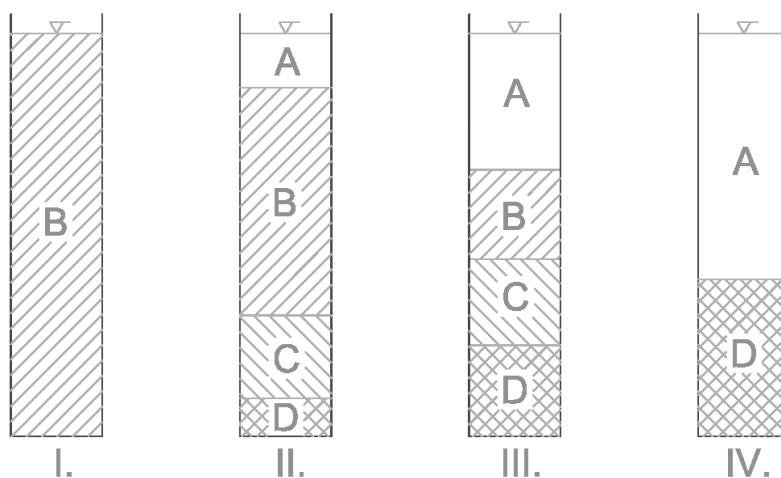
Glavni cilj postopka gravitacijskega zgoščevanja je ustvarjanje talnega odtoka koncentriranega blata. Proces navadno poteka v rezervoarjih opremljenih s počasi rotirajočim mehanizmom – grabljicami oz. strgali, ki razbijajo kohezivnost delcev v influentu (McFarland, 2001). Zgoščeno blato, ki se črpa iz dna zgoščevalnika se ali obdeluje z nadaljnjimi postopki ali pa se nameni končni uporabi. Plavajoči delci, ki se odstranijo iz gladine zgoščevalnika se zaradi znatne količine trdnih delcev vrnejo na začetek čiščenja v primarni usedalnik (Droste, 1997). Zgradba samega zgoščevalnika in njegova shema je prikazana v poglavju o načrtovanju gravitacijskih zgoščevalnikov.

Uporaba gravitacijskih zgoščevalnikov je najbolj učinkovita za zgoščevanje primarnega in apnenega blata. Uspešna je tudi uporaba za zgoščevanje blata iz precejalnikov, aktivnega blata in anaerobno presnovanega blata. Primarno in apneno blato se brez dodatnega kemičnega kondicioniranja usedata hitro in dosegata visoke koncentracije talnega odjema. Vsebnost bioloških snovi, predvsem v aktivnem odpadnem blatu, vpliva na nižji izplen in nižje koncentracije trdnih snovi v talnem odvzemu.

### **2.1.1 Teoretične osnove gravitacijskega zgoščevanja**

Po tehnološki obdelavi odpadne vode v biološkem ali kemijskem reaktorju pride v procesu usedanja v naknadnih usedalnikih do kosmičenja delcev – tvorbe kosmov, če je le koncentracija delcev dovolj velika. V tem primeru se usedanje odvija drugače kot usedanje diskretnih delcev pri katerih zaradi nizke koncentracije snovi ne pride do njihovega medsebojnega vpliva in se zato usedajo samostojno, ne da bi vplivali drug na drugega. Pri koncentracijah blata večjih od 10 ml/l, pa kosmi že vplivajo drug na drugega, kar privede do kosmičenja in oviranega – diferenciranega usedanja. Do procesa zgoščevanja pa pride pri koncentracijah blata višjih od 480 ml/l. Ker so v naknadnih usedalnikih po biološki ali kemijski obdelavi vode tako diskretni delci kot tudi delci, ki tvorijo kosme, se proces usedanja in zgoščevanja odvija v 4-ih področjih tako kot kaže spodnja slika (Slika 1).

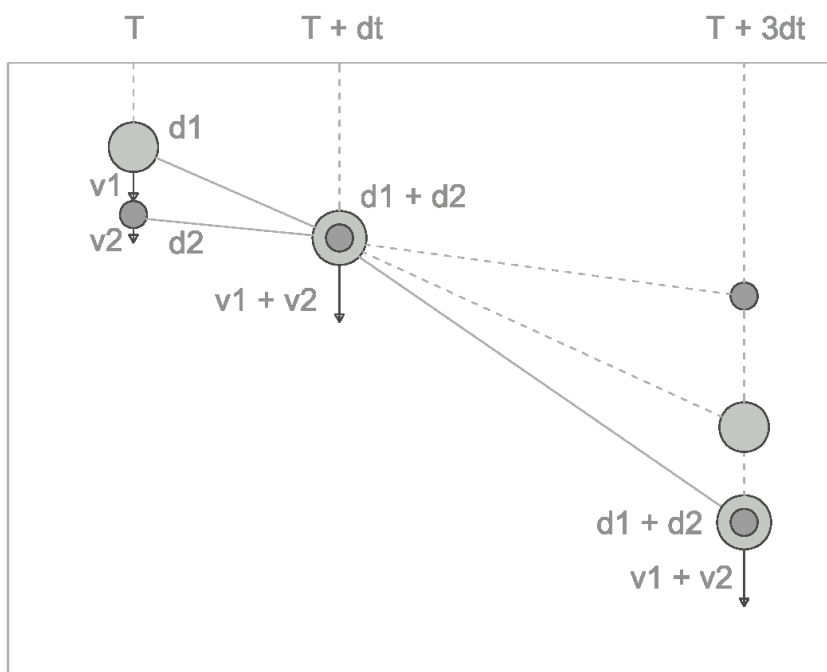




Slika 1: Potek usedanja gostih suspenzij in štiri področja:

- A – bistrenja: posamezni delci se usedajo s konstantno hitrostjo, ne da bi se med seboj ovirali
- B – kosmičenja: posamezni delci imajo različne velikosti in hitrosti, zato se združujejo
- C – plasti: koncentracija delcev postane tolikšna, da pride od oviranega usedanja in do združevanja v plasti, hitrosti se zato zmanjšajo, koncentracija blata je nad 480 ml/l
- D – zgoščevanja: prihaja do počasnega zgoščevanja plasti in večanja koncentracije trdnih snovi

Potek usedanja je odvisen od sposobnosti delcev, da se združujejo in od razlike v hitrostih, s katero se gibljejo, to je relativnega gradienta hitrosti. Proces kosmičenja oz. verjetnost trka med dvema količinama delcev  $N_1$  in  $N_2$  s premerom  $d_1$  in  $d_2$  je odvisna od viskoznosti tekočine, gostote delcev in od velikosti kosma. Večji delci, ki se usedajo hitreje kot manjši, manjše delce ujamejo in se z njimi združujejo v nove večje delce. Ti se usedajo še hitreje in znova združujejo z manjšimi delci, ki jih ujamejo sami ali z večjimi delci, ki ujamejo njih. Bistvo tega je, da se delca, ki se usedata skupaj usedeta hitreje kot bi se, če bi se usedala vsak posebej (Slika 2). To se lahko dogaja le ob zadostni koncentraciji delcev in s tem veliki verjetnosti trkov med njimi. Posledica opisanega dogajanja je splošno povečanje hitrosti usedanja delcev in s tem učinkovitosti procesa.

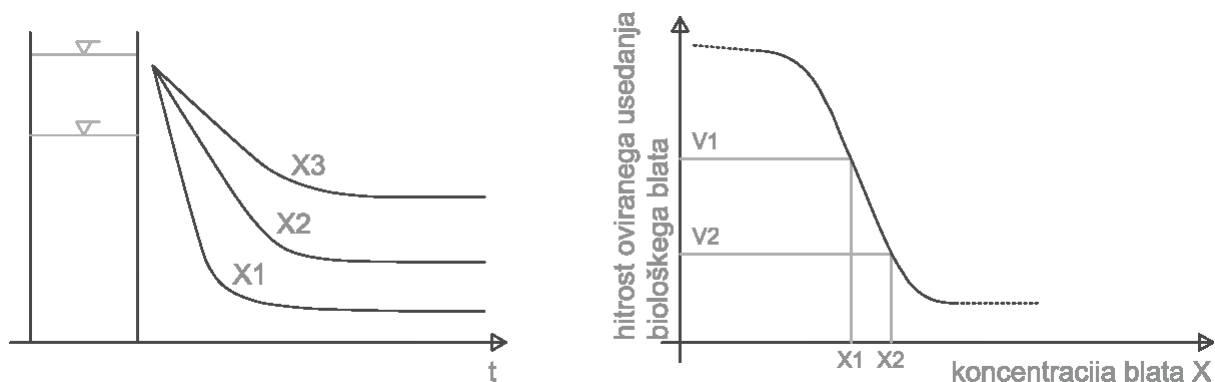


Slika 2: Kosmičenje delcev zaradi diferenciranega usedanja

Hitrost sedimentacije biološkega blata je odvisna predvsem od:

- njegove sposobnosti za gravitacijsko zgoščevanje, ki jo izražamo z volumskim indeksom biološkega blata  $IB_p$  [ml/g]
- od vsebnosti trdnih snovi v blatu  $X$  [kg SS/m<sup>3</sup>]
- od temperature vode in
- hidrodinamičnih lastnosti samega usedalnika

Določamo pa jo s poizkusi ali pa z uporabo v ta namen prirejenih empiričnih formul. Za določanje hitrosti sedimentacije s poizkusi uporabimo merske cilindre globine 1,5 do 2,0 m tako, da v odvisnosti od časa merimo hitrost zniževanja višine blata v menzuri, za različne koncentracije biološkega blata. Hitrost usedanja biološkega blata je po izteku prve faze usedanja pri določenem indeksu blata  $IB_p$  in temperaturi vode odvisna od koncentracije trdnih snovi  $X$  v njem (Slika 3).



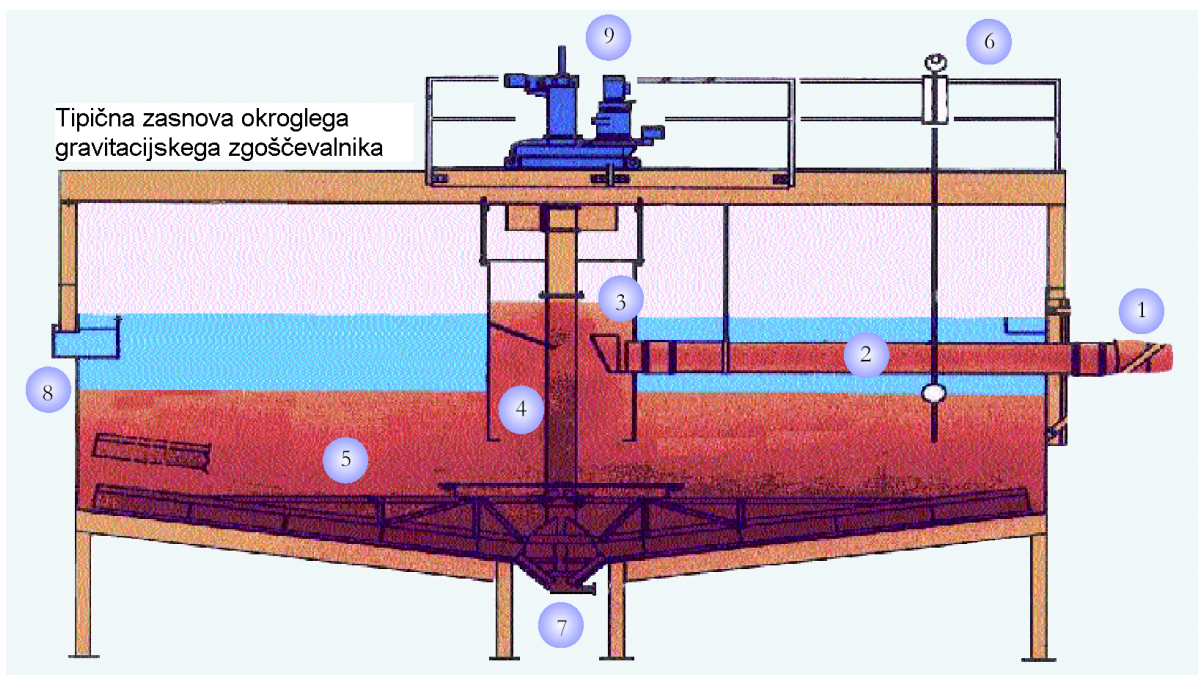
Slika 3: Potek usedanja v odvisnosti od koncentracije opazovanega biološkega blata

Po usedanju (cca. 2 uri) in pri koncentracijah blata večjih od  $VB_p = 480 \text{ ml/l}$  že pride do procesa zgoščevanja. Zgoščevanje spremeni strukturo kosmov, nastajajo tokovni kanali, vidni s prostim očesom, in nastopi sesedanje blata. Porna - nevezana voda se sunkovito iztiska iz blata. Poznani so različni pristopi in reševanja procesov zgoščevanja, ki so največkrat imenovane kar po posameznih avtorjih. Proces zgoščevanja v zgoščevalniku je podoben procesu usedanja in zgoščevanja v naknadnem usedalniku, le da so zadrževalni časi blata v naknadnem usedalniku bistveno krajši (od 2 do 5 ur) in odvzem blata iz usedalnika s črpanjem povratnega blata precej večji, kot pri zgoščevalnikih. Zaradi tega je tudi zgostitev blata v naknadnem usedalniku manjša.

### 2.1.2 Načrtovanje gravitacijskih zgoščevalnikov

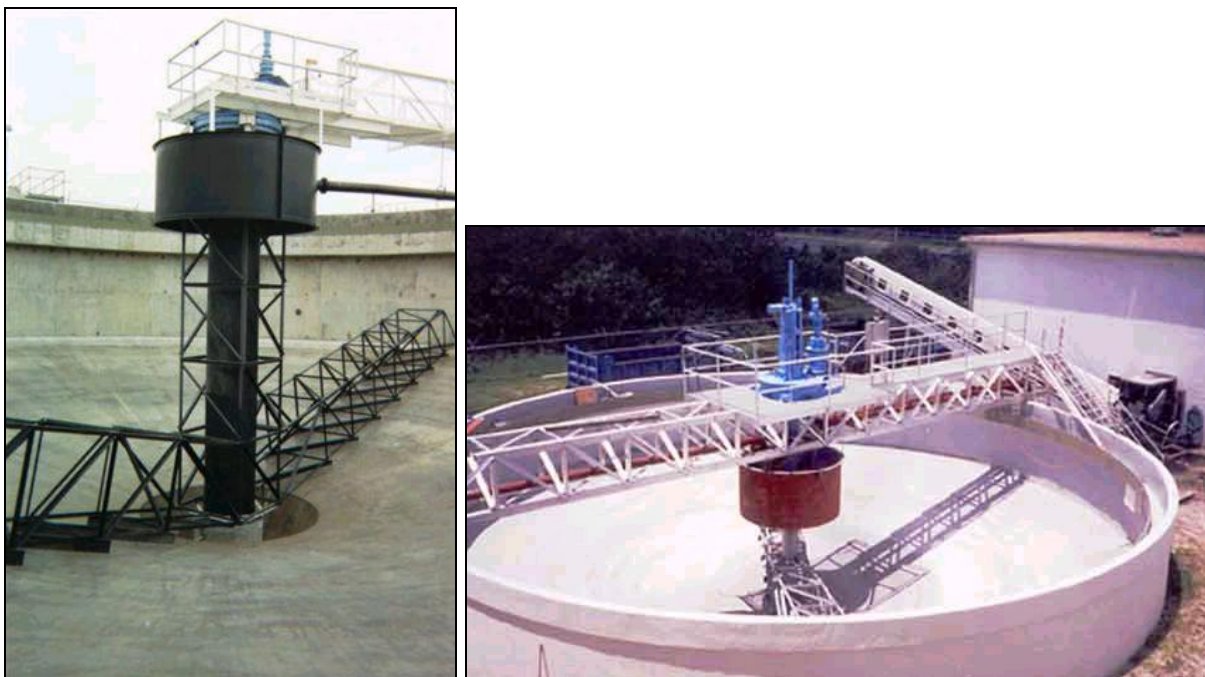
Najpogostejša oblika gravitacijskih zgoščevalnikov je okrogel rezervoar s premerom do cca. 24 m in s stransko globino 3-4 m. Ob morebitni uporabi rezervoarjev za zgoščevanje organskih blat z večjim premerom lahko zaradi anoksičnih in anaerobnih pogojev, ki nastanejo zaradi večjega zadrževalnega časa, pride do problemov s plinjenjem in flotacijo. Tipičen naklon dna gravitacijskih zgoščevalnikov je večji kot naklon v primarnem usedalniku in znaša med 1:6 in 1:4. Povečan naklon dna pogloblja odejo z visoko koncentracijo trdnih snovi na dnu proti središču, omogoča minimalne zadrževalne čase trdnih snovi in maksimira globino visoke koncentracije trdnih delcev tik nad sesalno cevjo ter zmanjšuje težave pri grabljenju oz. odstranjevanju blata (Vesilind, 2003). Specifična obremenitev gravitacijskih zgoščevalnikov je v primeru sekundarnega blata  $4-8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dan}$  in  $16-32 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dan}$  v primeru

primarnega blata. Če odpadno blato zgoščujemo v gravitacijskih zgoščevalnikih naj zadrževalni čas, zaradi zmanjševanja že omenjenih težav, ki nastanejo zaradi biološke aktivnosti, ne bi presegal 18 ur (Droste, 1997).



1 – Dotok kondicioniranega blata; 2 – Dotočna cev; 3 - Iztok blata iz dotočne cevi v zgoščevalnik; 4 – Tok usmerjen proti dnu; 5 – Flokule s trdnimi snovmi se usedajo proti dnu zgoščevalnika in ustvarjajo plast zgoščenega blata; 6 – Za določevanje nivoja blata se lahko uporablja merilec globine blata; 7 – Strgala narivajo blato proti centru odtočne cone; 8 – »Čista« voda iz zgoščevalnika odteka prek perifernih prelivov; 9 – Most in pogonski mehanizem

Slika 4: Shema tipičnega okroglega gravitacijskega zgoščevalnika



Slika: Primera tipičnih okroglih gravitacijskih zgoščevalnikov (praznih); (Vir: internet)

Glavni cilj pri načrtovanju gravitacijskih zgoščevalnikov je določitev potrebne površine zgoščevalnika pri kateri bo dosežena predpostavljena koncentracija trdnih snovi na odtoku. Minimalna zahtevana površina zgoščevalnika je funkcija sledečih procesnih spremenljivk:

- dotoka
- koncentracije trdnih snovi na dotoku
- mejnega masnega pretoka blata (solids flux)

Mejni masni pretok je definiran kot maksimalna stopnja dotoka trdnih snovi, pri katerem se trdne snovi še lahko prevajajo skozi zgoščevalnik ( $\text{kg/m}^2\text{h}$ ). Operater naprave lahko dokaj enostavno meri in nadzoruje dotok in koncentracijo trdnih snovi v dotoku, ne more pa meriti mejnega masnega pretoka blata. Zato je potrebno mejni masni pretok oceniti s pomočjo usedalnih testov na dejanskih vzorcih blata, ki ga nameravamo zgoščevati.

Pred uporabo koncepta mejnega masnega pretoka pri načrtovanju in obratovanju gravitacijskih zgoščevalnikov je potrebno razumeti koncept masnega pretoka. Ko govorimo o gravitacijskih zgoščevalnikih masni pretok pomeni maso trdnih snovi, ki se prenese skozi

enoto površine v določenem času ( $\text{kg/m}^2\text{h}$ ). Celoten masni pretok  $q_t$  je sestavljen iz seštevka masnih pretokov, ki nastaneta zaradi gravitacijskih sil  $q_g$  in adveksijskega gibanja  $q_u$ .

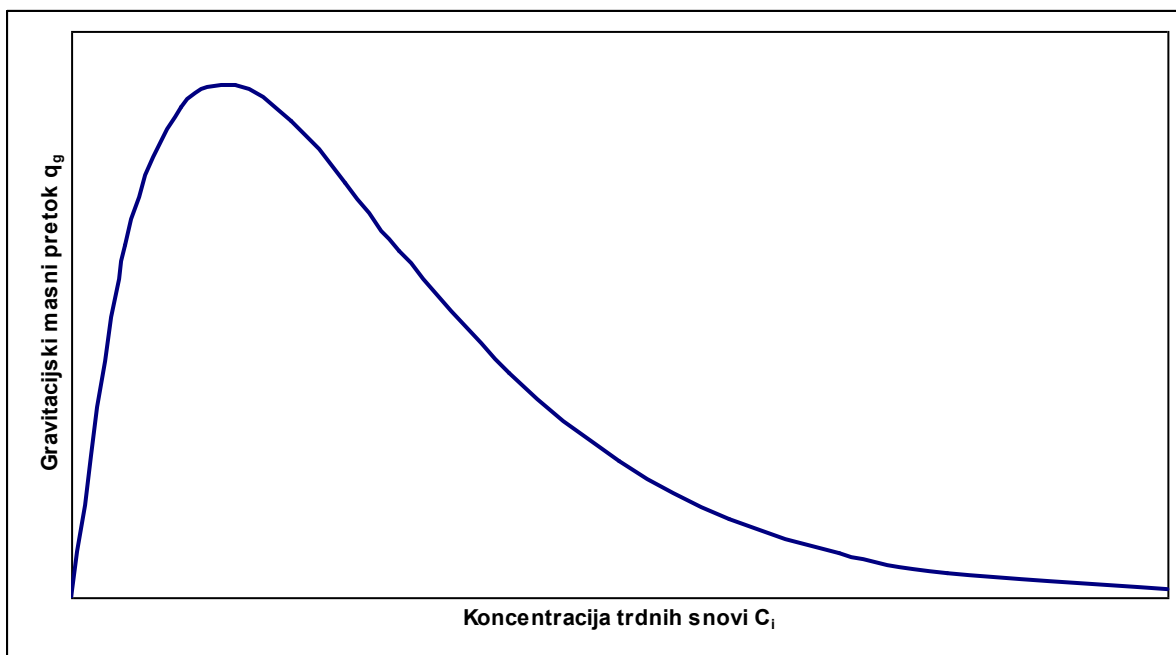
Masni pretok, ki ga povzročajo gravitacijske sile  $q_g$  lahko v katerem koli prerezu zgoščevalnika določimo s pomočjo sledeče enačbe:

$$q_g = C_i \cdot v_i$$

kjer je:

- $q_g$  - masni pretok zaradi gravitacijskih sil [ $\text{kg/m}^2\text{h}$ ]
- $C_i$  - koncentracija trdnih snovi v določenem prerezu zgoščevalnika [ $\text{mg/l}$ ]
- $v_i$  - hitrost usedanja pri koncentraciji  $C_i$  [ $\text{m/h}$ ]

Primer krivulje gravitacijskega masnega pretoka je prikazan na sliki 5. Krivulja gravitacijskega masnega pretoka je odvisna tako od koncentracije trdnih snovi kot tudi od hitrosti usedanja teh snovi pri tej koncentraciji. Pri nizkih koncentracijah (manj od 0,01%) je masni pretok trdnih snovi zaradi gravitacijske sile majhen, saj je takrat hitrost usedanja še neodvisna od koncentracije trdnih snovi. Če pa se koncentracija trdnih snovi poveča in hitrost usedanja ostane enaka, se bo tudi masni pretok povečal. Pri visokih koncentracijah trdnih snovi (nad 1%) pride do pojava oviranega usedanja in trdne snovi ustvarijo nekakšno odejo. Ko so tipične koncentracije trdnih snovi na dotoku večje od 1% (10.000 mg/l) je glavni mehanizem usedanja oz. odstranjevanja delcev prav t.i. ovirano usedanje.



Slika 5: Krivulja gravitacijskega masnega pretoka

Ob nastopu koncentracije trdnih snovi pri kateri postane ovirano usedanje glavni mehanizem odstranjevanja delcev se brez bistvenega povečanja koncentracije trdnih snovi prične povprečna hitrost usedanja delcev naglo zmanjševati. Rezultat tega zmanjšanja hitrosti usedanja delcev je zmanjšanje masnega pretoka. Skratka, kot je razvidno tudi iz slike 5, se ob povečevanju koncentracije trdnih snovi v blatu celotni masni pretok blata, ki ga povzročajo gravitacijske sile, najprej do neke koncentracije pri kateri doseže svoj maksimum (vrh krivulje na sliki) povečuje nato pa zaradi pojava oviranega usedanja zmanjšuje.

Za določitev gravitacijskega masnega pretoka  $q_g$  potrebujemo tudi podatke o hitrostih usedanja blata  $v_i$  pri posameznih koncentracijah trdnih delcev v blatu  $C_i$ . V primeru, da teh podatkov nimamo, jih lahko pridobimo s pomočjo sledeče empirične enačbe:

$$v_i = v_0 \cdot e^{-n_v \cdot C_i}$$

Manjkajoče vrednosti v zgornji enačbi  $v_0$  in  $n_v$  lahko na podlagi indeksa blata  $IB_p$  določimo z empiričnimi enačbami različnih avtorjev. Najnatančneje sta jih leta 1992 izpeljala Otterphol in Freund (Panjan, 2000):

$$v_0 = 17,4 \cdot e^{-0,0581B_p} + 3,931 \quad n_v = 0,9834 \cdot e^{0,00581B_p} + 1,043$$

Drugi del, ki sestavlja celotni masni pretok je masni pretok, ki ga predstavlja adveksijsko gibanje oz. talni odtok. Ta del celotnega masnega pretoka je v kateremkoli delu gravitacijskega zgoščevalnika kar linearna funkcija koncentracije trdnih snovi  $C_i$  in hitrosti talnega odtoka  $v_u$ . Ker je hitrost talnega odtoka konstantna je masni pretok zaradi talnega odtoka  $q_u$  linearna funkcija (premice) koncentracije trdnih snovi:

$$q_u = C_i \cdot v_u$$

kjer je:

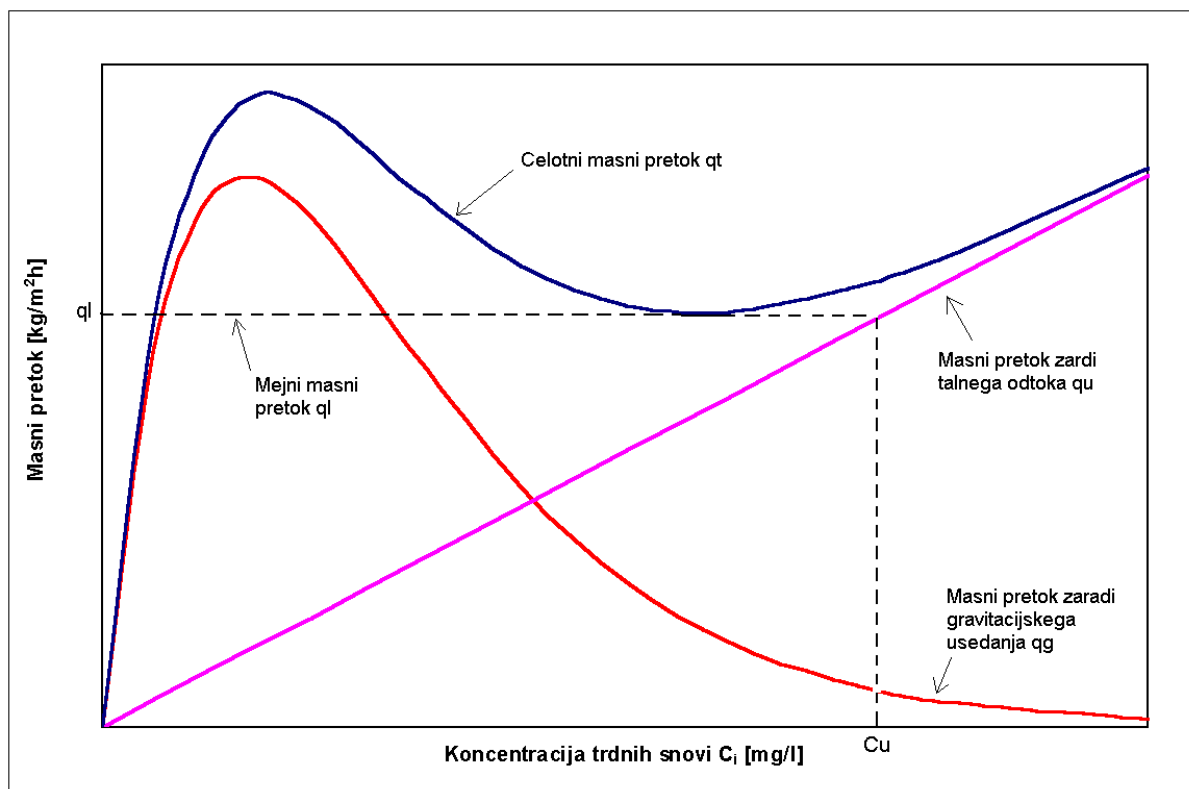
- $q_u$  - masni pretok zaradi talnega odtoka [ $\text{kg/m}^2\text{h}$ ]
- $C_i$  - koncentracija trdnih snovi v določenem prerezu zgoščevalnika [ $\text{mg/l}$ ]
- $v_u$  - hitrost talnega odtoka [ $\text{m/h}$ ]

Celotni masni pretok trdnih snovi  $q_t$  je tako seštevek gravitacijskega  $q_g$  in adveksijskega masnega pretoka  $q_u$ :

$$q_t = q_g + q_u = C_i \cdot (v_i + v_u)$$

Oblika krivulje celotnega masnega pretoka  $q_t$  je rezultat seštevka krivulje gravitacijskega masnega pretoka in premice adveksijskega masnega pretoka (Slika 6). Znotraj področja oviranega usedanja se nahaja minimalni oz. mejni masni pretok  $q_1$  do katerega lahko pride v gravitacijskem zgoščevalniku. Mejni masni pretok predstavlja maksimalno koncentracijo pri kateri delci še lahko prehajajo skozi gravitacijski zgoščevalnik. V primeru, da je stopnja obremenitve s trdnimi snovmi na dotoku v zgoščevalnik večja od mejnega masnega pretoka pride, na globini pri kateri se pojavi mejni masni pretok, do akumulacije trdnih snovi. V primeru, da je kapaciteta področja skladiščenja zgoščevalnika (globina), v katerem pride do tega pojava, premajhna bodo akumulirane snovi sčasoma prelile odtočni preliv in se tako vrnilo na začetek procesa čiščenja.





Slika 6: Primer krivulje masnega pretoka

Velikost tako celotnega kot tudi mejnega masnega pretoka lahko uravnavamo s pomočjo hitrosti talnega odtoka  $v_u$ . S povečanjem ali zmanjšanjem te hitrosti se posledično povečata ali zmanjšata tudi celotni in mejni masni pretok. Ker je hitrost talnega odtoka enaka količniku stopnje talnega prostorninskega toka (črpanja)  $Q_u$  in površine zgoščevalnika, se lahko celotni in mejni masni pretok preprosto nadzirata z uravnavanjem talnega odtoka oz. nastavitvami stopnje črpanja. S temi spremembami pa se seveda posledično spremeni tudi koncentracija trdnih snovi v zgoščenem blatu.

Mejni masni pretok se določi grafično na podlagi krivulje celotnega masnega pretoka in sicer tako, da narišemo vodoravno tangento, ki se krivulje celotnega masnega pretoka dotika v njeni najnižji točki na področju oviranega usedanja. Presečišče tako dobljene tangente in osi  $y$  predstavlja mejni masni pretok danega gravitacijskega zgoščevalnika. S pomočjo dobljene tangente lahko določimo tudi pripadajočo koncentracijo blata na talnem odtoku  $C_u$ . Določimo jo tako, da iz presečišča tangente in premice adveksijskega masnega pretoka potegnemo vertikalo do osi  $x$  na kateri potem lahko odčitamo omenjeno koncentracijo.

Zgoraj opisan pristop ocenjevanja koncentracije talnega odtoka je dopusten zato, ker je na dnu zgoščevalnika glavni mehanizem odstranjevanja delcev prav advekcijski masni pretok (delež gravitacijskega masnega pretoka na dnu zgoščevalnika je zanemarljiv). Za zvečanje ali zmanjšanje koncentracije trdnih snovi v talnem odtoku je potrebno spremeniti hitrost toka talnega odtoka  $v_u$ . Naprimer, če želimo večjo koncentracijo trdnih snovi v blatu odvzetem na talnem odtoku, moramo hitrost  $v_u$  zmanjšati. S to spremembo se poveča čas usedanja v gravitacijskem zgoščevalniku. Učinek povečanega časa usedanja je poleg zvišanja koncentracije trdnih snovi v blatu na talnem odtoku  $C_u$  tudi zmanjšanje mejnega masnega pretoka  $q_l$ .

Minimalna potrebna površina gravitacijskega zgoščevalnika, ki je potrebna za doseg določene koncentracije trdnih snovi v talno odvzetem blatu se lahko določi na podlagi masnega ravnotežja med trdnimi snovmi, ki vstopijo v zgoščevalnik in trdnimi snovmi, ki izstopijo iz zgoščevalnika z uporabo principa mejnega masnega pretoka  $q_l$ . Ta pristop je uporabljen v spodnji enačbi in sicer ob predpostavki, da vse trdne snovi, ki pridejo v zgoščevalnik le tega prek talnega odtoka tudi zapustijo. To pomeni, da se trdne snovi ne akumulirajo v zgoščevalniku in ne iztekajo iz njega prek prelivov za »čisto« vodo.

$$A_z = \frac{Q_0 \cdot C_0}{q_l}$$

kjer je:

- $A_z$  - minimalna potrebna površina zgoščevalnika [ $m^2$ ]
- $Q_0$  - stopnja dotoka v zgoščevalnik [ $m^3/h$ ]
- $C_0$  - koncentracija trdnih snovi v dotoku [ $kg/m^3$ ]
- $q_l$  - mejni masni pretok zgoščevalnika [ $kg/m^2h$ ]

Alternativna metoda določanja potrebne površine gravitacijskega zgoščevalnika je prav tako grafična metoda t.i. state-point metoda. Tako, kot pri prvi metodi, pri kateri se uporablja krivulja celotnega masnega pretoka, se tudi pri state-point metodi za določitev želene koncentracije trdnih snovi v blatu na talnem odtoku  $C_u$  uporablja ocena stopnje talnega prostorninskega toka  $Q_u$ . Bistvena prednost te metode pa je v tem, da v tem primeru za

določitev potrebne površine zgoščevalnika potrebujemo le podatek o gravitacijskem delu masnega pretoka  $q_g$ .

Pri state- point metodi mejni masni pretok  $q_l$  določimo na podlagi predhodno izbrane (željene) koncentracije trdnih snovi v blatu na talnem odtoku  $C_u$ . Nadaljni postopek je tak, da potegnemo tangento, ki se začne na x osi pri izbranem  $C_u$  in se dotika krivulje gravitacijskega masnega pretoka  $q_g$  ter konča ob presečišču z y osjo. Mejni masni pretok je enak vrednosti na presečišču tangente in y osi. State-point, to je točka po kateri se ta metoda imenuje, je točka v kateri se tangenta dotika krivulje gravitacijskega masnega pretoka. Izkaže se, da je naklon na ta način dobljene tangente ravno nasproten naklonu premice adveksijskega masnega toka, ki se uporablja pri prvi metodi. Zato je za oceno koncentracije  $C_u$  zadostno že poznavanje krivulje gravitacijskega masnega pretoka  $q_g$ , vrednosti mejnega masnega pretoka  $q_l$  in hitrosti talnega odtoka  $v_u$ . Po tej metodi določen mejni masni pretok pa lahko na enak način in po isti enačbi kot pri prvo opisani metodi uporabimo za izračun potrebne površine gravitacijskega zgoščevalnika  $A_z$ .

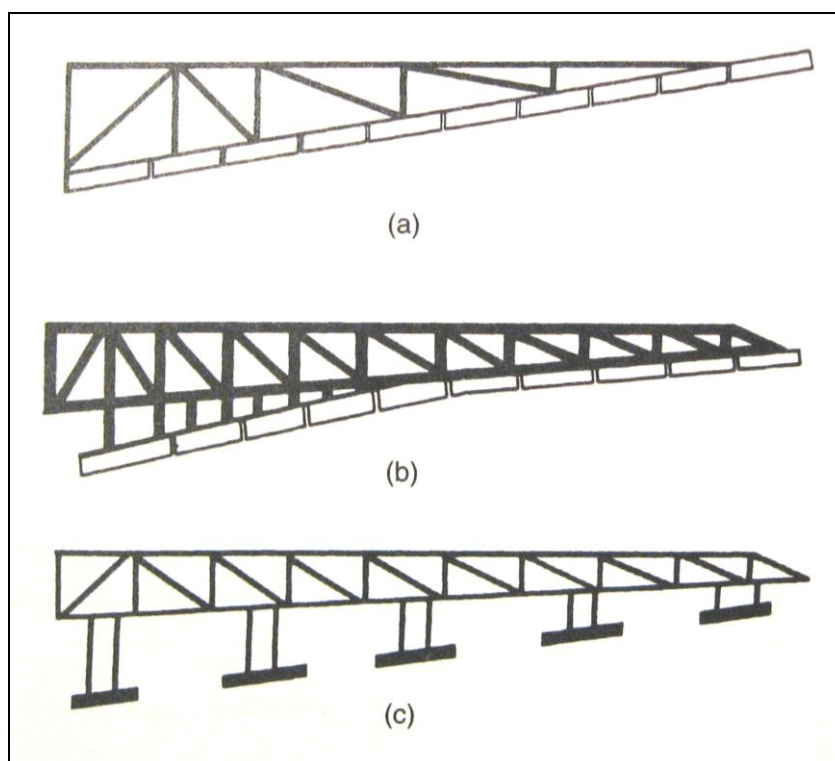
V primeru, da želimo določiti alternativno koncentracijo trdnih snovi v blatu na talnem odtoku  $C_u$ , lahko narišemo novo tangento proti osi y. Ko imamo enkrat površino zgoščevalnika fiksno določeno pa ocena nove koncentracije talnega odtoka  $C_u$  zahteva drugačen mejni masni pretok  $q_l$  in drugačno stopnjo talnega odtoka (črpanja)  $Q_u$ .

### 2.1.3 Tipi grabljic in strgal

Poznamo tri osnovne tipe konstrukcijskih elementov, ki kot del gravitacijskih zgoščevalnikov omogočajo povečanje vsebnosti trdnih delcev v odvečnem blatu. Ti elementi so:

- mehanizem pritrjen na most
- mehanizem s centralnim pogonom pritrjen na centralni steber
- mehanizem pritrjen na centralni steber in pogonom na robu rezervoarja (ta tip se ponavadi imenuje tudi vlečni zgoščevalec)

Glavna razlika v zasnovi in delovanju teh sistemov je v načinu pritrditve grabljic in zasnovi strgal (McFarland, 2001). Primeri različnih vrst grabljic, ki se navadno uporabljajo v gravitacijskih zgoščevalnikih so prikazani na spodnji sliki.



Slika: Nekatere vrste grabljic/strgal za gravitacijske zgoščevalnike; (Vir: McFarland, 2001):

- (a) običajne grabljice
- (b) grabljice za zgoščevalnike z nagibajočim dnom
- (c) grabljice za zgoščevanje blata z visoko vsebnostjo trdnih snovi

#### 2.1.4 Možne težave pri gravitacijskem zgoščevanju

Gravitacijsko zgoščevanje je praviloma učinkovit in cenovno ugoden proces. Vseeno pa uporaba teh sistemov zaradi zadrževalnega časa blata, ki je daljši od nekaj ur lahko povzroči obratovalne probleme. Najpogostejši razlogi za slabe rezultate in težave pri gravitacijskem zgoščevanju so sledeči (McFarland, 2001):

- mešanica dovedena v gravitacijski zgoščevalnik vsebuje več kot 0.5 % trdnih snovi (5000 mg/l)
- primarno blato je okuženo

- dotok odvečnega aktivnega blata je veliko večji od dotoka primarnega blata
- zgoščenega blata se ne odstranjuje nepretrgoma

Glavne težave, ki se pojavljajo v zvezi s tem pa so: neučinkovitost procesa usedanja, razvoj patogenih organizmov, previsok nivo zgoščenega blata, uhajanje blata skozi odtok za »čisto« vodo, pojav pretiranega penjenja in plavljenja itd.

## **2.2 Flotacijsko zgoščevanje (plavljenje)**

Flotacijsko zgoščevanje je alternativna metoda gravitacijskemu zgoščevanju (Droste, 1997). Kljub temu, da poznamo več možnih tipov flotacijskega zgoščevanja je daleč najbolj razširjena metoda flotacijskega zgoščevanja na napravah za čiščenje komunalnih odpadnih voda metoda flotacije z raztopljenim zrakom DAF (dissolved-air flotation) (McFarland, 2001). Zato bomo v sklopu naloge obravnavali le to metodo flotacijskega zgoščevanja.

Flotacijsko zgoščevanje z raztopljenim zrakom temelji na procesu ločevanja trdnih delcev in vode s pomočjo majhnih mehurčkov, ki jih navadno dovajamo v mešanico kot tekočino v kateri se nahaja raztopljen zrak. Zrak se namreč pred vstopom v zgoščevalnik pod visokim pritiskom raztopi v tekočini iz katere pa se ob vstopu v zgoščevalnik zaradi padca pritiska ponovno izloči v obliki majhnih mehurčkov. Mehurčki se primejo delcev in vzgon, ki ga novo nastale matrice sestavljene iz trdnega delca in zraka imajo, te matrice dviga na gladino, kjer se jih s posebnim mehanizmom odstranjuje/posnema. Ta metoda zgoščevanja, ki sicer izhaja iz papirne industrije se na področju čiščenja komunalnih voda navadno uporablja za zgoščevanje: odpadnega aktivnega blata, aerobno presnovanega blata ipd. Manj pa je primerna za zgoščevanje primarnega blata ali blata iz precejalnikov za katere je bolj ekonomično gravitacijsko zgoščevanje (Vesilind, 2003). Prednosti in slabosti DAF zgoščevanja v primerjavi s gravitacijskim zgoščevanjem so podane v spodnji preglednici.

Preglednica: Prednosti/slabosti DAF zgoščevanja; (Vir: McFarland 2001)

---

**Prednosti:**

1. V primerjavi s procesom usedanja se manjši/lažji delci odstranijo hitreje in bolj učinkovito
2. Zaradi bolj učinkovitega zajemanja delcev se lahko zgoščajo mešanice z večjo vsebnostjo trdnih delcev
3. Tovrstni zgoščevalniki so manjši in zato zavzamejo relativno manj prostora

**Slabosti:**

1. Potrebni so laboratorijski ali pilotski poizkusi za oceno specifičnih kriterijev (razmerje med dovedenim zrakom in vsebnostjo trdnih snovi, prostorninska obremenitev ipd.)
  2. Ti sistemi so mehansko relativno zahtevni
  3. Stroški obratovanja in vzdrževanja so relativno visoki.
- 

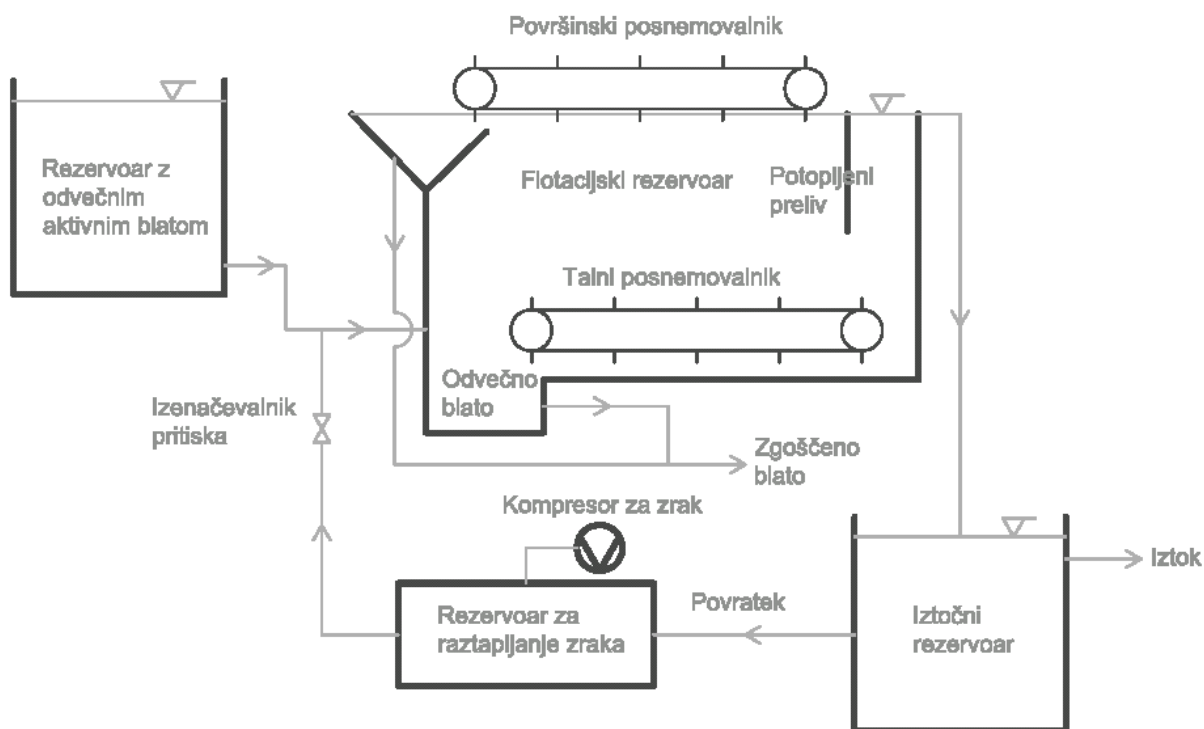
DAF zgoščevalniki so lahko zasnovani tako, da obratujejo z ali brez dodajanja polimerov. Namen dodajanja polimerov (t.i. kondicioniranja) je vzpodbujanje združevanja delcev - kosmičenja kar privede do bolj učinkovitega zajemanja zračnih mehurčkov in s tem boljše učinkovitosti ločevanja delcev in vode. Tipično povečanje učinka flotacijskega zgoščevanja zaradi dodajanja polimerov je od 1.5 do 2.5 - kratno (McFarland, 2001).

### **2.2.1 Princip delovanja in vidiki načrtovanja DAF zgoščevalnikov**

Pri procesu plavljenja veljajo iste zakonitosti in enake enačbe kot pri procesu usedanja, s to razliko, da je smer izločanja nasprotna in da namesto o hitrosti usedanja govorimo o dvižni hitrosti. S plavljenjem izločamo trdne snovi in tekočine, ki imajo manjšo gostoto od medija (vode) v katerem se nahajajo (Panjan, 2000).

Glavna dela DAF zgoščevalnikov sta sistem za raztapljanje zraka in flotacijski rezervoar v katerem se trdni delci izločajo iz tekočine. DAF zgoščevalni bazeni so lahko okrogli ali pravokotni in so opremljeni tako s površinskim kot tudi talnim sistemom za odvzem blata. S

površinskim posnemovalnikom se odstranjuje plavajoče blato in vzdržuje konstantno debelino plavajoče plasti. S talnim mehanizmom pa se odstranjuje težje neplovne snovi, ki se pod silo lastne teže usedejo na dno zgoščevalnika.



Slika 7: Shema DAF zgoščevalnika

Idealno je, da se flotacijski zgoščevalnik z raztopljenim zrakom načrtuje s pomočjo pilotne naprave na kateri se testira zgoščevanje enakega vzorca blata kot se bo zgoščeval na dejanskem zgoščevalniku. Enako velja tudi za velikost mehurčkov, pritisk pod katerim se dovajajo v sistem in razmerje  $A/S$  (zrak/trdne snovi), saj so to bistveni elementi iz vidika učinka flotacije.

DAF zgoščevalniki so dimenzionirani za hidravlične obremenitve od 30 do 120  $m^3/m^2/dan$ . Hidravlična obremenitev se nanaša na neto razpoložljivo površino za plavljenje. Maksimalna priporočena hidravlična obremenitev 120  $m^3/m^2/dan$  se nanaša na flotacijsko zgoščevanje brez kondicioniranja s kemikalijami. V primeru hidravličnih obremenitev večjih od 5  $m^3/m^2/h$  se v flotatorju lahko pojavi dodatna turbulenca, ki ovira nastajanje stabilne plavajoče plasti in zmanjša možno koncentracijo plavajočih snovi. Če želimo doseči večje urne obremenitve in

ob tem ohraniti zadovoljiv učinek plavljenja je dodajanje polimerov nujno (Vesilind, 2003). V splošnem pa velja, da manjša kot je izbrana hidravlična obremenitev večji bo učinek zajema trdnih snovi. Učinek zajema trdnih snovi je nekje od 70 do 98% in je seveda precej odvisen tudi od tega ali se poslužujemo kondicioniranja ali ne. Ko poznamo/določimo hidravlično obremenitev in dotok trdnih snovi lahko določimo minimalno efektivno površino flotacijskega zgoščevalnika (McFarland, 2001):

$$\text{Min. površina [m}^2\text{]} = \text{dotok trdnih snovi [m}^3\text{/dan]} / \text{hidravlična obremenitev [m}^3\text{/m}^2\text{/dan]}$$

Stopnja obremenitve DAF zgoščevalnikov s trdnimi snovmi je ponavadi podana kot obremenitev z določeno težo trdnih snovi na enoto efektivne površine flotatorja v eni uri. Kot že rečeno brez dodatnega kondicioniranja s kemikalijami ta stopnja znaša od 2 do 5  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ . Ob tem nastane plavajoča plast s 3 do 5 % koncentracijo trdnih snovi. V primeru kondicioniranja se lahko stopnja snovne obremenitve poveča za 50 do 100 %, ob čimer se koncentracija trdnih snovi v plavajoči plasti poveča za od 0,5 do 1 % (Vesilind, 2003).

Razmerje med vsebnostjo dovedenega zraka in trdnih snovi (A/S) je najpomembnejši faktor od katerega je odvisen učinek DAF zgoščevalnika. To razmerje odraža razmerje med težo zraka, ki je potrebno za flotacijo določene teže trdnih snovi in se giblje približno od 0,02:1 do 0,04:1 (Droste, 1997). Pri sistemih pri katerih se zrak dovaja v celotno količino dotoka so razmerja med spremenljivkami zapisana v obliki sledeče enačbe (McFarland, 2001):

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3s_a (f \cdot P - 1)}{S_a}$$

kjer je:

A/S - razmerje med dovedenim zrakom in trdnimi snovmi [ml/mg]

$s_a$  - nasičenost zraka v vodi pri normalnem zračnem tlaku in določeni temperaturi [ml/l]

f - delež raztopljenega zraka v vodi pri določenem pritisku P, ponavadi  $f = 0.5$

P - pritisk [bar]

$S_a$  - koncentracija trdnih snovi na dotoku [mg/l]

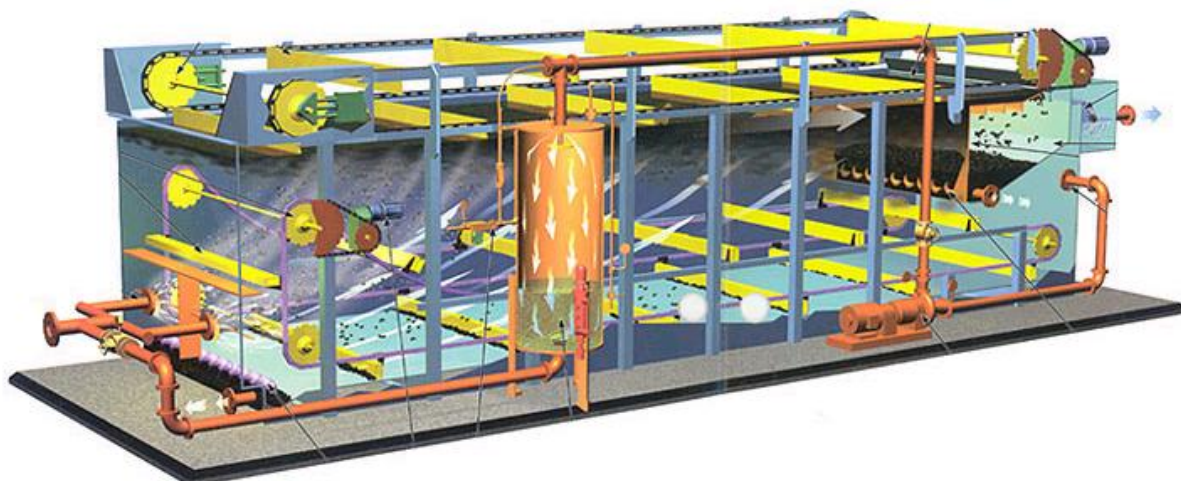


Sistem je potrebno načrtovati tako, da se zrak ne dovaja direktno v dotok. Strižne sile, ki pri tem nastanejo so namreč lahko tako velike, da povzročijo razpad flokul blata. Za optimalno plavljenje je potrebno proizvesti čim manjši premer mehurčkov – manjši od 100 do 120  $\mu m$ . Tipična velikost mehurčkov je med 60 in 80  $\mu m$ . Prednosti manjših mehurčkov je več (Droste, 1997):

- večji mehurčki se dvigajo hitreje in povečujejo strižne sile na flokule
- kontaktni čas in s tem možnost združitve mehurčka ter trdnega delca se z zmanjšanjem hitrosti dviganja mehurčka poveča
- manjši mehurčki so bolj dovzetni za združevanje s flokulami
- ker so mehurčki manjši jih je tudi več in s tem več možnosti za kontakt s flokulami
- adhezijske sile med mehurčkom in trdnim delcem so v primeru manjšega mehurčka večje

Ko se plinski mehurčki sprostijo iz nasičene tekočine, kot v primeru DAF sistemov, zaradi majhnosti mehurčkov le teh s prostim očesom ne razločimo, pojavi se le mlečno bel videz tekočine.

Flotacijski zgoščevalniki z raztopljenim zrakom so opremljeni s potopljenim prelivom in z preplavnim jezom. »Očiščena« voda teče pod potopljenim končnim prelivom (pravokotni zgoščevalnik – spodnja slika) ali potopljenim perifernim prelivom (okrogel zgoščevalnik) in se prek jezov preliva v iztočni kanal. Jez nadzira nivo tekočine v rezervoarju glede na količino naplavljenega blata in pomaga uravnati kapaciteto in učinkovitost zgoščevalnika (Vesilind, 2003).



Slika: Slika in tipičen prerez pravokotnega DAF zgoščevalnika (Vir: [www.sepa.com.au](http://www.sepa.com.au))

## 2.3 Centrifugalno zgoščevanje

Pri procesu centrifugalnega zgoščevanja delno ločitev trdnih snovi in vode dosežemo z uporabo centrifugalne sile. Prednost zgoščevalnikov, ki delujejo na osnovi centrifugiranja je visoka stopnja zgoščevanja, vendar pa je to zelo mehaniziran postopek, ki v mnogih primerih zahteva skrbno upravljanje. Seznam nekaterih prednosti in slabosti centrifugalnih zgoščevalnikov so zajeti v naslednji preglednici.

Preglednica: Prednosti/slabosti centrifugalnih zgoščevalnikov; (Vir: McFarland 2001)

---

**Prednosti:**

1. Centrifugalni zgoščevalniki lahko blato obdelajo do različnih stopenj zgoščenosti
2. Zgoščujejo lahko tudi blato, ki ga konvencionalni zgoščevalniki ne morejo
3. Zasedejo relativno malo prostora

**Slabosti:**

1. Relativno visoki stroški obratovanja in vzdrževanja
  2. Njihovo obratovanje zahteva prisotnost izkušenega operaterja
- 

Centrifugiranje je prilagodljiv proces in ga lahko uporabljamo tako za zgoščevanje kot tudi za dehidracijo blata zato je centrifugiranje zajeto tudi v poglavju v katerem obravnavam fizikalne postopke dehidracije blata. V praksi se centrifuge v večji meri uporabljajo za dehidracijo blata (Vesilind, 2003).

### 2.3.1 Tipi centrifug za zgoščevanje blata

Poznamo tri osnovne tipe centrifug, ki so komercialno na voljo (McFarland, 2001):

- Centrifuga s koničastim cilindrom (Solid-bowl-decanter)
- Centrifuga z diskastim separatorjem (Disk-nozzle)
- Centrifuga v obliki posode (Basket-type)

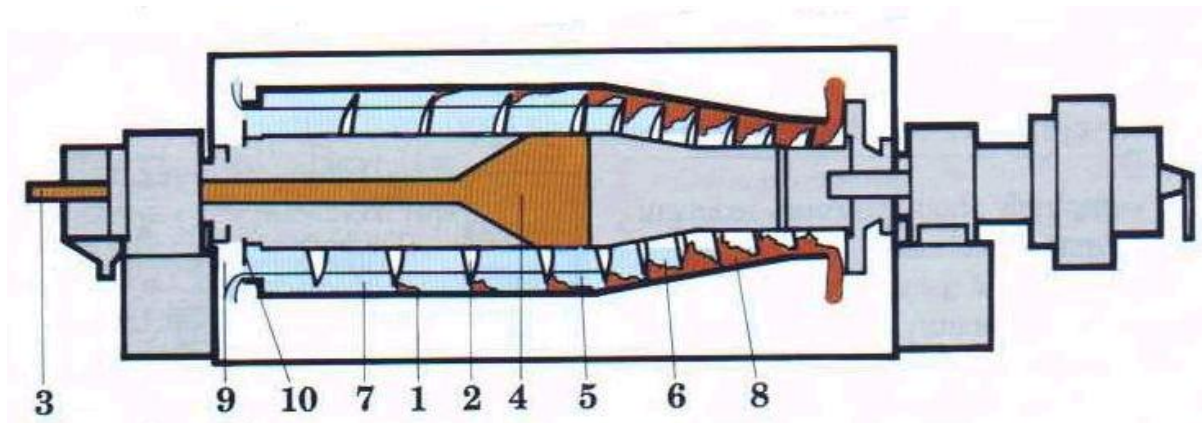
Bistvena razlika med naštetimi tipi centrifug je v načinu zbiranja in odstranjevanja zgoščenega blata ter v njihovi velikosti.

**(a) Centrifuga s koničastim cilindrom:**

Centrifuga s koničastim cilindrom je sestavljena iz koničastega cilindra, v katerem je spiralno oblikovan polž. Vtok blata se nahaja približno na sredini centrifuge. Blato se zaradi centrifugalne sile koncentrira na steni cilindra, od koder se nato ob steni cilindra in s pomočjo polža transportira proti koničastemu predelu, kjer se odvija neprekinjen izpust zgoščenega blata. Odvečna voda, ki se praviloma vrača nazaj na začetek čiščenja pa praviloma odteka na nasprotnem koncu centrifuge.



Slika: Primer centrifuge s koničastim cilindrom; (Vir: proizvajalec)



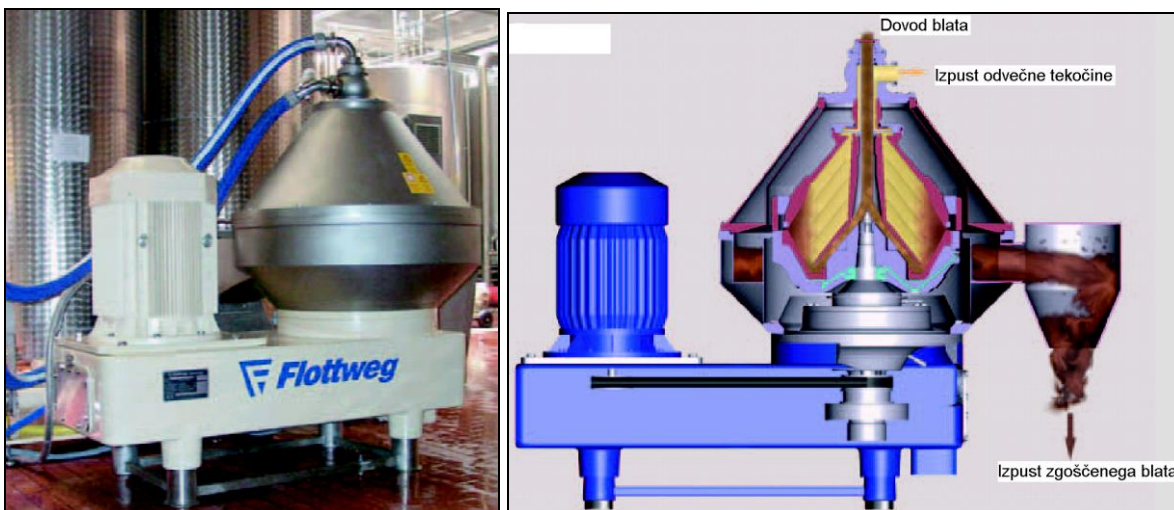
Slika: Shema centrifuge s koničastim cilindrom; (Vir: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)):

- (1) posoda v obliki koničastega cilindra; (2) polž; (3) dovod blata; (4) distributor blata; (5) prostor v obliki obroča med posodo in polžem; (6) usedlo blato; (7) nivo tekočine; (8) območje izsuševanja; (9) odtok odvečne tekočine; (10) nastavljiva odprtina

### **(b) Centrifuga z diskastim separatorjem**

Pri tej vrsti centrifug se blato dovaja z vrha enote in preko dovodne cevi v središče rotorja. Pogonska os pospešuje rotor in s tem porazdeljuje ter polni notranjost rotorja z dovedenim blatom. Težji delci se zaradi vedno večje centrifugalne sile usedajo in blato teče v consko oblikovano in diskasto skladišče. Odvečna tekočina pa teče skozi to skladišče v odtočno

komoro in naprej v odtok. Tudi v tem primeru se ta odvečna voda praviloma vrača nazaj v proces čiščenja.



Slika: Slika in skica centrifuge z diskastim separatorjem; (Vir: proizvajalec)

### (c) Centrifuga v obliki posode:

Ta tip centrifuge deluje pri relativno nizkih centrifugalnih silah in ima diskontinuuirni način odvzema zgoščenega blata in odvečne vode. V centrifugo se blato dovaja na dnu posode. Trdne snovi se izločajo iz krožeče tekočine in oblikujejo plast zgoščenih trdnih snovi. Medtem ko odvečna tekočina odteka prek ustnika na vrhu se plast zgoščenega blata kopiči na stenah posode. Ko zgoščena plast napolni posodo se dotok blata ustavi, hitrost vrtenja posode se zmanjša in zgoščeno blato pade skozi odprtino na dnu posode.



Slika: Slika centrifuge v obliki posode; (Vir: proizvajalec)

Na učinkovitost zgoščevanja s centrifugami vpliva več spremenljivk (McFarland, 2001). Splošne procesne spremenljivke, ki vplivajo na učinkovitost vseh treh vrst centrifug so sledeče:

- stopnja dotoka snovi
- značilnosti blata
- morebitno dodajanje kemikalij
- temperatura

Kritične spremenljivke, ki pa se nanašajo na posamezen tip centrifuge so zajete v spodnji preglednici.

Preglednica: Sistemske spremenljivke, ki vplivajo na učinkovitost posameznega modela centrifuge; (Vir: Vesilind, 2003)

<b>Centrifuga s koničastim cilindrom</b>	<b>Centrifuga v obliki posode</b>	<b>Centrifuga z diskastim separatorjem</b>
hitrost vrtenja cilindra prostornina cilindra hitrost vrtenja polža	hitrost vrtenja posode trajanje posameznega cikla stopnja odstranitve blata skozi dno čas prekinitve procesa zaradi praznjenja posode	hitrost vrtenja rotorja trajanje posameznega cikla razmak med diski oblika odprtine za odvzem zgoščenega blata

V primeru povečanja obremenitve z blatom se ne glede na tip centrifuge zmanjša tako zadrževalni čas kot tudi stopnja zgoščenosti blata. Tipičen dotok blata znaša od 4 do 14  $m^3 / dan \cdot kW$ . Za izboljšano zajemanje blata med procesom centrifugiranja se praviloma uporabljajo polimeri, ki pripomorejo predvsem k učinkovitejšemu zajemanju manjših delcev.

## **2.4 Zgoščevanje z gravitacijskimi pasovi / tračni zgoščevalniki**

Zgoščevanje z gravitacijskimi pasovi oz. tračnimi zgoščevalniki je še ena izmed vrste metod ločevanja trdnih snovi in tekočine s katerim lahko zgoščujemo tudi odvečno blato iz KČN. Proces temelji na koagulaciji in flokulaciji trdnih snovi v blatenici in pronicanju proste vode iz nje skozi premikajoč se trak iz mrežaste tkanine.

Zgoščevalnik z gravitacijskimi trakovi je naprava za mehansko filtracijo s katero ločujemo blato in tekočino. Z zgoščevalniki te vrste lahko zgoščujemo snov z začetno koncentracijo najmanj 0.4 % in jo, z dodajanjem polimerov v količini 1.5 do 5 g/kg suhe snovi, zgostimo do koncentracij od 4 do 8 %. Pri tem načinu zgoščevanja lahko dosežemo 95 % odstranitve trdnih snovi iz tekočine. Metoda je primerna za zgoščevanje vseh vrst blata, vendar pa je dodajanje polimerov zaradi relativno prepustnih gravitacijskih pasov nujno. V primeru, da polimerov ne bi dodajali bi se pojavile velike izgube blata, ki bi ušlo skozi prepustne gravitacijske pasove (Vesilind, 2003).

### **2.4.1 Princip delovanja tračnih zgoščevalnikov**

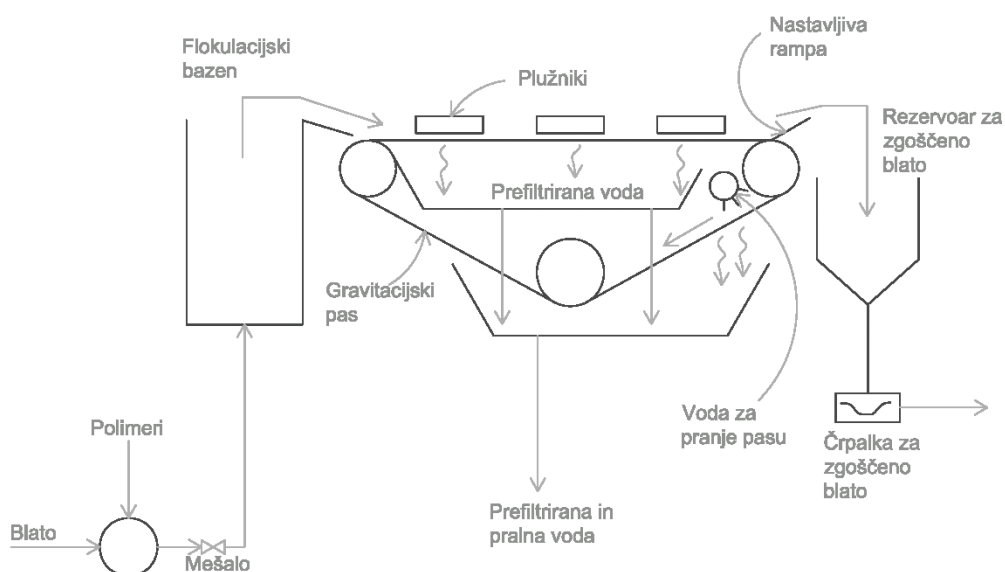
Kot že rečeno je učinek zgoščevalnikov z gravitacijskimi pasovi zelo odvisen od dodajanja koagulantov – polimerov, ki pospešujejo združevanje trdnih snovi v kosme. Proces takšnega zgoščevanja bo brez dodajanja primerne količine in vrste koagulantov neuspešen. Vrsta in količina dodanih snovi je predvsem odvisna od vrste in značilnosti blata.

Pri večini sistemov se polimeri dodajajo blatu direktno v dovodno cev. Mešanica blata in dodanih polimerov, ki se v cevi zmešata se transportira v flokulacijski bazen, kjer poteka kosmičenje blata. Od tu pa se blato prek rahlo nagnjene dovodne rampe z rebri in pregradami enakomerno dovaja na enakomerno se premikajoč gravitacijski pas (Slika 8). Medtem ko se blato ujame na pasu oziroma traku, prosta voda pronica skozenj. Približno 80 % celotne količine vode, ki se je odstrani, steče skozi trak že v prvem metru. V nadaljevanju blato hitro zapolni luknjice v pasu in preprečuje prosti vodi nadaljnje pronicanje. Zato se večina

proizvajalcev tovrstnih zgoščevalnikov poslužuje raznih krilc, plužnikov ipd., ki blato oblikujejo v gredice oz. ga premikajo tako, da je omogočeno pronicanje vode skozi čiste predele traku. Na koncu traku se nahaja nastavljiva rampa ali jez, ki ustavi blato in povzroči njegovo kopičenje ter nežno gnetenje. S tem dosežemo večji zadrževalni čas blata na poroznem pasu in dodatno pronicanje vode skozenj. Presežna količina nakopičenega in zgoščenega blata se prek rampe oz. jezua nariva v zbirni lijak, iz katerega se črpa naprej na stabilizacijo ali končno uporabo. Blato, ki se prilepi na trak in ga rampa ne zadrži se postrga iz njega s pomočjo vzmetenega strgala. Trak se nato iz spodnje strani opere z visokotlačnim vodnim curkom. S tem odstranimo odvečno blato, ki je zamašilo pore pasu. Tako je trak pripravljen na sprejem svežega blata.



Slika: Primer tračnega zgoščevalnika; (Vir: internet)



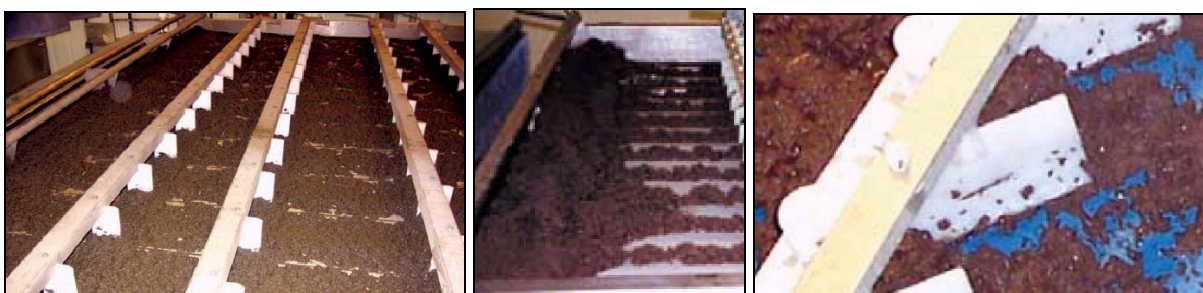
Slika 8: Shema tračnega zgoščevalnika



Voda, ki se precedi skozi trak in voda, ki je bila uporabljena za pranje traku se vračata na začetek čiščenja. Koncentracija trdnih snovi v taki vodi je praviloma nižja od 400 mg/l.

## 2.4.2 Načrtovanje tračnih zgoščevalnikov

Zgoščevalniki z gravitacijskimi pasovi so se izkazali kot učinkoviti za zgoščevanje različnih vrst odvečnih blat. Izkušnje z njimi so pokazale, da je ta vrsta zgoščevanja bolj imuna na morebitne obratovalne probleme kot ostali načini zgoščevanja. Če želimo zgoščevati blato, ki je sicer težavno za zgoščevanje, ga bomo s to metodo ob primernem dodajanju polimerov in hidravlični obremenitvi ter obremenitvi s trdnimi snovmi zgoščevali brez večjih težav. S temi relativno majhnimi spremembami bomo tudi v primeru blata, ki je manj primerno za zgoščevanje dosegali visoke koncentracije in stopnje zajema blata.



(a)

(b)

(c)

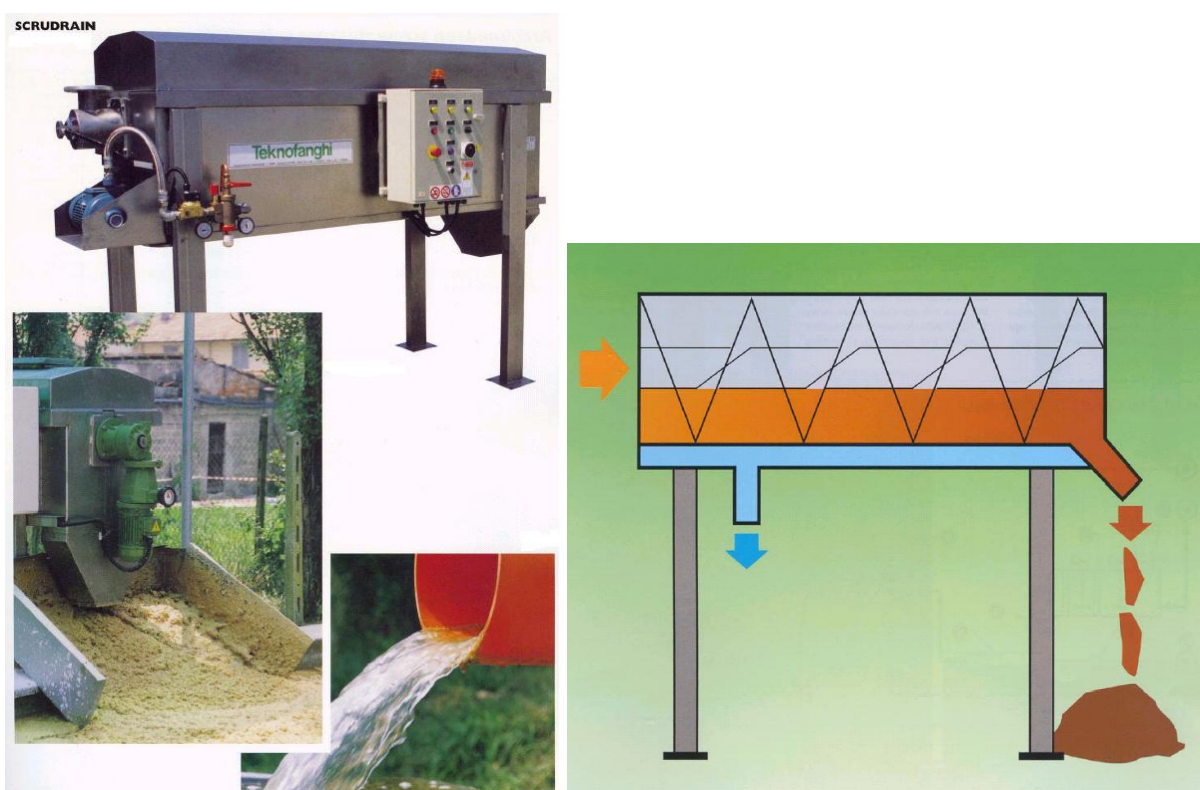
Slika: Deli tračnega zgoščevalnika (a) Premikanje blata skozi zgoščevalnik; (b) Zgoščeno blato pred rampo na koncu zgoščevalnika; (c) Nastavljivi plužniki; (Vir: razni proizvajalci)

Pilotna testiranja teh naprav se primarno opravljajo predvsem kot primerjava med različnimi izvedbami različnih ponudnikov teh naprav. Sicer pa pilotna testiranja zaradi dobre prilagodljivosti in učinkovitosti tovrstnih zgoščevalnikov za večino odvečnih blat niso potrebna. Testiranje je potrebno v primeru posebnih zahtev zgoščevanja ter v primeru, ko je potrebno preveriti fizikalne zmožljivosti in rezultate za nov tip naprave (Vesilind, 2003).

Tako kot pri ostalih metodah zgoščevanja odvečnega blata je učinkovitost zgoščevanja odvisna od značilnosti oz. vrste blata, ki ga zgoščujemo. Drugi dejavniki, ki so pomembni za učinek zgoščevanja pa so še kondicioniranje s polimeri, stopnja dovajanja blata in napetost ter hitrost t.i. gravitacijskega pasu (McFarland, 2001).

## 2.5 Zgoščevaje z rotacijskimi bobni

Princip delovanja zgoščevalnikov z rotacijskimi bobni oz. rešeti je enak kot pri zgoščevalnikih z gravitacijskimi pasovi. Pri obeh napravah prosta voda pronica skozi premikajoč se porozen medij medtem ko se flokule blata ujamejo na njem (Vesilind, 2003). Zgoščevalnik z rotacijskim bobnom je sestavljen iz rotacijskega rešeta v obliki cilindra/bobna, skozi katerega se odceja voda, medtem ko se blato s pomočjo integriranega vijaka premika skozenj proti izpustu. Boben se lahko vrti z enakomerno ali s spremenljivo hitrostjo.



Slika: Primer in shema delovanja manjšega zgoščevalnika v obliki rotacijskega bobna; (Vir:

<http://www.teknofanghi.it>)

Zgoščevalniki z rotacijskimi bobni se za zgoščevanje odvečnega blata uporabljajo predvsem na manjših in srednje velikih napravah. Največje naprave te vrste imajo kapaciteto prek 100 m<sup>3</sup>/h. Njihov učinek pa je zelo odvisen od značilnosti blata, ki ga z njimi zgoščujemo. Tako kot v primeru uporabe DAF zgoščevalnikov, zgoščevanja s centrifugami in zgoščevalnikih z gravitacijskimi pasovi je tudi v tem primeru za uspešno zgoščevanje kondicioniranje blata bolj ali manj nujno potrebno. Z dodajanjem polimerov se v veliki meri izognemo morebitnim težavam zaradi občutljivosti flokul na strižne sile. Poleg tega s kondicioniranjem pospešimo tudi kosmičenje in povečamo učinek ločevanja tekočine in blata. Na ta način lahko dosežemo koncentracijo zgoščenega blata od 3 do 4 %. Potrebna količina dodajanja polimerov se določi z laboratorijskimi testi na vzorcu blata, ki ga bomo dejansko zgoščevali ali tekom delovanja naprave.

Standarden potek zgoščevanja z rotacijskimi bobni je sledeč. Polimeri ali apno se primeša dovodnemu blatu v kondicionirnem bobnu. Kondicionirano blato se od tam transportira na rotacijsko rešeto, kjer se tekočina in flokule blata ločita. Medtem, ko se zgoščeno blato premika proti koncu bobna, kjer se odstrani, odvečna voda pronica skozi rešeto.

Glavne prednosti zgoščevalnikov z rotacijskimi bobni so: majhna potreba po vzdrževanju, nizka poraba energije ter majhna potreba po prostoru (McFarland, 2001). Slabost pa je relativno velika poraba sredstev za kondicioniranje.

## 2.6 Primerjava najpogostejših metod zgoščevanja blata

Primerjava med postopki oz. napravami za zgoščevanje blata je, za razliko od primerjave med napravami za dehidracijo, narejena na podlagi teoretično določenih vhodnih podatkov. Podatki so določeni teoretično predvsem zato, ker vseh potrebnih podatkov iz prakse ni mogoče dobiti. KČN namreč ne izvajajo testov hitrosti usedanja odvečnega blata, katerih rezultati so potrebni za dimenzioniranje gravitacijskih zgoščevalnikov. Zato sem jih določil s pomočjo empiričnih enačb navedenih v predhodnih poglavjih.

Predpostavimo, da so se na KČN z zmogljivostjo čiščenja odpadne vode za 200.000 PE (približno reda velikosti CČN Domžale – Kamnik) odločili, da bodo zaradi izboljšanja programa ravnanja z odvečnim blatom instalirali enega izmed možnih sistemov zgoščevanja blata. Ob maksimalni zmogljivosti takšne naprave znaša teoretični proizvod suhe snovi blata cca. 14.000 kg/dan oz. 583 kg/h (ob predpostavki, da je dotok suspendiranih snovi  $PE_{SS70}=70g/preb \cdot dan$ ). Ta suha snov pride v zgoščevalnik v obliki blata z 0,5 % koncentracijo suhe snovi. To pomeni, da je povprečen volumen blata, ki ga je potrebno zgostiti 2800 m<sup>3</sup>/dan oz. 117 m<sup>3</sup>/h. Za zmanjšanje skupnih stroškov je potrebno to koncentracijo pred vstopom v gnilišča zvišati najmanj na 4 %, kar pomeni vsaj 8-kratno zmanjšanje volumna odvečnega blata.

Na podlagi zgornjih podatkov so v nadaljevanju izbrane in dimenzionirane primerjalne naprave, ki predstavljajo najpogostejše metode zgoščevanja. Te metode so: gravitacijsko zgoščevanje, flotacijsko zgoščevanje, zgoščevanje s centrifugami, zgoščevanje z gravitacijskimi trakovi in zgoščevanje z rotacijskimi bobni. Izbrane primerjalne naprave so na koncu tega poglavja tudi medsebojno primerjane.

## 2.6.1 Dimenzioniranje in izbira primerne gravitacijskega zgoščevalnika

Za določitev minimalne potrebne površine zgoščevalnika bom uporabil enačbe in postopke opisane v poglavju o načrtovanju gravitacijskih zgoščevalnikov. Indeks blata  $IB_p$  znaša 450 mg/l.

- Določitev hitrosti usedanja  $v_i$  s pomočjo empiričnih enačb ter določitev gravitacijskega masnega pretoka  $q_g$ , masnega pretoka zaradi odvzemanja blata  $q_u$  in celotnega masnega pretoka  $q_t$ :

Preglednica 1: Določitev  $v_i$ ,  $q_g$ ,  $q_u$  in  $q_t$

$C_i$ [mg/l]	$v_i$ [m/h]	$q_g$ [kg/m <sup>2</sup> h]	$q_u$ [kg/m <sup>2</sup> h]	$q_t$ [kg/m <sup>2</sup> h]
0	-	-	-	-
2500	2,737	6,843	0,375	7,218
5000	1,906	9,531	0,750	10,281
7500	1,327	9,955	1,125	11,080
10000	0,924	9,243	1,500	10,743
12500	0,644	8,045	1,875	9,920
15000	0,448	6,722	2,250	8,972
20000	0,217	4,346	3,000	7,346
25000	0,105	2,634	3,750	6,384
30000	0,051	1,533	4,500	6,033
35000	0,025	0,867	5,250	6,117
40000	0,012	0,481	6,000	6,481
50000	0,003	0,141	7,500	7,641

Primer določitve hitrosti usedanja  $v_i$ , gravitacijskega masnega pretoka  $q_g$ , masnega pretoka zaradi talnega odtoka  $q_u$  in celotnega masnega pretoka  $q_t$  pri koncentraciji 10.000 mg/l:

$$v_0 = 17,4 \cdot e^{-0,0581IB_p} + 3,931 = 17,4 \cdot e^{-0,0581450} + 3,931 = 3,931$$

$$n_v = 0,9834 \cdot e^{0,00581IB_p} + 1,043 = 0,9834 \cdot e^{0,00581450} + 1,043 = 14,477$$

$$v_i = v_0 \cdot e^{-n_v \cdot C_i} = 3,931 \cdot e^{-14,477 \cdot 10000 / 100000} = 0,9243 \frac{m}{h}$$

$$q_g = C_i \cdot v_i = 10 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,9243 \frac{m}{h} = 9,243 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$$

Za določitev masnega pretoka zaradi odvzemanja blata  $q_u$  moramo izbrati še hitrost odvzemanja blata  $v_u$ :

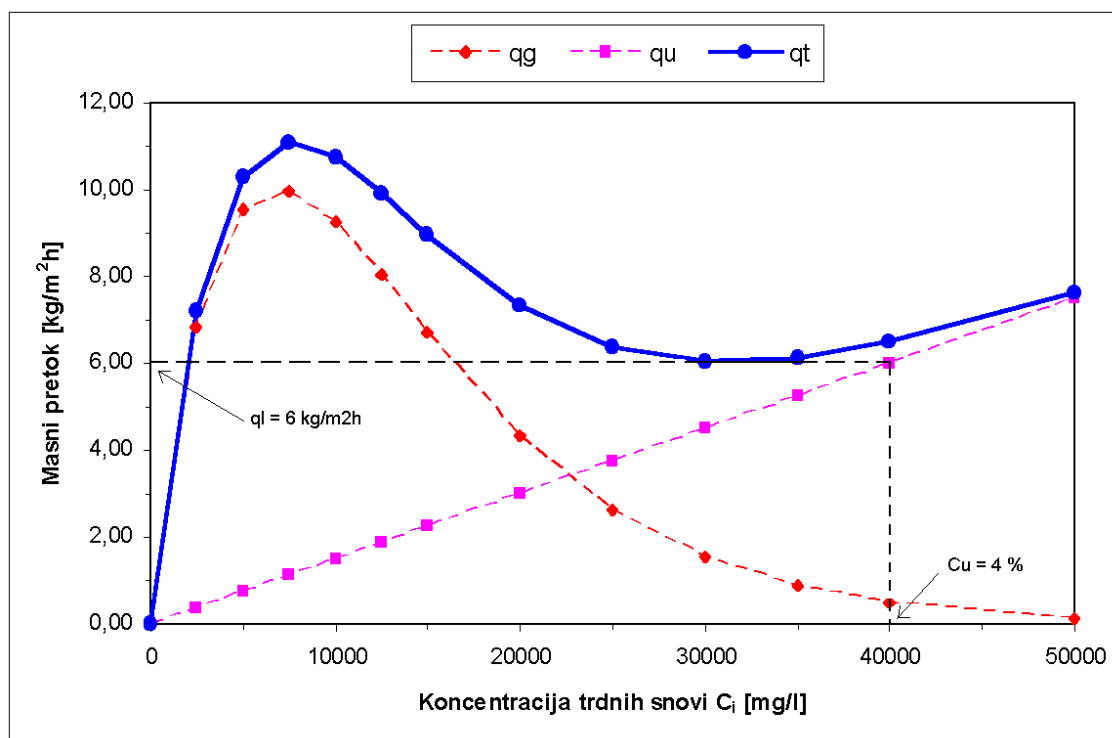
Izberem  $v_u = 0,15 \text{ m/h}$  in določim  $q_u$ :

$$q_u = C_i \cdot v_u = 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,15 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$q_t = q_g + q_u = 9,243 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} + 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 10,743 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

a) Določitev mejnega masnega pretoka  $q_l$  s pomočjo krivulje celotnega masnega pretoka  $q_t$ :

- Izris krivulje celotnega masnega pretoka  $q_t$  in vodoravne tangente nanjo. Tangenta se mora krivulje  $q_t$  dotikati v njeni najnižji točki na področju oviranega usedanja. V točki, kjer dobljena tangenta seka os y odčitamo mejni masni pretok:  $q_l = 6 \text{ kg/m}^2\text{h}$ . Presečišče vertikale, ki iz presečišča tangente  $q_l$  in premice  $q_u$  pada na os x, z osjo x določa koncentracijo talnega odtoka  $C_u$ . Iz slike je razvidno, da ta koncentracija znaša zelenih 4% (40.000 mg/l).



Slika 9: Graf  $q_g$ ,  $q_u$ ,  $q_t$  in grafična določitev mejnega masnega pretoka

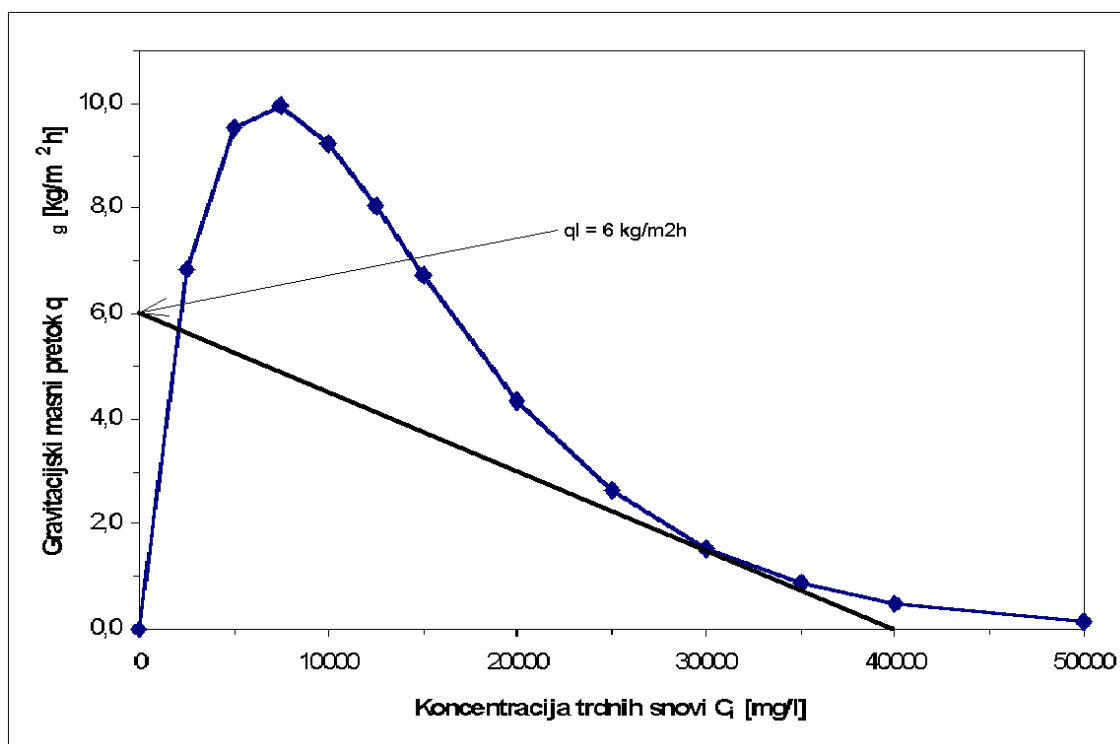
- Na podlagi odčitanega mejnega masnega pretoka  $q_l$  določimo potrebno površino gravitacijskega zgoščevalnika A oz. potreben premer zgoščevalnika D:

$$A = \frac{Q_0 \cdot C_0}{q_l} = \frac{14000 \frac{\text{kg}}{\text{dan}}}{6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}} = \frac{583,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}} = 97,22 \text{m}^2 \approx 100 \text{m}^2$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{100 \text{m}^2}{\pi}} \approx 11,3 \text{m}$$

b) Določitev mejnega masnega pretoka  $q_l$  po t.i. state-point metodi:

- Izris krivulje gravitacijskega masnega pretoka  $q_g$  in tangente nanjo z začetkom na osi x pri  $C_i = 40.000 \text{ mg/l}$  (4 %). V točki, kjer dobljena tangenta seka y os odčitamo mejni masni pretok:  $q_l = 6 \text{ kg/m}^2\text{h}$ .



Slika 10: Krivulja  $q_g$  in grafična določitev mejnega masnega pretoka  $q_l$  po state-point metodi

- Na podlagi odčitane mejnega masnega pretoka in maksimalne obremenitve določimo potrebno površino gravitacijskega zgoščevalnika A in potreben premer zgoščevalnika D:

$$A = \frac{Q_0 \cdot C_0}{q_l} = \frac{14000 \frac{kg}{dan}}{6 \frac{kg}{m^2 \cdot h}} = \frac{583,3 \frac{kg}{h}}{6 \frac{kg}{m^2 \cdot h}} = 97,22 m^2 \approx 100 m^2$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{100 m^2}{\pi}} \approx 11,3 m$$

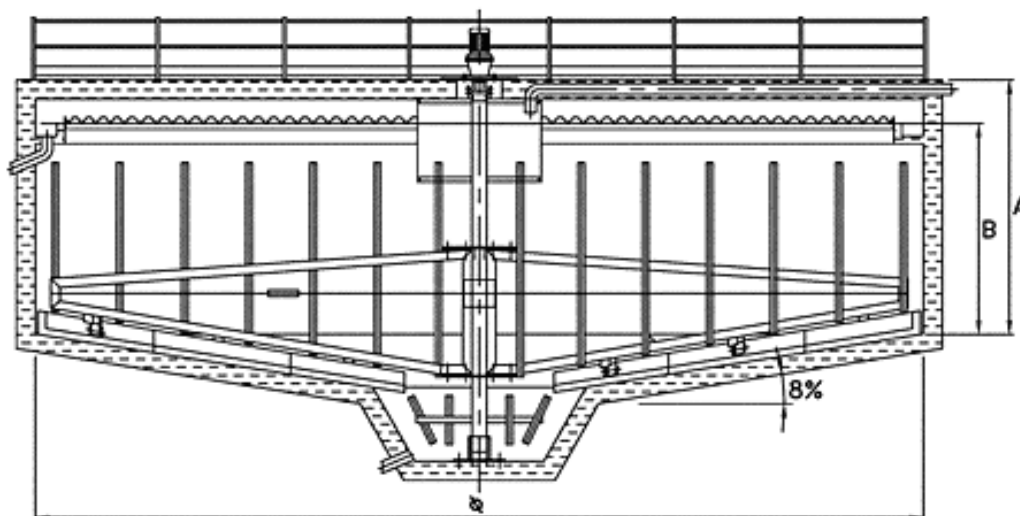
- Hitrost talnega odtoka  $v_u$  je enaka absolutni vrednosti naklona tangente na krivuljo masnega pretoka gravitacijskega usedanja:

$$v_u = \frac{6 \frac{kg}{m^2 \cdot h}}{40000 \frac{mg}{l}} = \frac{6 kg \cdot l}{40000 mg \cdot m^2 \cdot h} = \frac{6 g \cdot m^3}{40 g \cdot m^2 \cdot h} = 0,15 m/h$$

- Na podlagi zgornjih izračunov sedaj lahko izberem primerjalni gravitacijski zgoščevalnik. Izbral sem ga iz ponudbe Italijanskega podjetja Cosme, ki ponuja široko paleto proizvodov namenjenih postopkom čiščenja odpadne vode na KČN. Podjetje ponuja 9 različnih velikosti okroglih gravitacijskih zgoščevalnikov s komercialno oznako ISP (Priloga A). Njihove osnovne značilnosti so zajete v spodnji preglednici.



Preglednica: Tipi ISP gravitacijskih zgoščevalnikov iz podjetja Cosme; (Vir: proizvajalec)



TIP	ISP4	ISP5	ISP6	ISP7	ISP8	ISP9	ISP10	ISP11	ISP12	
Ø [m]	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A [m]	2.0 - 3.0									
B [m]	1.5 - 2.5									
Perif. hitr. [m/min.]	1		2				2.7			
Moč [kW]	0.18		0.25				0.37			

Ker sem izračunal, da za mojo primerjavo potrebujem gravitacijski zgoščevalnik s premerom najmanj 11,3 m moram iz zgoraj navedene ponudbe izbrati gravitacijski zgoščevalnik Cosme ISP 12 čigar premer znaša 12 metrov. Primer manjšega praznega gravitacijskega zgoščevalnika Cosme ISP je prikazan na spodnji sliki na kateri se lepo vidi tudi strojna oprema iz nerjavečega ali vroče pocinkanega jekla (grabljice in strgali), ki sicer v času obratovanja ni vidna.

Posebnost gravitacijskega zgoščevalnika v primerjavi z drugimi napravami za zgoščevanje je ta, da je zgoščevalnik sestavljen iz dveh delov in sicer iz betonskega rezervoarja in opreme. Betonski rezervoar se zgradi na licu mesta, oprema pa se pripelje od proizvajalca. Zato sta tudi v primerjalni tabeli v kateri so zajeti investicijski stroški posameznega zgoščevalnika v tem

primeru dve postavki. Prva postavka prikazuje oceno investicijske vrednosti opreme druga pa oceno investicijske vrednosti izgradnje rezervoarja.



Slika: Primer gravitacijskega zgoščevalnika Cosme ISP; (Vir: Proizvajalec)

## 2.6.2 Izbira primernega flotacijskega zgoščevalnika

Flotacijski zgoščevalniki so v glavnem namenjeni uporabi v papirni industriji in se za zgoščevanje blata na KČN uporabljajo le izjemoma. Razlogov za to je več. Poglavitni pa so sledeči: visoki stroški investicije, visoki stroški obratovanja, relativno zapletena tehnologija,... Najverjetneje so to tudi razlogi, da se v Sloveniji s prodajo tovrstnih naprav resno ne ukvarja nobeno podjetje. Sam sem odkril le eno takšno podjetje, ki pa mi ni bilo pripravljeno pomagati in posredovati želenih podatkov za potrebe te naloge. Zato sem se prek interneta obrnil direktno na več proizvajalcev flotacijskih zgoščevalnikov od katerih pa mi ni odgovoril niti eden.

K sreči sem med zbiranjem podatkov o flotacijskih zgoščevalnikih naletel na nekaj študij v sklopu katerih so se avtorji med drugim ukvarjali tudi s stroškovnimi vidiki tovrstnega zgoščevanja. Tako sem lahko za potrebe moje primerjave iz teh študij pridobil in pretvoril vsaj

približne ocene stroškov, ki bi jih predstavljal primerjalna DAF naprava. Kljub temu, da zaradi omenjenih težav primerjalni podatki o flotacijskem zgoščevalniku niso najbolj natančni, pa je že iz reda velikosti stroškov jasno, da je to predvsem v primerjavi s stroški gravitacijskega zgoščanja precej drag način zgoščevanja. Do enakih ugotovitev so prišli tudi sami avtorji omenjenih študij.

### 2.6.3 Izbira primerne centrifugalnega zgoščevalnika

Primerjalni centrifugalni zgoščevalnik sem izbral iz ponudbe nemškega podjetja Flottweg (Priloga B), ki je eden večjih proizvajalcev vseh vrst centrifug. Ena izmed linij centrifug je namenjena prav uporabi v procesih čiščenja komunalnih odpadnih voda. Vse centrifuge so decanter izvedbe (v obliki koničastega cilindra) in so razdeljene v dve skupini. Medtem, ko so centrifuge iz prve skupine (OSE = Optimum Sludge Thickening) namenjene za zgoščevanje blata so tiste iz druge skupine (HTS) namenjene za dehidracijo blata. V tem primeru moram ustrezno centrifugo izbrati izmed petih modelov iz prve skupine, katerih zmogljivosti se gibljejo od 20 do 250 m<sup>3</sup>/h (spodnja preglednica).

Preglednica: Tipi OSE decanter centrifug za zgoščevanje blata iz podjetja Flottweg; (Vir: Proizvajalec)

TIP	Z4E-4	Z53-4	Z6E-4	Z73-4	Z92-4
Teža [kg]	3.000	4.800	9.230	11.000	16.200
Pogon centrifuge [kW]	22 – 30	45 - 55	55 - 90	75 - 110	110 - 200
Pogon polža [kW]	4	5,5	5,5	5,5	7,5
Tipična hidr. obr. [m <sup>3</sup> /h] *	20 - 40	35 - 70	50 - 90	80 - 130	120 - 250

\* Dejanska kapaciteta je odvisna od lastnosti blata.

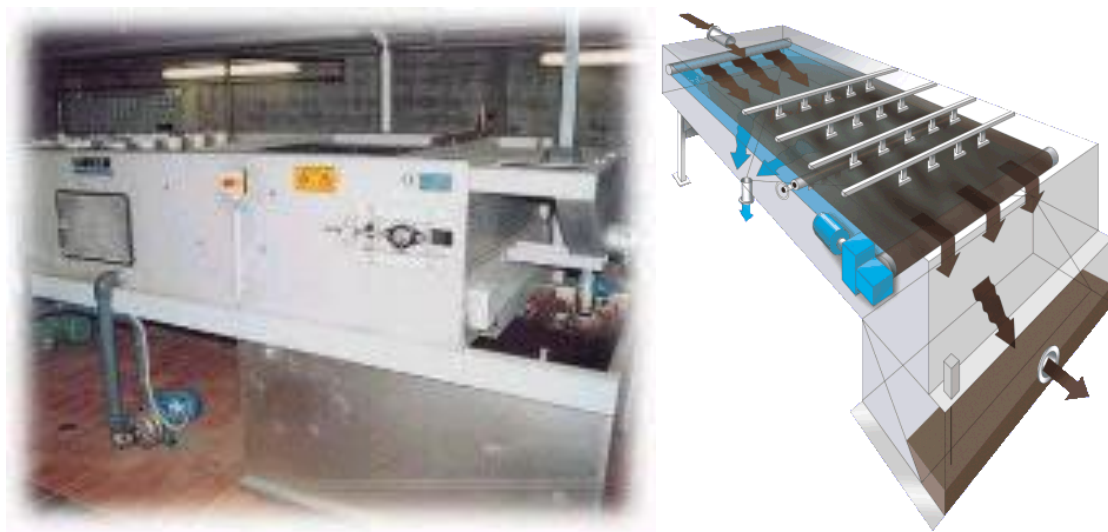


Slika: Primer decanter centrifuge za zgoščevanje podjetja Flottweg; (Vir: Proizvajalec)

Glede na začetne podatke sem kot primerjalno centrifugo za zgoščevanje blata izbral centrifugo Flottweg OSE Z73-4.

#### 2.6.4 Izbira primernega zgoščevalnika z gravitacijskimi pasovi

Zgoščevalnik odvečnega blata z gravitacijskimi pasovi sem izbral iz ponudbe nemškega podjetja Huber (Priloga C), ki je eden izmed večjih svetovnih proizvajalcev opreme namenjene uporabi pri procesih čiščenja odpadnih voda. Podjetje ponuja dva sorodna tipa tovrstnih zgoščevalnikov s komercialnim imenom Huber Drainbelt DB (spodnja slika) oz. Huber Twinbelt TB. Njihove osnovne značilnosti so zajete v spodnji preglednici. S pomočjo teh naprav lahko blato zgostimo do koncentracij trdnih snovi od 6 – 8 %. Maksimalna kapaciteta naprav pa seže do 150 m<sup>3</sup>/h. Naprava Drainbelt je v osnovi sestavljena iz ogrodja iz nerjavečega jekla v katerem sta integrirana dva valja. Eden izmed valjev je fiksni in povezan s pogonskim motorjem, drug pa služi kot napenjalec pasu. Naprava Twinbelt je v osnovi enaka kot Drainbelt le, da je sestavljena iz dveh pasov, ki se nahajata eden nad drugim. S tem je lahko kapaciteta te naprave skoraj še enkrat večja od kapacitete naprave z enim pasom.

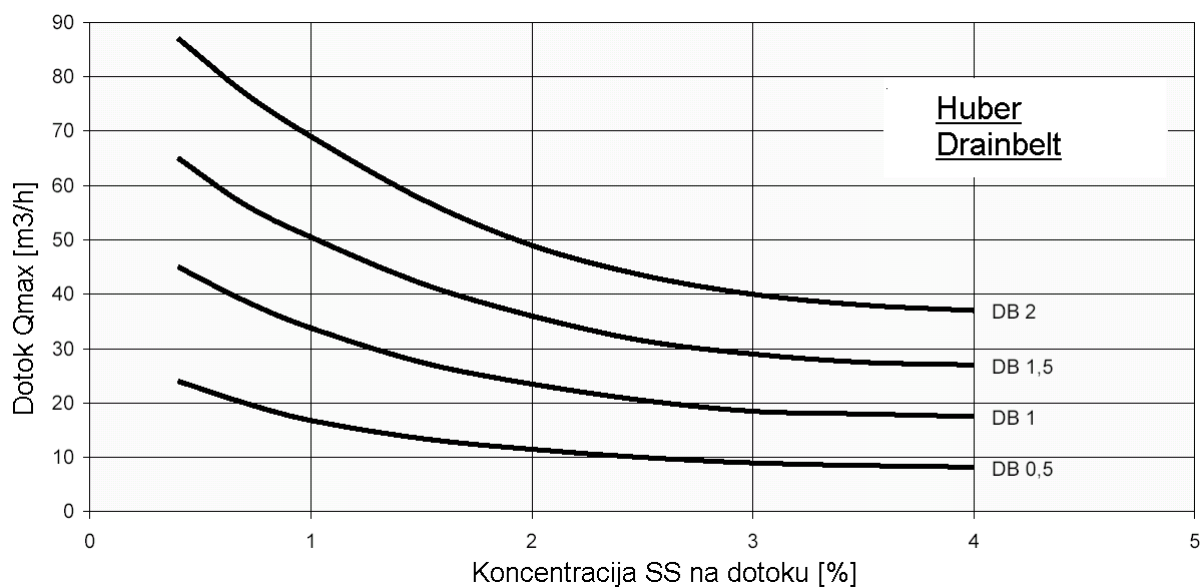


Slika: Slika in shema zgoščevalnika Huber Drainbelt DB; (Vir: Proizvajalec)

Preglednica: Tipi in osnovne karakteristike naprav Huber Drainbelt DB in Twinbelt TB; (Vir: Proizvajalec)

	DB 0,5	DB 1,0	DB 1,5	DB 2,0	TB 1,5	TB 2,0
Širina [mm]	700	1.200	1.700	2.200	1.700	2.200
Efektivna širina pasu [mm]	500	1.000	1.500	2.000	1.500	2.000
Efektivna površina pasu [m <sup>2</sup> ]	1,5	3	4,5	6	12	16
Teža [kg]	750	1.000	1.600	2.000	3.600	4.800

Za določitev primerne naprave si lahko pomagamo s posebnimi krivuljami, ki jih je v ta namen pripravil proizvajalec naprav (Slika 11). Želena napravo določimo tako, da na podlagi količine dotočnega blata (y os) in koncentracije suhe snovi v dotočnem blatu (x os) odčitamo katera naprava je najprimernejša oz. dovolj zmogljiva.



Slika 11: Krivulje za določitev najprimernejše naprave Huber DB

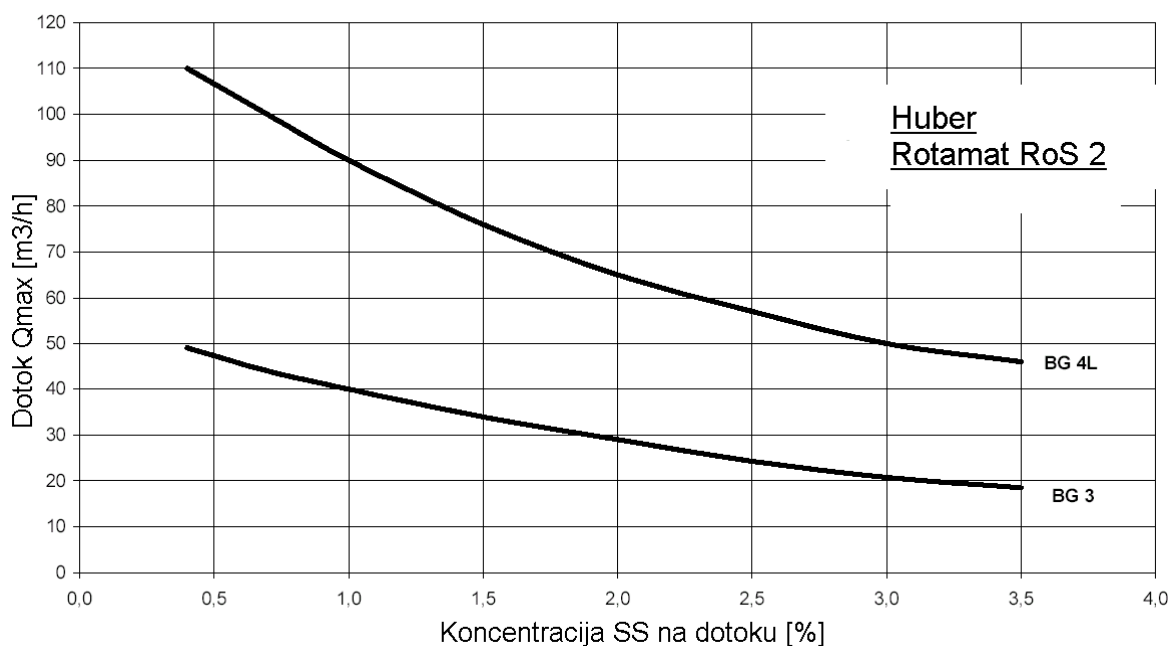
Na podlagi zgornjih krivulj, preglednice in začetnih podatkov vidimo, da je v mojem primeru potrebno uporabiti dve napravi Huber DB 1,5 ali eno napravo Huber TB 1,5. Po nasvetu proizvajalca in tudi po mojem mnenju je bolj pametna izbira dveh naprav Huber DB 1,5. S tem se lahko v primeru okvare, remonta, čiščenja ipd. ene naprave proces vsaj delno nadaljuje na drugi napravi. Izbira dveh naprav namesto ene pa ima tudi nekaj slabosti. Predvsem je to nekoliko višja investicija in večja potreba po prostoru.

## 2.6.5 Izbira primerne zgoščevalnika v obliki rotacijskega bobna

Tako kot primerjalni tračni zgoščevalnik sem tudi primerjalni zgoščevalnik v obliki rotacijskega bobna izbral iz ponudbe nemškega podjetja Huber (Priloga D), ki ponuja tovrstne zgoščevalnike s komercialnim imenom Rotamat RoS 2.



Slika: Primer in shema delovanja zgoščevalnika Huber Rotamat RoS 2; (Vir: Proizvajalec)



Slika 12: Krivulje za določitev najprimernejše naprave Huber Rotamat RoS 2

Na voljo sta dve velikosti naprav, ki imata oznako velikosti 3 oz. 4L. Podobno kot v primeru izbire tračnega zgoščevalnika si tudi tokrat lahko pri izbiri primerjalne naprave pomagam z zgornjimi krivuljami (Slika 12).

Glede na začetne podatke sem, kljub nekoliko nižji kapaciteti od zahtevane, kot primerjalno napravo v obliki rotacijskega bobna izbral napravo Huber Rotamat RoS2 BG 4L. Menim, da z vidika primerjave ta razlika ni ključna, saj je poraba polimerov in električne energije preračunana na tono SS oz. kWh/m<sup>3</sup>. V primeru pa, da bi namesto teoretične primerjave izbiral napravo za dejansko uporabo v praksi in bi izbral to napravo pa ta izbira, zaradi premajhne kapacitete, ne bi bila ustrezna.



## 2.6.6 Primerjava izbranih zgoščevalnikov

Glede na izbrane vhodne podatke sem izbral v spodnji preglednici zajete primerjalne naprave za zgoščevanje blata.

Preglednica 2: Primerjalne naprave za zgoščevanje blata

Vrsta zgoščevalnika	Proizvajalec in tip naprave
Gravitacijski zgoščevalnik	Cosme ISP 12
Flotacijski zgoščevalnik	po študijah
Centrifuga	Flottweg OSE Z73-4
Tračni zgoščevalnik	2 x Huber DB 1,5
Rotacijski boben	Huber Rotamat RoS 2 BG 4L

Izbrane naprave sem medsebojno primerjal glede na vrednost investicije in glede na približne stroške obratovanja. V večini primerov največji del stroškov obratovanja predstavljata strošek porabe električne energije in strošek porabe sredstev za kondicioniranje. Ocene stroškov in primerjave so zajeti v spodnjih preglednicah ter grafih.

Preglednica 3: Primerjava stroškov investicije naprav za zgoščevanje

	Celotna investicija*		Amortizacijska doba		Letni strošek
Gravit. zgošč.	35.000 €	42.000 €	15	30	3.735 €
Flot. zgošč.	500.000 €		10		50.000 €
Centrifuga	315.000 €		10		31.500 €
Tračni zgoščevalnik	2 x 60.000 €		10		12.000 €
Rotacijski boben	60.000 €		10		6.000 €

\* Navedene cene naprav so brez DDV

Preglednica 4: Primerjava ocene stroškov porabe električne energije naprav za zgoščevanje

	Poraba [kWh/m <sup>3</sup> ]	Letna poraba [kWh]	Letni strošek*
Gravit. zgošč.	0,00317	3.240	282 €
Flot. zgošč.	0,6	613.200	53.385 €
Centrifuga	0,8	817.600	71.180 €
Tračni zgoščevalnik	0,013	13.324	1.160 €
Rotacijski boben	0,0272	27.857	2.425 €

\* Cena električne energije po ceniku distributerja znaša 0,08706 €/kWh + DDV

Preglednica 5: Primerjava ocene stroškov porabe polimerov pri napravah za zgoščevanje

	Poraba [kg/t SS]	Letna poraba [kg]	Letni strošek*
Gravit. zgošč.	0	0	0
Flot. zgošč.	0,5	2.555	12.775 €
Centrifuga	1,5	7.665	38.325 €
Tračni zgoščevalnik	3	15.330	76.650 €
Rotacijski boben	4	20.440	102.200 €

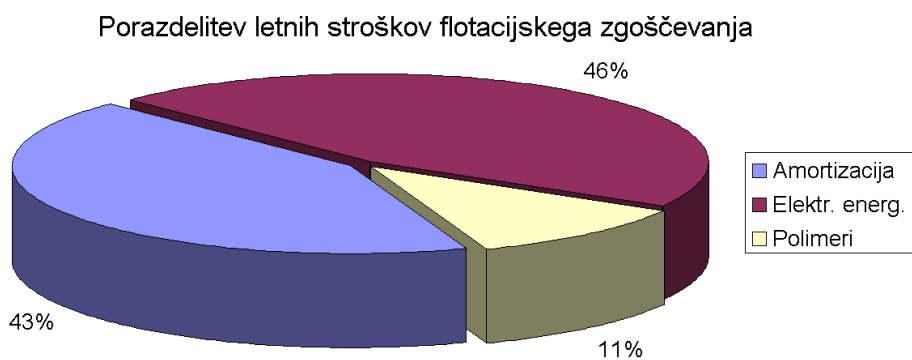
\* Cena polimera znaša 5 €/kg + DDV

Preglednica 6: Primerjava skupnih letnih stroškov pri izbranih napravah za zgoščevanje

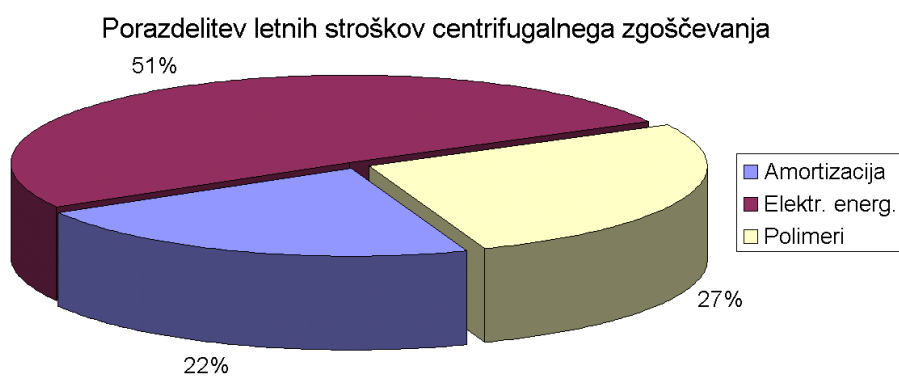
	Amortizacija	Elektr. energ.	Polimeri	SKUPAJ / leto
Gravit. zgošč.	3.735 €	282 €	0	4.017 €
Flot. zgošč.	50.000 €	53.385 €	12.775 €	116.160 €
Centrifuga	31.500 €	71.180 €	38.325 €	141.005 €
Tračni zgoščevalnik	12.000 €	1.160 €	76.500 €	89.660 €
Rotacijski boben	6.000 €	2.425 €	102.200 €	110.625 €



Slika 13: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja gravitacijskega zgoščevalnika

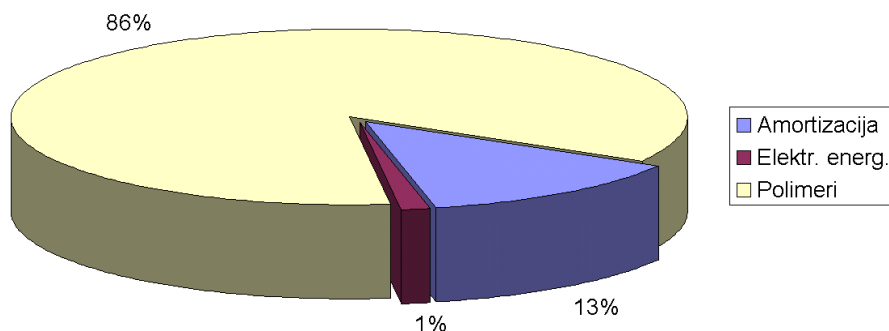


Slika 14: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja flotacijskega (DAF) zgoščevalnika



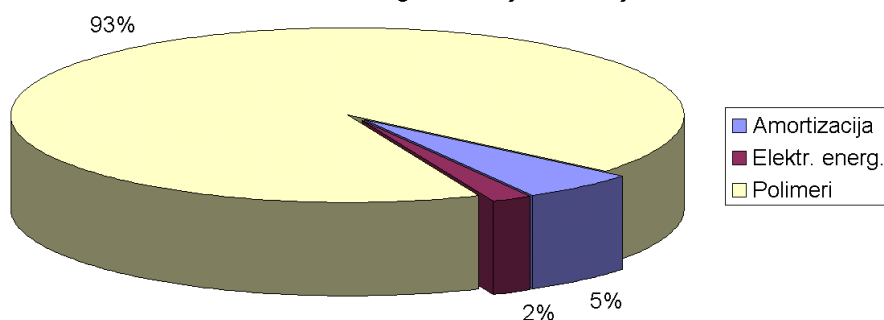
Slika 15: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja centrifugalnega zgoščevalnika

Porazdelitev letnih stroškov zgoščevanja s tračnim zgoščevalnikom

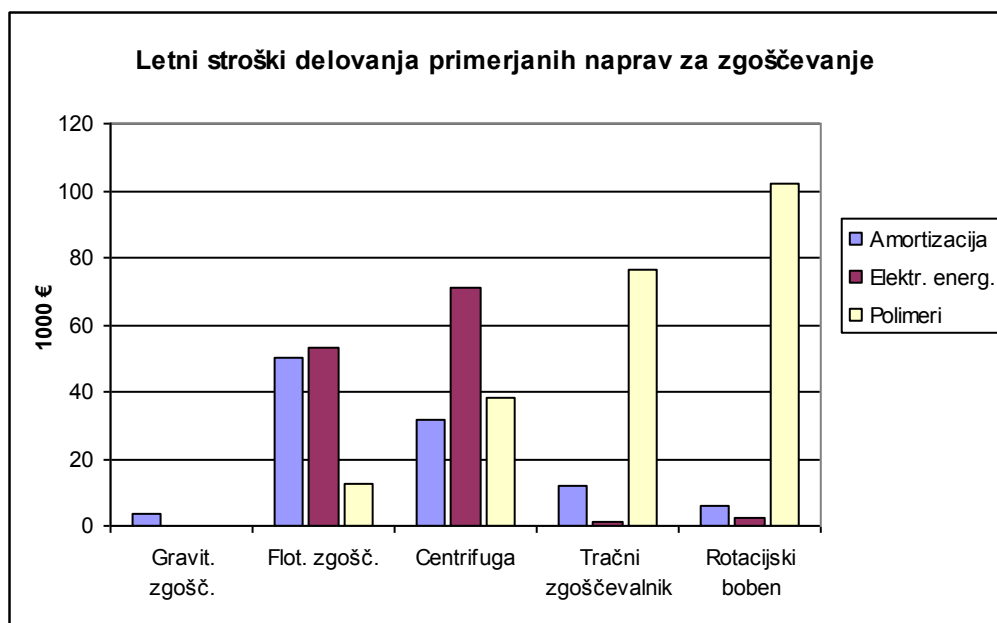


Slika 16: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja tračnega zgoščevalnika

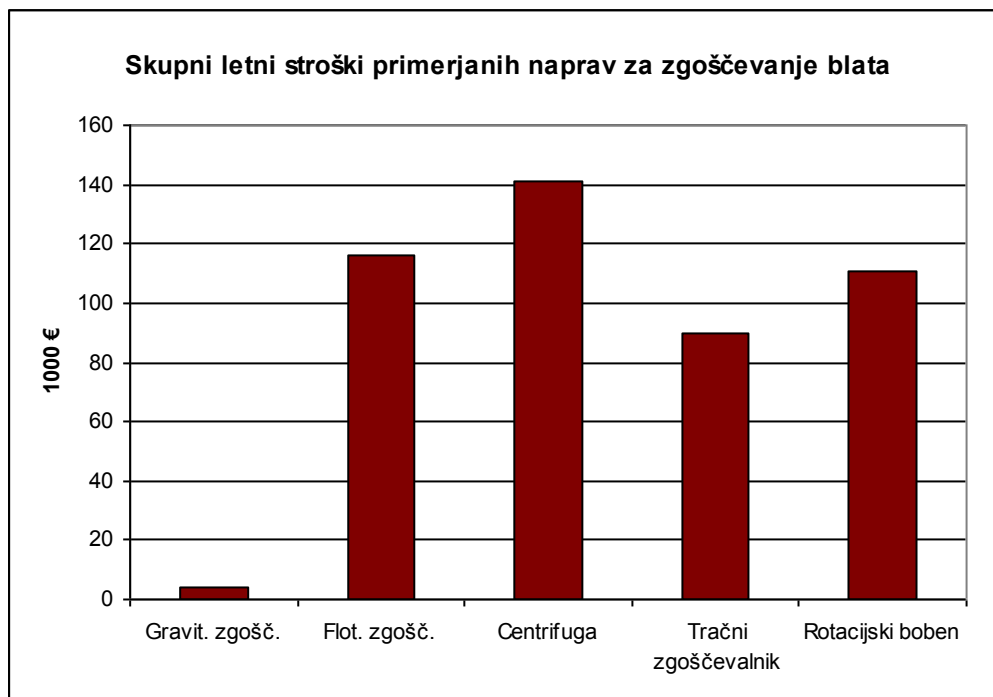
Porazdelitev letnih stroškov zgoščevanja z rotacijskim bobnom



Slika 17: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja zgoščevalnika v obliki rotac. bobna



Slika 18: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za zgoščevanje



Slika 19: Graf skupnih letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za zgoščevanje

Rezultati primerjave na tem konkretnem primeru so pokazali, da je stroškovno daleč najugodnejši postopek zgoščevanja blata gravitacijsko zgoščevanje. Ostali postopki pa so stroškovno podobnega velikostnega reda, le zgoščevanje s tračnim zgoščevalnikom je morda nekoliko ugodnejše. Seveda pa rezultatov, predvsem v primeru njihove morebitne aplikacije na kak drug konkreten primer, ni pametno dojemati tako enoznačno kot to morda prikazujeta zgornja grafa. Glavne točke na katere je potrebno pomisliti ob analizi podatkov oz. uporabi le teh na nekem drugem konkretnem primeru so: velikost KČN na kateri bi postopek uporabljali oz. je bil primerjan, lastnosti zgoščevanega blata in nenazadnje samih značilnosti stroškov, ki jih primerjava zajema.

Zgornja primerjava je bila opravljena za primer (srednje) velike KČN naprave z 200.000 PE, kar precej vpliva tudi na rezultate primerjave. Denimo zaradi tega dejstva je prednost gravitacijskega zgoščevanja pred ostalimi postopki z vidika stroškov še izrazitejša kot bi bila v primeru manjše naprave. Obratno pa velja za zgoščevanje z rotacijskim bobnom in tračnim zgoščevalnikom. Ob tem je treba poudariti, da gravitacijski zgoščevalnik primerjalno gledano

zasede precej več prostora, povzroča več neprijetnih vonjav, ne omogoča tako visokih koncentracij trdnih snovi na iztoku iz zgoščevalnika itd.

Drug dejavnik na katerega je potrebno biti pozoren je sestava blata, ki ga zgoščujemo. Zgoščevanje z gravitacijskim zgoščevalnikom je najprimernejše za zgoščevanje primarnega blata oz. blata z manjšim deležem aktivnega blata. Čim se delež aktivnega blata povečuje, manjša je učinkovitost in primernost uporabe gravitacijskega zgoščevanja. Primerjalni gravitacijski zgoščevalnik je določen na podlagi relativno visokega indeksa blata od katerega je zelo odvisna potrebna velikost gravitacijskega zgoščevalnika. V primeru, da bi v praksi oz. kakem drugem konkretnem primeru potrebovali zgoščevalnik za zgoščevanje blata z nižjim indeksom blata bi se potrebna površina in s tem stroški primerjalnega gravitacijskega zgoščevalnika precej zvišali vendar bi bili v primerjavi z drugimi napravami še vedno veliko nižji. Za flotacijski zgoščevalnik pa velja ravno obratno kot za gravitacijski zgoščevalnik, saj je najprimernejši prav za zgoščevanje blata z visoko vsebnostjo aktivnega blata. Aktivno blato je namreč sestavljeno iz zelo finih delcev v primeru katerih se odstranjevanje le teh z majhnimi mehurčki izkaže za zelo učinkovito. Pozitivna lastnost ostalih treh načinov zgoščevanja pa je, da njihova uporabnost ob primernem kondicioniranju ni v taki meri odvisna od lastnosti blata, ki ga zgoščujemo.

Zadnji pomembnejši dejavnik, ki ga zajema primerjava in ga je potrebno upoštevati z zadržkom je sestava stroškov. Medtem, ko so stroški amortizacije in porabe električne energije vezani na ceno naprav oz. potrebno energijo za pogon naprav ter niso bistveno vezani na spremenljive lastnosti blata, bi se stroški polimerov med morebitnim obratovanjem v praksi lahko precej spreminjali. To velja predvsem v primeru tračnega zgoščevalnika in zgoščevalnika v obliki rotacijskega bobna, ki imata največjo specifično porabo polimerov in je to tudi njun največji delež letnih stroškov obratovanja. Za natančnejšo napoved specifične porabe polimerov bi bilo potrebno opraviti laboratorijske poizkuse oz. dejanski poizkus z določenim blatom na določeni napravi, kar pa presega okvire diplomske naloge. Značilnost pri porabi polimerov je tudi ta, da se njihova specifična poraba spreminja tudi med obratovanjem na že obstoječi in delujoči napravi tako, da je vnaprejšnja določitev natančne specifične porabe polimerov praktično nemogoča. Vsekakor pa so količine zajete v primerjavi v nekem razmerju in redu velikosti kot bi bile in so pri dejanski uporabi. Predvsem pri gravitacijskem

zgoščevalniku je potrebno biti pozoren, da se zaradi njegove zasnove linija blata konča kar nekaj metrov nižje kot pri ostalih napravah, zaradi česar bomo dolvodno najverjetneje potrebovali energijsko precej potratno črpalko, s katero bomo izničili to razliko. Pri vseh napravah razen v primeru gravitacijskega zgoščevalnika je upoštevana amortizacijska doba 10 let, čeprav je dejanska življenjska doba naprav precej daljša. Amortizacijska doba gravitacijskega zgoščevalnika je ločena na gradbeni del – betonski rezervoar (30 let) in opremo (15let). Pri opremi je ta doba 5 let daljša kot pri ostalih napravah, ker nanjo delujejo precej manj intenzivne sile.

Skratka moja primerjava je pokazala, da je z naskokom stroškovno najugodnejši način zgoščevanja odvečnega blata, na KČN takšnega reda velikosti in s takšnimi zahtevami po zgoščevanju, gravitacijsko zgoščevanje. Seveda pa to, tudi zaradi zgoraj opisanih dejstev ne pomeni, da je to edina logična in prava izbira. Vsekakor bi bilo pred končno izbiro pri vsakem drugem konkretnem primeru oz. v praksi potrebno zbrati vse informacije o napravah njihovih lastnostih ter prednostih in slabostih, o blatu, njegovi količini in lastnostih in se na podlagi vseh dejavnikov, ne samo finančnih odločiti za najprimernejšo napravo. Predvsem to velja za majhne KČN, za katere gravitacijsko zgoščevanje ne pride v poštev in za katere obstaja tudi kar nekaj primernih načinov zgoščevanja odvečnega blata, ki v tej nalogi niso zajeti.

### 3 DEHIDRACIJA BLATA

Dehidracija blata je proces odstranjevanja vode iz blata in posledično zmanjšanja njegovega celotnega volumna. Z različnimi postopki dehidracije, v nasprotju s procesi zgoščevanja, iz blata odstranimo tolikšno količino vode, da se le to ne obnaša več kot tekočina ampak kot trdna snov. Osnovne spremenljivke, ki so pomembne pri obravnavanju vsakega procesa dehidracije so (McFarland, 2001):

- Koncentracija trdnih snovi in stopnja dotoka blata na začetku dehidracijskega procesa
- Potreba po dodajanju kemikalij in stroški povezani s tem
- Koncentracija trdnih snovi in stopnja odtoka dehidriranega blata na koncu dehidracijskega procesa

Dehidracijske metode se delijo na tiste, ki temeljijo na mehanskih - fizikalnih procesih in na tiste, ki temeljijo na procesih, ki se odvijajo ob sušenju blata na zraku. V prvo skupino spadajo: stiskanje s filtrskimi pasovi (tračne preša), centrifugiranje, stiskanje s povratnimi filtrskimi ploščami (filtrske stiskalnice) in vakuumsko filtriranje. Glavna predstavnika druge skupine pa sta: dehidracija s sušilnimi gredami oz. v lagunah.

Danes sta najpogosteje uporabljeni metodi mehanske dehidracije stiskanje s filtrskimi pasovi in centrifugiranje. Dehidracija s sušilnimi gredami ali lagunami se uporabljata predvsem na manjših čistilnih napravah, ki imajo razpoložljivega dovolj prostora. Dejavniki, ki favorizirajo uporabo mehanskih metod dehidracije so predvsem: estetski, stroškovni, klimatski in omejitve razpoložljivega prostora. V moji nalogi so obravnavane le fizikalne metode, torej metode iz prve skupine.

Vse naprave za mehansko dehidracijo blata oz. odstranjevanja vode iz blata delujejo na principu filtracije. Zaradi trenjskih izgub povezanih z gibanjem vode pri dehidraciji blata s pomočjo mehanskih dehidracijskih sistemov je za zagotavljanje primernega pronicanja tekočine skozi porozen medij potreben določen padec tlaka. Zahtevan padec tlaka lahko dosežemo na sledeče načine:



- z ustvarjenjem centrifugalne sile
- z ustvarjenjem vakuuma na eni strani poroznega medija
- z dvigovanjem tlaka na eni strani poroznega medija

Za postopke mehanske dehidracije je značilno, da z njimi iz blata iztisnemo predvsem nevezano vodo in pogojno manjši delež porne vode. Mešanice blata namreč vsebujejo vodo, ki se nahaja v vezani ali nevezani obliki. Voda je lahko vezana na tri načine: porna voda je voda ujeta v porah med kosmi in celicami, površinsko vezana voda je voda vezana na površino delcev blata in voda, ki je vezana kemično. Največ vezane vode odstranimo v primeru predhodnega zmrzovanja in taljenja blata oz. t.i. temperaturnega kondicioniranja (Droste, 1997).

### 3.1 Stiskanje s filtrskimi pasovi (tračne preše)

Zaradi nizkih investicijskih in obratovalnih stroškov ter možnosti zagotavljanja dobre dehidracije blata, je v današnjem času ena najpogosteje uporabljenih metod dehidracije blata, prav dehidracija s stiskanjem med filtrskimi pasovi. Stiskalnice s filtrskimi pasovi so v osnovi sestavljene iz dveh premikajočih se poroznih pasov, skozi katere, ob kombinaciji gravitacijskega pronicanja in stiskanja, odteka odvečna voda. Poleg poroznih filtrskih pasov so pomembni mehanski deli tovrstnih stiskalnic še valji in ležaji, sistem vodenja in napenjanja pasov, krmiljenje in pogon ter sistem pranja pasov.

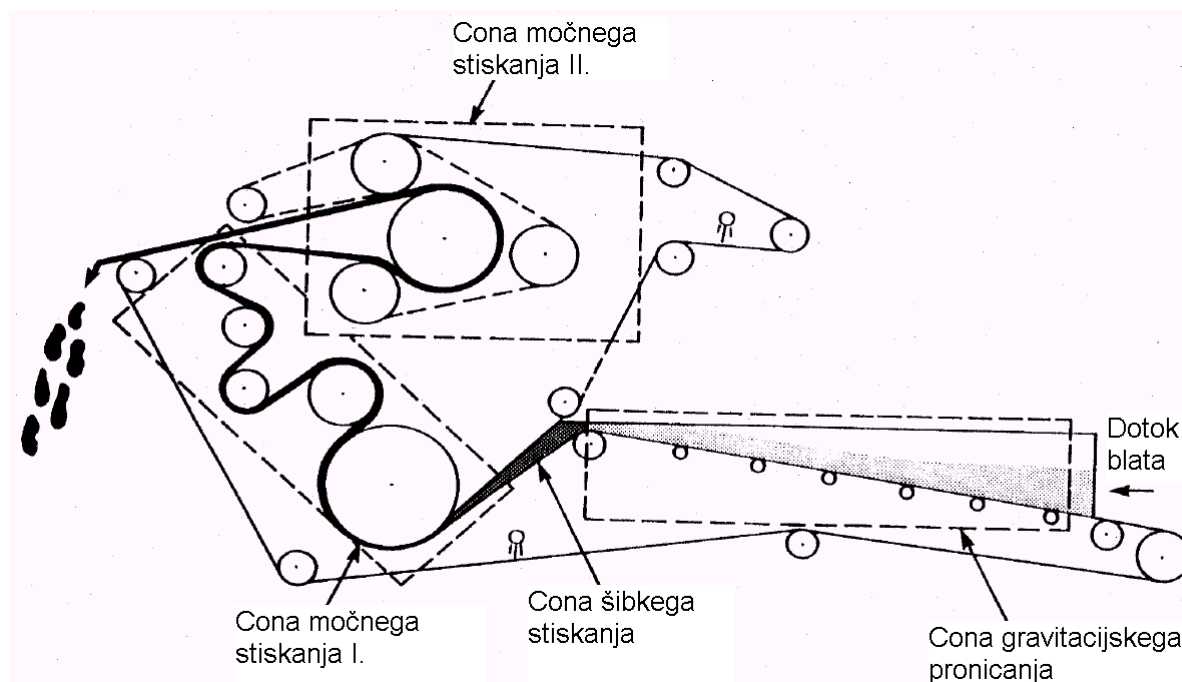
Ne glede na to, da je na voljo več različnih modelov stiskalnic, pa je za vse značilno, da so praviloma razdeljene na sledeče cone (Slika 18):

(a) **cona kondicioniranja** je predel v katerem se blatu dodaja kemikalije za izboljšanje njegovega dehidracijskega potenciala. Pomembno je, da se kemikalije dodajajo na začetku procesa ter da so enakomerno premešane z blatom.

(b) **cona gravitacijskega pronicanja** je ploskev z rahlim naklonom, ki je od modela do modela različen. V tej coni dejansko poteka zgoščevanje blata po enakem principu kot pri zgoščevalnikih z gravitacijskimi pasovi in sicer s pronicanjem vode iz blata skozi porozen pas oz. trak. Pri tem pomagajo, na način kot je opisan že v poglavju zgoščevanja, tudi razna krilca oz. plužniki. Pričakujemo lahko, da se v tej coni koncentracija trdnih snovi v blatu poveča na 5 do 10 %. Učinek gravitacijskega pronicanja je odvisen od vrste filtrskih pasov, zasnove cone pronicanja ter vrste, kvalitete in načina kondicioniranja blata.

(c) **cona šibkega stiskanja** (nizkega pritiska) se imenuje tudi klinasta cona in je del, kjer se zgornji in spodnji pas približujeta drug drugemu, dokler na koncu ne prideta tako blizu skupaj, da se blato med njima stisne. Tako nastane nekakšen sendvič, ki je sestavljen iz obeh pasov in blata stisnjenega med njima. Cona šibkega stiskanja je pomembna tudi zato, da se blato v njej pravilno oz. enakomerno oblikuje za vstop v zadnjo cono.

(d) **cona močnega stiskanja** (visokega pritiska) je zadnji del stiskalnice pred izpustom blata. V zadnji coni se pritisk na blato preko različnega števila in različnih premerov valjev stopnjuje. Premeri valjev se od začetka proti koncu cone zmanjšujejo, zaradi česar se pritisk na blato stopnjuje. Večji pa kot je pritisk na blato, večjo stopnjo dehidracije dosežemo.



Slika 20: Shema stiskalnice s filtrskimi pasovi

Filtrski pasovi so navadno stekani iz poliestrskih vlaken. Izbiramo lahko med različnimi načini in gostotami tkanja, od česar je zelo odvisna tudi učinkovitost dehidracije s tovrstnimi stiskalnicami. Vrsto pasov izberemo na podlagi priporočil proizvajalca in lastnih izkušenj. Zelo pomemben parameter obratovanja je tudi hitrost pasov. V splošnem velja, da z zmanjšanjem njihove hitrosti dosežemo bolj dehidrirano blato. Vendar pa s tem, ko zmanjšamo hitrost pasov, zmanjšamo tudi proizvodno zmogljivost stiskalnice (McFarland, 2001).

Glavna mehanska dela stiskalnic s filtrskimi pasovi so valji in ležaji znotraj njih. Od valjev je odvisen pritisk, ki povzroča iztiskanje vode iz blata. Poleg tega pa valji nosijo pasove in zagotavljajo primerno napetost le teh. Premer valjev je zelo pomemben dejavnik, zato jih je potrebno skrbno dimenzionirati. Od premera in števila valjev je namreč odvisna velikost pritiska na blato in s tem učinkovitosti dehidracijskega postopka. Napetost pasov pa odločilno vpliva na vsebnost trdnih snovi v dehidriranem blatu, maksimalno obremenitev in stopnjo zajema trdnih snovi. Večja napetost pasov prinaša bolj dehidrirano blato, a hkrati slabši zajem le teh. Z večjo napetostjo se namreč pasovi nekoliko raztegnejo s čimer se povečajo luknjice v njih in s tem propustnost (poroznost) tako za vodo kot tudi za manjše trdne delce.

Za zagotavljanje učinkovite dehidracije je pasove potrebno prati. S tem odstranimo ostanke blata, ki se prilepijo na pasove ali zažrejo vanje in jih rezilo, ki je namenjeno odstranjevanju blata iz pasov ne more odstraniti. Šobe za pranje so nameščene tako, da se pasovi z vodo pod visokim pritiskom perejo iz nasprotni strani kot so v stiku z blatom. Pranje pasov poteka na delih, ki so izven zgoraj omenjenih con tako, da med pranjem na njih ni celotne količine blata.

Za dimenzioniranje stiskalnic je pomembna njihova zmogljivost, ki nominalno znaša približno 3 do 4 l svežega blata na 1 meter širine traku v sekundi, čeprav se zadovoljivi rezultati dosegajo tudi pri višjih obremenitvah. Obremenitve s trdnimi snovmi, ki pogosto vplivajo na učinkovitost stiskalnic s filtrskimi pasovi kot omejitveni faktor, naj bi bila nekje od 0.1 do 0.2 kg trdnih snovi na širinski meter traku v sekundi. Tipična koncentracija trdnih snovi v blatu, ki jo dosežemo s stiskanjem blata s tovrstnimi stiskalnicami, je od 18 do 25 % in več. Zajem trdnih snovi pa se giblje od 80 do 95 % (Vesilind, 2003).

### 3.2 Centrifugiranje

Centrifuge delujejo po analognih fizikalnih zakonitostih, kot gravitacijski zgoščevalniki le, da se delci v tem primeru zaradi centrifugalne sile gibljejo hitreje, kot ob samo gravitacijski sili (Droste, 1997). Tudi med procesom centrifugiranja, se namreč za ločevanje mešanice trdnih snovi in vode, pri visokih rotacijskih hitrostih izkorišča razliko med specifično težo teh dveh medijev (McFarland, 2001). Centrifugalna sila, ki nastane pri dehidraciji blata s centrifugami, je od 500 do 3000 krat večja od sile težnosti (Vesilind, 2001). Zato je centrifugiranje proces, ki potrebuje relativno veliko energije. Centrifugalni pospešek, ki povzroča ločevanje tekočine in trdnih delcev, v centrifugi ustvarja rotirajoči boben cilindrične oblike. Ta pospešek lahko ocenimo z naslednjo enačbo:

$$F_c = \frac{\pi N^2 R}{360} \quad [\text{m/s}^2]$$

kjer je:

- $F_c$  - centrifugalni pospešek
- $N$  - rotacijska hitrost centrifuge, obr./s
- $R$  - radij rotirajočega telesa, m

Centrifugiranje je proces, ki se lahko sicer pod nekoliko drugačnimi obratovalnimi pogoji uporablja tako za zgoščevanje kot tudi za dehidracijo blata. Zato so različne vrste centrifug opisane že v poglavju namenjenem načinom zgoščevanja blata. Izmed njih so za dehidracijo blata, predvsem zaradi visokega dehidracijskega učinka in enostavnosti za uporabo, najprimernejše centrifuge s koničastim cilindrom (solid-bowl centrifuge). Poznamo dve različici centrifug s koničastim cilindrom in sicer takšne z protismernim in takšne z istosmernim tokom. Največkrat uporabljeni so modeli s protismernim tokom in visoko rotacijsko hitrostjo. Pri centrifugah s protismernim tokom se odprtina za dotok blata nahaja v bližini ali na prelomu cilindra iz valjaste v koničasto obliko. Trdne snovi se nato gibljejo proti koničastemu koncu naprave, tekočina pa v nasprotno smer.

Pod vplivom centrifugalne sile se trdne snovi iz blata izpodrivajo proti steni cilindra, ki se nato s pomočjo vrtečega se polža premikajo vzdolž cilindra proti robu, preko katerega padejo v sod z dehidriranim blatom.

Centrifuga ima tri osnovne funkcije, ki pa med seboj niso popolnoma kompatibilne. Prva funkcija je bistrenje oz. odstranjevanje trdnih snovi iz dovedenega blata. Druga je konsolidiranje trdnih delcev na stenah centrifuge. Tretja pa je izpodrivanje dehidriranega blata iz centrifuge. Ob določeni centrifugalni sili sta učinek bistrenja in koncentracija trdnih snovi, funkcija prostornine centrifuge. Večja prostornina je bolj ugodna za proces bistrenja, manj pa za koncentracijo trdnih snovi. Funkcija bistrenja oz. hidravlična kapaciteta katerekoli centrifuge je izražena z vrednostjo  $\Sigma$ :

$$\Sigma = 2\pi \cdot l \frac{\omega^2}{100g} \left( 0.75r_2^2 + 0.25r_1^2 \right)$$

kjer je:

- $\Sigma$  - teoretična hidravlična kapaciteta [ $m^2$ ]
- $l$  - efektivna dolžina dela bistrenja centrifuge [m]
- $\omega$  - kotna hitrost centrifuge [rad/s]
- $g$  - težnostni pospešek [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ]
- $r_1$  - radij od središča centrifuge do površine tekočine v centrifugi [m]
- $r_2$  - radij od središča do notranje stene centrifuge [m]

Druga pomembna funkcija, je funkcija, ki odraža sposobnost centrifuge za odstranjevanje dehidriranega blata iz nje in se ji reče kapaciteta odstranjevanja dehidriranega blata iz centrifuge  $\beta$ :

$$\beta = \Delta\omega \left( \frac{N\pi D z}{S} \right)$$

kjer je:

- $\beta$  - kapaciteta odstranjevanja dehidriranega blata iz centrifuge [ $m^3/h$ ]
- $\Delta\omega$  - diferencialna hitrost med polžem in centrifugo [rad/s]
- $S$  - razdalja med krili polža [m]
- $N$  - število kril ovitih okrog polža [-]
- $D$  - notranji premer cilindra [m]
- $z$  - globina tekočine v bobnu [m]

Vse spremenljivke iz zgornje enačbe lahko izmerimo, ker se nanašajo na dejansko strojno opremo centrifuge. Zato teoretično lahko vrednost  $\beta$  določimo za katerokoli centrifugo (Vesilind, 2003).

Kot je razvidno že iz navedenega, na delovanje in učinkovitost dehidracije ter tudi zgoščevanja blata s centrifugami v obliki koničastega cilindra vpliva mnogo dejavnikov. Glavni izmed njih so zajeti v spodnji preglednici (Preglednica 11).

Preglednica: Dejavniki, ki vplivajo na učinek dehidracije in zgoščevanja s centrifugami; (Vir: Vesilind, 2001)

Osnovni konstrukcijski parametri naprave	Nastavitve naprave in obratovalnih pogojev	Značilnosti blata
Vrata toka	Hitrost centrifuge	Specifična teža delcev
protismerni	Razlika med hitrostjo centrifuge in polža	Velikost delcev in kosmov
istosmerni		
Geometrija	Globina »bazena« centrifuge	Konsistenca
premer	Prostornina »bazena« centrifuge	Viskoznost
dolžina	Stopnja dotoka	Temperatura
naklon konice (8-10°)	Hidravlična obremenitev	Indeks blata
maksimalna globina	Obremenitev s trdnimi snovmi	Vsebnost hlapljivih snovi
Mesto dotoka	Uporaba sredstev za kondicioniranje	Zadrževalni čas
Maksimalna hitrost		Okuženost
		Kvaliteta kosmov

Pozitivna lastnost centrifug je predvsem v tem, da se po meritvah koncentracije trdnih snovi v blatu in zajema blata, lahko izvajajo nastavitve spremenljivk kot je dotok, diferencialna hitrost centrifuge in polža, uporaba kemikalij za kondicioniranje ter globina »bazena« centrifuge.

### 3.3 Stiskanje s povratnimi filtrskimi ploščami (filtrske stiskalnice)

V splošnem so filtrske stiskalnice naprave sestavljene iz serije plošč opremljenih s povratnim delom, ki oblikujejo volumen v katerega se pod visokim pritiskom črpa blato namenjeno za dehidracijo. Filtrski medij je podobno kot pri stiskalnicah s filtrskimi pasovi takšen, da zadržuje trdne delce in hkrati omogoča odtekanje odvečne tekočine. Odvečna tekočina odteka iz stiskalnice preko posebnih izstopnih odprtih na filtrih. Poznamo več različnih vrst filtrskih stiskalnic. Dve najpogostejši vrsti filtrskih stiskalnic, ki se lahko uporabljata za dehidracijo blata, so filtrske stiskalnice s fiksnim volumnom povratnih filtrskih plošč in filtrske stiskalnice

z variabilnim volumnom povratnih filtrskih plošč (t.i. diafragemske filtrske stiskalnice). (McFarland, 2001).



Slika: Primer filtrske stiskalnice s fiksnim volumnom povratnih plošč; (Vir: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com))

Pri stiskalnicah s fiksnim volumnom se tekoče blato, pod relativno visokim pritiskom, črpa v prostor med dvema filtrskima ploščama, ki sta fiksirani s togim okvirjem. Glede na to kako velik je pritisk črpanja se stiskalnice delijo na nizko tlačne (3 – 9 barov) in visoko tlačne (10 – 17 barov). Rezultat visokega pritiska je ta, da se velika količina tekočine prek filtrskega medija izloči iz blata še preden se vključi stiskanje s hidravličnim cilindrom. Sčasoma se odtekanje te vode preneha. To pomeni, da so vse praznine znotraj filtrskih plošč že zapolnjene z blatom in odvečno tekočino. Ob normalnih obratovalnih pogojih se črpanje blata v stiskalnico odvija toliko časa, da se v njej za nek predpisan čas ohranja maksimalni pritisk pod katerim se blato črpa. To pomeni, da pritisk, ki ga ustvarja črpalka, ne zadošča več za dodatno odstranjevanje tekočine (navadno od 5 do 7 % koncentracija trdnih snovi). Takrat se črpalka ustavi in vključi se stiskanje plošč s hidravličnim cilindrom, s katerim se odstrani še dodatna tekočina. Potem se stiskalnica odpre, da iz nje odpade dehidrirano blato in lahko se začne nov cikel.



Zaradi visokega pritiska se lahko delci blata sprimejo s filtrskimi ploščami. Zato je potrebno periodično pranje le teh. Kljub temu, da se za kondicioniranje blata vse več uporabljajo polimeri se v nekaterih primerih še vedno uporabljata železov klorid in apno. Ker pa uporaba železovega klorida povzroča korozijo cevi in ostalih kovinskih delov stiskalnice, je potrebno te dele zaščititi z gumo ali pa jih prati s sredstvi, ki preprečujejo poškodbe le teh. Rezultat dehidracije blata s filtrskimi stiskalnicami s fiksnim volumnom je blato s 35 do 42 % koncentracijo trdnih snovi.

V diafragmsko filtrsko stiskalnico se blato črpa z nizkim pritiskom, dokler se le ta ne napolni z rahlo kompaktnim blatom. Po ustavitvi črpanja se diafragma napihne z zrakom ali napolni z vodo do pritiska od 1500 do 2000 kPa. Čeprav se večina tekočine iz blata izloči že med črpanjem, se pomemben del vode izloči tudi med in po napihovanju diafragme. Po napihovanju diafragme mora preteči določen čas, da se voda odteče. Potem se stiskalnica odpre ter odstrani dehidrirano blato. Filtrski medij se pred novim ciklom s pomočjo fiksnih šob opere. Učinek dehidracije blata s filtrskimi stiskalnicami z variabilnim volumnom je nekoliko boljši, kot v primeru stiskalnic s fiksnim volumnom, saj v tem primeru lahko dobimo tudi blato s 38 do 47 % koncentracijo trdnih snovi.

Poleg že omenjenih prednosti diafragemske filtrske stiskalnice ponujajo še nekatere druge prednosti v primerjavi s stiskalnicami s fiksnim volumnom povratnih plošč. Poleg tega, da ima dobljeno blato večjo koncentracijo trdnih snovi, je ta koncentracija glede na celoten volumen pridobljenega blata, tudi bolj enakomerno porazdeljena. Druga prednost je ta, da je obratovalni cikel diafragemske stiskalnice krajši in posledično lahko z njo dehidriramo več blata. Glavni vzrok za krajši obratovalni cikel tovrstnih stiskalnic je ta, da omogočajo bolj učinkovit in enakomeren pritisk na blato, medtem ko se še tekoče blato črpa v komore. Tretja prednost pa je v nižjih obratovalnih in vzdrževalnih stroških dovodnih črpalk. Glavna slabost diafragmskih stiskalnic pa je njihova visoka nabavna vrednost, ki je tudi 2 do 3-krat večja od primerljivo zmogljivih stiskalnic s fiksnim volumnom povratnih filtrskih plošč.

Na učinkovitost obeh vrst filtrskih stiskalnic vplivajo predvsem sledeči obratovalni parametri: koncentracija trdnih snovi v dovedenem blatu, kondicioniranje blata, (zaželeno) koncentracija trdnih snovi v dehidriranem blatu, celotni čas posameznega cikla in stopnja zajema trdnih snovi. Pogoji za pravilno delovanje filtrske stiskalnice je dobro razumevanje razmerij med obratovalnimi parametri. Naprimer, če se koncentracija trdnih snovi na dotoku poveča, se zmanjšata potreba po kondicioniranju in čas celotnega cikla obratovanja ter poveča količina dehidriranega blata na enoto časa.

Obratovanje filtrskih stiskalnic lahko poteka ročno, polavtomatsko ali avtomatsko. V vsakem primeru pa mora biti operater posebej pozoren pri izpustu dehidriranega blata iz naprave, saj se lahko zgodi, da se blato ne loči od nje in ga mora operater odstraniti ročno.

S končno koncentracijo trdnih snovi, ki jo dosežemo s filtrsko stiskalnico, so povezani tudi nadaljnji stroški, ki nastanejo v zvezi s tem blatom. Višje koncentracije trdnih snovi v dehidriranem blatu pa navadno dosežemo s povečanjem obratovalnega cikla. Le ta pa pomeni manjšo količino predelanega blata.

Ocena učinkovitosti filtrske stiskalnice se pridobi na podlagi »lahkote«, s kakršno se voda ločuje od trdnih delcev, ki pa se določa z uporabo testa specifične odpornosti in/ali testa časa kapilarne odpornosti. Specifična odpornost blata  $r$  je mera filtracijske sposobnosti blata in je numerično enaka razliki tlaka, ki je potrebna za določeno stopnjo pretoka filtrata določene viskoznosti skozi enoto teže blata. Specifično odpornost  $r$  ocenimo z uporabo osnovne filtracijske enačbe, ki jo integriramo po času in uredimo tako, da dobimo linearno razmerje med trajanjem cikla in volumnom filtrata:

$$\frac{t}{V} = \left( \frac{\mu r c}{2PA^2} \right) V + \left( \frac{\mu R_m}{PA} \right)$$

kjer je:

- V - prostornina filtrata
- t - trajanje cikla
- P - pritisk (ali vakuum)

- A - površina filtracije
- $\mu$  - viskoznost filtrata
- r - specifična odpornost
- $R_m$  - začetna odpornost filtrskega medija
- c - teža trdnih snovi na enoto volumna filtrata

Če imamo na voljo zadostne filtracijske podatke, da narišemo krivuljo  $t/V$  (y os) glede na volumen filtrata  $V$  (x os), lahko uporabimo numerično vrednost naklona dobljene krivulje  $b$  za oceno specifične odpornosti  $r$  kot sledi:

$$r = \frac{2bPA^2}{\mu c}$$

Pritisk  $P$ , površina filtracije  $A$  in viskoznost filtrata  $\mu$  so količine, ki jih poznamo že na začetku. Edina nepoznana količina v zgornji enačbi je tako teža trdnih snovi na volumen filtrata  $c$ , ki pa jo določimo z uporabo sledeče enačbe:

$$c = \frac{1}{\frac{C_i}{100 - C_i} - \frac{C_f}{100 - C_f}}$$

kjer je:

- $C_i$  - začetna vsebnost vlage v kondicioniranem blatu [%]
- $C_f$  - končna vsebnost vlage v dehidriranem blatu [%]

Pri dimenzioniranju/izbiranju filtrske stiskalnice je najbolj kritična velikost pilotne naprave, s katero to počnemo. Pilotna naprava, ki je praviloma manjša od tiste, ki se bo uporabljala v praksi, ima tudi manjše filtre in zato tudi bolj učinkovite in lahko s tem zavede naša pričakovanja. Zato pilotni sistem ne sme biti premajhen, predvsem pa mora imeti takšno debelino filtrov, kot jih bo imela načrtovana stiskalnica (Vesilind, 2003).

### 3.4 Vakuumsko filtriranje

Naprave z vakuumski filtri so bile prve naprave za mehansko dehidracijo blata, ki pa so jih do danes večinoma že nadomestile novejše in bolj učinkovite naprave za dehidracijo blata. Tako lahko vakuumske filtre najdemo le še na nekaterih starejših napravah. Glavni vzroki za njihovo opuščanje so zajeti v spodnji preglednici.

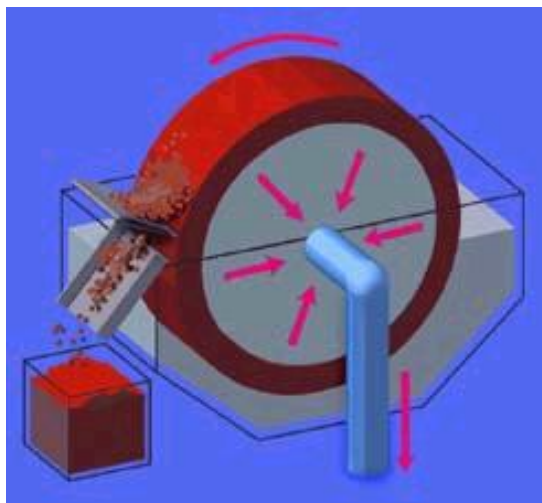
Preglednica: Glavne slabosti uporabe vakuumske filtracije; (Vir: McFarland, 2001)

- 
- Tovrstne naprave so zelo glasne in energijsko potratne
  - Še posebej v primeru uporabe apna in železovega klorida za kondicioniranje lahko pričakujemo precejšnje probleme v smislu čiščenja in vzdrževanja naprav
  - V primeru uporabe apna za kondicioniranje, se zaradi izločanja amoniaka pojavlja močan smrad
  - Za doseg primerne dehidriranosti blata, mora biti koncentracija trdnih snovi na dotoku vsaj 3%
- 

Običajna naprava z vakuumskimi filtri je sestavljena iz vrtečega se bobna v obliki cilindra, ki je delno (20 - 35 %) potopljen v kad, napolnjeno z blatom. Površina bobna je ovita s poroznim filtrskim medijem – pasom, od katerega so v veliki meri odvisne dehidracijske lastnosti naprave (Vesilind, 2003). Ko se boben vrti, se filtrski medij navija in odvíja iz bobna. Na delu, ko se medij ne dotika bobna, se iz njega s pomočjo lopatice ali manjšega valja odstranjuje dehidrirano blato. Preden medij pride ponovno v stik z bobnom, se opere. Tako kot pri ostalih metodah dehidracije in zgoščevanja blata, se tudi v tem primeru pralna tekočina in filtrat vračata na začetek čiščenja.

Filtrski boben je razdeljen na več delov, ki so povezani z vrtečim se pokrovom. Sicer pa lahko vakuumsko filtriranje razdelimo na tri različna področja obratovanja, ki so potrebna za celoten cikel dehidracije blata. Ta področja so: področje oblikovanja blatne pogače, področje izsuševanja pogače in področje odstranjevanja dehidriranega blata iz filtrskega medija. Med vrtenjem bobna se vsak del najprej potopi v blato oz. področje oblikovanja pogače. Od tu pa nato preide v področje vakuumskega izsuševanja, ki predstavlja od 40 do 60 % površine

bobna in se konča na točki, kjer se prekine notranji vakuum. Ko ta del bobna doseže to točko, pride skupaj z dehidriranim blatom, v področje v katerem se dehidrirano blato odstranjuje s filtrirnega medija.



Slika: Skica delovanja naprave za vakuumsko dehidracijo; (Vir: internet)

Pri vakuumski filtraciji se uporabljata dva tipa filtrskega medija oz. pasu, s katerim je ovit boben in sicer pas stkan iz posebne tkanine ali kovinski pas. V primeru vakuumске filtracije z uporabo kovinskih pasov, sta okoli bobna ovite dve plasti le teh. Po končanem dehidracijskem ciklu obe plasti pasov zapustita površino bobna in se ločita druga od druge. V času ločitve plasti se zgornja plast skupaj z dehidriranim blatom dvigne od spodnje plasti tako, da se blato lahko odstrani iz nje. Ko je blato odstranjeno, se oba pasova spereta in se, še pred ponovno potopitvijo v kad z blatom, spet združita nazaj z bobnom. Postopek vakuumске filtracije z uporabo tkanih pasov je zelo podoben, kot pri postopku, z uporabo kovinskih pasov. Bistvena razlika je predvsem ta, da se v tem primeru namesto dveh plasti pasu, uporablja le ena.



Slika: Primer naprave za vakuumsko dehidracijo; (Vir: internet)

Učinkovitost dehidracije z vakuumski filtri se lahko meri na podlagi različnih kriterijev kot so: proizvodna sposobnost, učinkovitost odstranjevanja trdnih snovi in lastnosti pridobljene pogače – dehidriranega blata. Proizvodna sposobnost, ki je najpogostejša mera za učinkovitost vakuumske dehidracije, je izražena kot masa suhe snovi v blatu proizvedenem na enoto površine filtra in časa ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$ ). Tipična proizvodna sposobnost naprav za vakuumsko filtracijo mešanega blata je med 17 in 25  $\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$ , stopnja zajema trdnih snovi od 85 do 99,5 % in vsebnost vlage v dehidriranem blata med 60 in 90 %. Vse te vrednosti so odvisne predvsem od vrste in načina kondicioniranja, trajanja posameznega cikla in deleža potopitve bobna (Droste, 1997).

### 3.5 Primerjava najpogostejših metod dehidracije blata

Primerjavo med najpogostejšimi metodami dehidracije blata sem naredil na primeru CČN Domžale - Kamnik. Povprečna koncentracija trdnih snovi v blatu, ki po določenem času pride iz anaerobnih gnilišč znaša okrog 3,5 % in je za kakršno koli končno dispozicijo blata odločno premajhna in jo je potrebno precej zvišati (na okrog 30 %). To pa med drugim lahko storimo z uporabo enega izmed zgoraj opisanih postopkov dehidracije blata. Zato sem izbral različne naprave, ki predstavljajo te najpogostejše metode in med njimi skušal narediti osnovno primerjavo. Te naprave so: tračna preša, centrifuga in filtrska stiskalnica. Postopka vakuumske filtracije primerjava ne zajema, saj je ta metoda dehidracije, kot je navedeno že v poglavju o vakuumski filtraciji, v opuščanju in bi potrebne podatke za primerjavo tudi zelo težko pridobil.

Podatke o proizvedenih količinah blata na CČN Domžale - Kamnik, ki so potrebni za dimenzioniranje dehidracijskih naprav sem, zbral iz poročila o delu CČN v letu 2007 in so zajeti v spodnji preglednici.

Preglednica 7: Podatki o proizvodnji blata na CČN Domžale – Kamnik v letu 2007

Skupna letna masa proizvedenega pregnitega blata	35.762 m <sup>3</sup> (Vir: Preglednica 35)
Povprečna letna vsebnost suhe snovi pregnitega blata	35,2 kg/m <sup>3</sup> (Vir: Preglednica 28)
Povprečna prostorninska proizvodnja pregnitega blata	98 m <sup>3</sup> /dan
Povprečna masa proizvedenega pregnitega blata	3.449 kgSS/dan
Skupna letna masa SS proizvedenega pregnitega blata	1.259 t SS

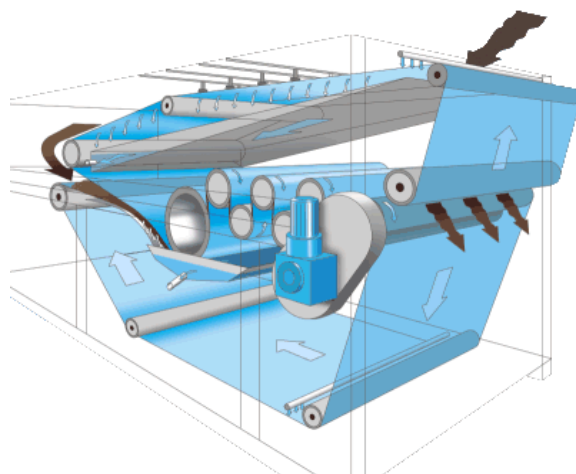
Potrebne karakteristike dehidracijskih naprav so določene na podlagi podatkov v zgornji preglednici in predvidenega trajanja letnega obratovanja naprave. Praviloma je pri obratovanju dehidracijske naprave potrebna vsaj občasna prisotnost operaterja te naprave. Zato bi izbrana naprava delovala le v dopoldanskem delovnem času, kar pomeni v povprečju cca. 5 krat na teden po 6 ur. Na tak način deluje tudi že obstoječa dehidracijska naprava. Potrebna zmogljivost (kapaciteta) dehidracijske naprave je na podlagi navedenega določena v spodnji preglednici.

Preglednica 8: Podatki potrebni za izbiro primerljivih dehidracijskih naprav

Želena vsebnost suhe snovi dehidriranega blata	cca. 300 kgSS/m <sup>3</sup>
Dnevna prostorninska proizvodnja dehidriranega blata	cca. 11,5 m <sup>3</sup> /dan
Skupna letna količina dehidriranega blata (pri 30 % SS)	4.197,5 m <sup>3</sup>
Prostorninska proizvodnja pregnitega blata v delavnem dnevu	137,2 m <sup>3</sup>
Potrebna zmogljivost dehidracijske naprave	23 m <sup>3</sup> /h (810 kg SS/h)

### 3.5.1 Izbira primerne tračne preše

Tako kot zgoščevalnik z gravitacijskimi pasovi si bom tudi primerjalno napravo za dehidracijo blata z gravitacijskimi pasovi izbral iz ponudbe nemškega podjetja Huber. Komercialno ime tračnih preš iz omenjenega podjetja je Bogenpress BS in Bogenpress BS Combi (kombinirana z napravo Drainbelt). Različni modeli se med seboj razlikujejo v več podrobnostih, od katerih so odvisne lastnosti posameznih preš in posledično njihova primernost za dehidracijo določenega blata oz. določene količine blata. Modeli Bogenpress BS Combi so posebej namenjeni za dehidracijo blata z nizko koncentracijo trdnih snovi. Za potrebe moje primerjave bom tako izbiral med različnimi tipi klasičnih tračnih preš Bogenpress BS (spodnja preglednica).



Slika: Slika in shema primera tračne preše Huber Bogenpress BS (Vir: Proizvajalec)



Glavne razlike med različnimi modeli tračnih preš Bogenpress so tri:

- širina pasov od katerih je odvisna kapaciteta posameznega modela
- velikost zgoščevalne cone ali morebitna integriteta zgoščevalne naprave Drainbelt (glej izbiro zgoščevalnika z gravitacijskimi pasovi) od česar je odvisen sprejemljiv razpon koncentracije trdnih snovi v blatu, ki ga bomo dehidrirali
- število (4, 6, 8, 10 ali 12) in velikosti valjev od katerih je odvisna zmožnost doseganja določene koncentracije trdnih snovi v dehidriranem blatu.

Preglednica: Seznam modelov tračnih preš Huber Bogenpress BS z 8, 10 in 12 valji; (Vir: Proizvajalec)

Tip	Št. valjev	Max. pretok [m <sup>3</sup> /h]	Max. pretok [SS/h]	Dotok blata [% SS]	Dehidr. blato [% SS]
BS 121	8				21 - 24
	10	10	400	2,5 – 4,0	24 - 27
	12				28 - 35
BS 181	8				21 - 24
	10	15	600	2,5 – 4,0	24 - 27
	12				28 - 35
BS 251	8				21 - 24
	10	25	1.000	2,5 – 4,0	24 - 27
	12				28 - 35

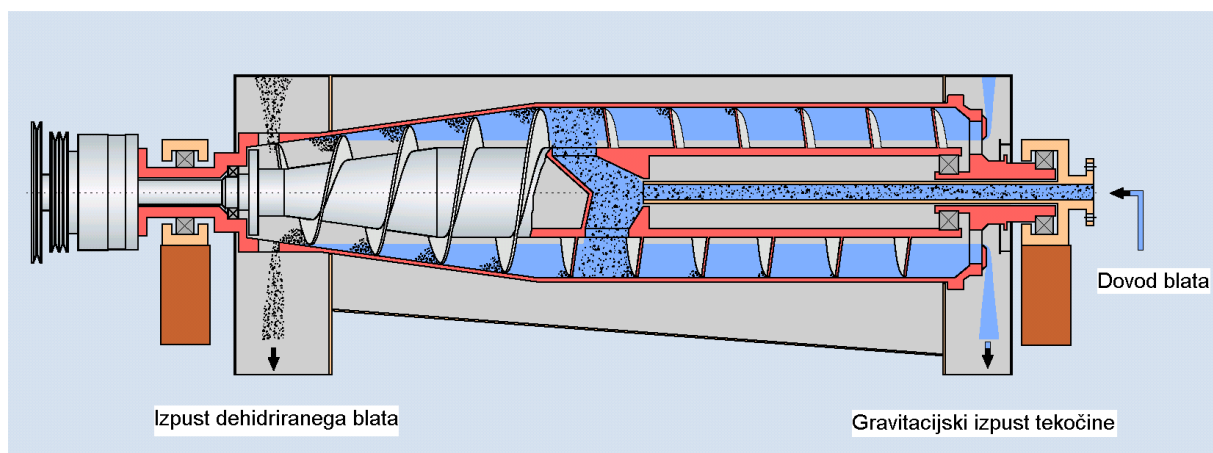
Glede na zahtevano kapaciteto dehidracijske naprave in željen % SS v dehidriranem blatu je za končno primerjavo primerna tračna preša Bogenpress BS 251 z 12 valji.

### 3.5.2 Izbira primerne centrifuge

Tako kot centrifugo za zgoščevanje blata bom tudi centrifugo za dehidracijo blata izbral iz ponudbe nemškega podjetja Flottweg (Priloga B). Njihova ponudba zajema 6 različno zmogljivih HTS decanter centrifug (HTS = High Dry Substance). Kapaciteta obdelave blata s temi centrifugami se giblje od 5 do 150 m<sup>3</sup>/h (spodnja preglednica) in je poleg same velikosti posameznega tipa centrifuge odvisna predvsem od lastnosti blata, ki ga dehidriramo. V principu so HTS decanter centrifuge za dehidracijo blata enake kot OSE decanter centrifuge za zgoščevanje blata. Glavna razlika med njimi je predvsem v potrebni moči motorjev za pogon centrifuge in polža ter manjši kapaciteti pri enaki velikosti. Te razlike so logična posledica večjih koncentracij trdnih snovi v blatu.



Slika: Primer HTS decanter centrifuge za dehidracijo blata iz podjetja Flottweg; (Vir: proizvajalec)



Slika 21: Skica delovanja HTS decanter centrifuge za dehidracijo blata iz podjetja Flottweg

Preglednica: Tipi HTS decanter centrifug za dehidracijo blata iz podjetja Flottweg; (vir: proizvajalec)

TIP	Z4E-3	Z4E-4	Z53-4	Z6E-4	Z73-4	Z92-4
Teža [kg]	2.600	3.000	4.800	9.230	11.000	16.200
Pogon centrifuge [kW]	15 - 22	22 - 37	45 - 75	75 - 110	90 - 132	160 - 250
Pogon polža [kW]	4 - 7,5	7,5	7,5 - 15	15 - 22	22 - 30	30 - 45
Tipična hydr. obr. [m <sup>3</sup> /h] *	5 - 18	15 - 30	25 - 50	40 - 70	50 - 110	80 - 150

\* Dejanska kapaciteta je odvisna od lastnosti blata.

Glede na zahtevano kapaciteto dehidracijske naprave sem za končno primerjavo izbral centrifugo Flottweg HTS Z4E-4. Na CČN Domžale – Kamnik trenutno za dehidracijo blata uporabljajo centrifugo Flottweg Z53-4.

### 3.5.3 Izbira primerne filtrske stiskalnice

Potek izbire primerljive naprave je bil v tem primeru nekoliko drugačen kot v primeru izbire ostalih primerjalnih naprav. Pri izbiri filtrskih stiskalnic namreč ni mogoče izbirati med nekaj različnimi velikostmi naprav, ampak filtrsko stiskalnico dimenzionira proizvajalec individualno glede na potrebe naročnika. Vse potrebne podatke za primerljivo filtrsko stiskalnico mi je tako za potrebe te diplomske naloge moralo posredovati avstrijsko podjetje Andritz, ki proizvaja tovrstne naprave, oziroma njihov zastopnik v Sloveniji podjetje Lesmarc+ d.o.o.

Kapaciteta in ostale lastnosti filtrskih stiskalnic je odvisna predvsem od velikosti in števila filtrskih plošč. Podjetje Andritz proizvaja filtrske stiskalnice z velikostjo filtrskih plošč od 250 x 250 mm do 2450 x 2450 mm s filtracijsko površino od 1 do 2000 m<sup>2</sup> (Priloga F). Na podlagi posredovanih podatkov o želeni kapaciteti ter začetni in želeni končni vsebnosti suhe snovi blata so v podjetju Andritz kot primerjalno napravo predlagali popolnoma avtomatizirano filtrsko stiskalnico s 70 filtrskimi ploščami s fiksnim volumnom debeline 25 mm in velikosti 800 x 800 mm. Takšna naprava ima približno 70 m<sup>2</sup> proste filtrirne površine.



Slika: Primer filtrske stiskalnice Andritz; (Vir: Proizvajalec)

### 3.5.4 Primerjava izbranih naprav za dehidracijo

Glede na začetne podatke o proizvodnji odvečnega blata sem izbral v spodnji preglednici zajete primerjalne naprave za dehidracijo blata, ki bi prišle v poštev za uporabo na CČN Domžale - Kamnik.

Preglednica 8: Primerjalne naprave za dehidracijo blata

Metoda dehidracije	Proizvajalec in tip naprave
Tračna preša	Huber Bogenpress BS 251-12
Centrifuga	Flottweg HTS Z4E-4
Filtrska stiskalnica	Andritz SE800CRWD

Izbrane naprave sem medsebojno primerjal glede na vrednost investicije in glede na približne stroške obratovanja. Največji del stroškov obratovanja predstavljata strošek porabe električne energije in strošek porabe sredstev za kondicioniranje. Ocene stroškov in primerjave so zajeti v spodnjih preglednicah ter grafih.

Preglednica 9: Primerjava stroškov investicije naprav za dehidracijo

	Celotna investicija*	Amortizacijska doba	Letni strošek
Tračna preša	118.000 €	10	11.800 €
Centrifuga	115.000 €	10	11.500 €
Filtrska stiskalnica	142.700 €	12	11.892 €

\* Navedene cene naprav so brez DDV

Preglednica 10: Primerjava ocene stroškov porabe električne energije naprav za dehidracijo

	Poraba [kWh/m <sup>3</sup> ]	Letna poraba [kWh]	Letni strošek*
Tračna preša	0,91	32.543	2.833 €
Centrifuga	1,4	50.067	4.359 €
Filtrska stiskalnica	1,3	46.491	4.048 €

\* Cena električne energije po ceniku distributerja znaša 0,08706 €/kWh + DDV

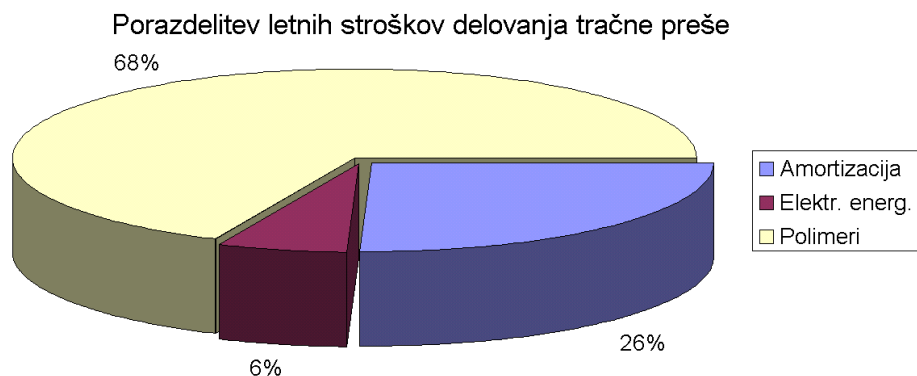
Preglednica 11: Primerjava ocene stroškov porabe polimerov pri napravah za dehidracijo

	Poraba [kg/t SS]	Letna poraba [kg]	Letni strošek*
Tračna preša	5	6.295	31.475 €
Centrifuga	6	7.554	37.770 €
Filtrska stiskalnica	6,5	8.184	40.918 €

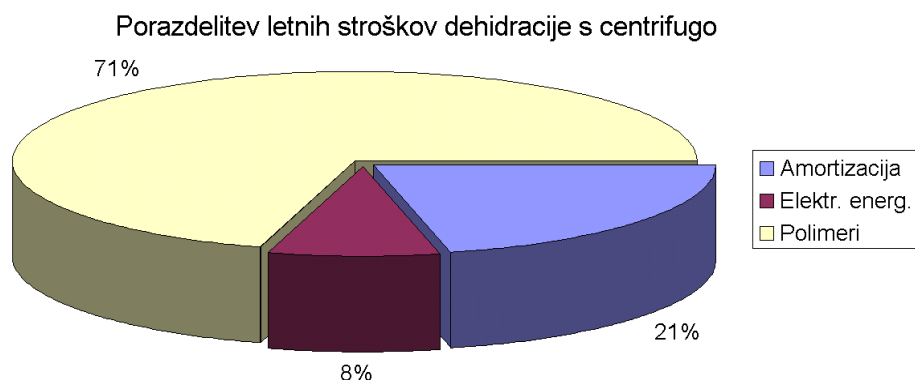
\* Cena polimera znaša 5 €/kg + DDV

Preglednica 12: Primerjava skupnih letnih stroškov pri izbranih napravah za dehidracijo

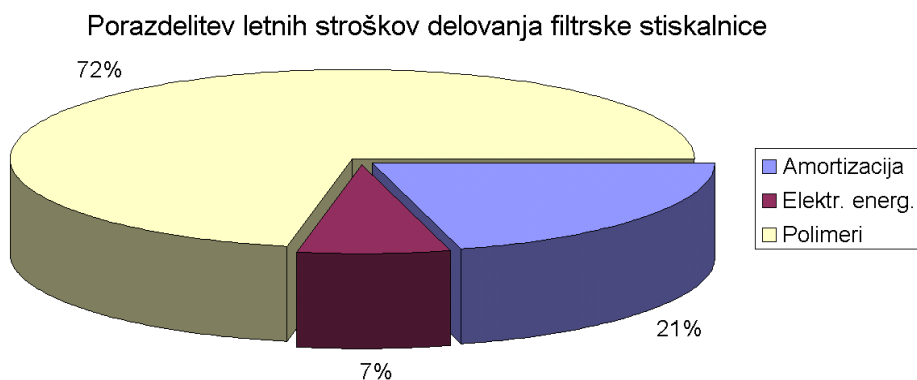
	Amortizacija	Elektr. energ.	Polimeri	SKUPAJ
Tračna preša	11.800 €	2.833 €	31.475 €	46.108 €
Centrifuga	11.500 €	4.359 €	37.770 €	53.629 €
Filtrska stiskalnica	11.892 €	4.048 €	40.918 €	56.858 €



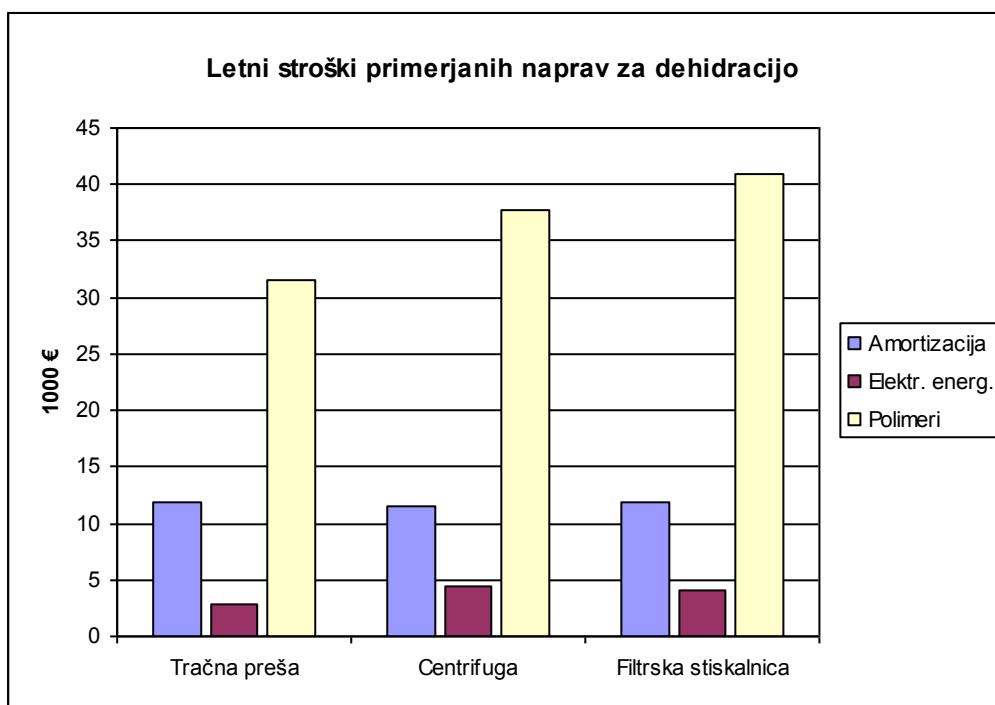
Slika 22: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja v tračne preše



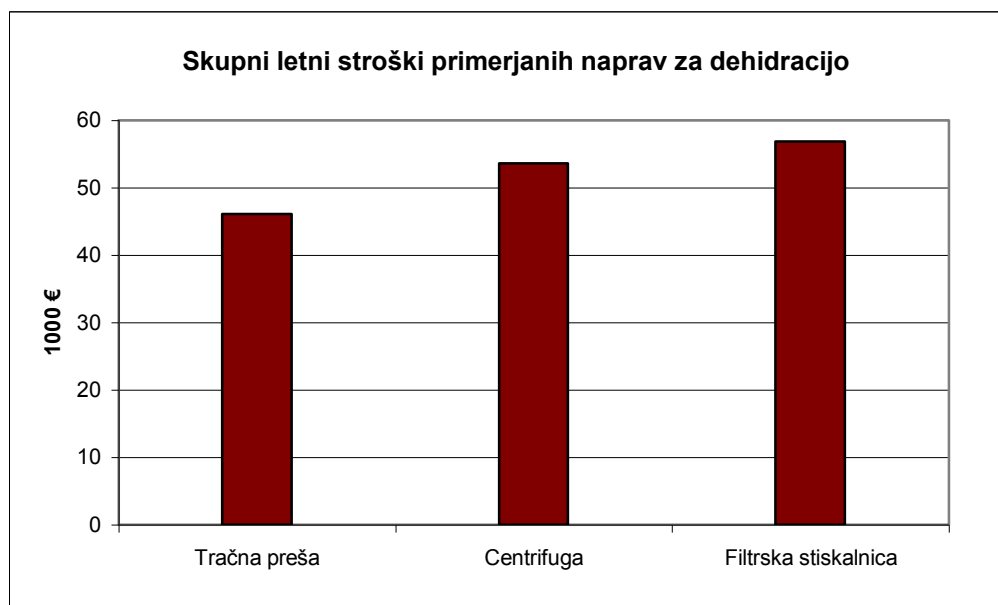
Slika 23: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja naprave za centrifugalno dehidracijo



Slika 24: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja filtrske stiskalnice



Slika 25: Graf porazdelitve letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za dehidracijo



Slika 26: Graf skupnih letnih stroškov delovanja primerjanih naprav za dehidracijo

Za razliko od primerjave naprav za zgoščevanje blata, so rezultati primerjave primerljivih naprav za dehidracijo blata na CČN Domžale - Kamnik v praktično vseh pogledih veliko bolj izenačeni. Iz vidika skupnih letnih stroškov rezultati ne ponujajo izrazitega favorita. Ne glede na to, da so primerjane naprave konstrukcijsko dokaj različne, primerjava pokaže, da je delež različnih stroškov, ki sestavljajo skupne stroške od naprave do naprave zelo podoben. Največji delež letnih stroškov (okrog 70 %) odpade na porabo sredstev za kondicioniranje. Stroški amortizacije znašajo dobrih 20 % in stroški porabe električne energije med 6 in 8%. Razlika med skupnimi stroški bi bila nekoliko večja, če bi pri izračunu amortizacije upošteval pri vseh napravah enako amortizacijsko dobo. Pri izračunu stroškov sem namreč v primeru filtrske stiskalnice za razliko od ostalih dveh naprav, kjer sem upošteval amortizacijsko dobo 10 let, upošteval amortizacijsko dobo v višini 12 let. To sem seveda storil, še preden sem vedel za izenačenost končnih rezultatov in sicer iz razloga, ker naj bi imela filtrska stiskalnica nekoliko daljšo življenjsko dobo od ostalih dveh naprav. Poudariti pa moram, da je maneverskega prostora pri sestavi in višini stroškov dehidracijskih naprav precej manjši, kot ga je v primeru primerjave naprav za zgoščevanje. Tu predvsem mislim na porabo polimerov, ki je najbolj variabilen faktor in za katere menim, da v praksi ne bi bistveno odstopali od količin zajetih v primerjavi.



Seveda pa končna izbira v praksi ni, ne more in ne sme biti odvisna le od analize stroškovne primerjave oz. najcenejše variante. To predvsem velja v primerih kot je tudi ta, ko so ocenjeni skupni letni stroški relativno podobnega reda velikosti. Primerjava je namreč pokazala, da bi bila z vidika stroškov za dehidracijo blata na CČN Domžale – Kamnik najprimernejša uporaba tračne preše. Upoštevati pa je potrebno tudi vse druge pozitivne in negativne dejavnike ter ostale značilnosti, ki jih prinaša izbira določene naprave kot so: prijaznost naprave za uporabnika, možnost pojavljanja težav, problemi z neprijetnimi vonjavami, možna stopnja izsušenosti blata, hrupnost naprave,... Prav gotovo so to tudi razlogi zaradi katerih so se odgovorni na omenjeni napravi, kljub nekoliko višjim stroškom, odločili za uporabo dehidracijske naprave v obliki centrifuge. Verjetno največ informacij glede teh lastnosti lahko oseba, ki se odloča o izbiri naprave pridobi od operaterjev, ki te naprave v praksi že uporabljajo dalj časa. Kot je omenjeno že v poglavju o izbiri primerne centrifuge, na CČN Domžale – Kamnik trenutno za dehidracijo blata uporabljajo centrifugo, ki je za en model večja od izbrane centrifuge v primerjavi, oz. kot bi bilo potrebno. To pomeni, da centrifuga ob trenutni proizvodnji odvečnega blata na CČN ni v celoti izkoriščena, oz. da je predimenzionirana.

## 4 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem skušal čim bolj pregledno in razumljivo opisati ter oceniti različne fizikalne postopke zgoščevanja in dehidracije blata na KČN. Načeloma prevladajo pri izbiri finančni stroški. Ker so ti veliki je velik interes po izboljšavah in vedno novih alternativnih postopkih, ki izpodrivajo stare, ki so dražji, manj učinkoviti in manj priročni. Prav zato sem v nalogi poizkušal na konkretnih primerih kar se da natančno in korektno določiti ter primerjati glavne stroškovne vidike delovanja različnih naprav oz. postopkov zgoščevanja in dehidracije blata.

Primerjava postopkov zgoščevanja na konkretnem primeru je pokazala, da je stroškovno daleč najugodnejši postopek gravitacijsko zgoščevanje. Primerjalna analiza postopkov zgoščevanja odvečnega blata je narejena na podlagi teoretičnih podatkov za primer KČN z 200.000 PE, medtem ko je primerjalna analiza postopkov dehidracije odvečnega blata narejena na podlagi podatkov o delovanju CČN Domžale – Kamnik za leto 2007. Primerjava postopkov dehidracije blata na primeru CČN Domžale – Kamnik je pokazala, da so postopki iz stroškovnega vidika podobnega reda velikosti. Ostale lastnosti posameznih postopkov oz. naprav, ki so poleg stroškovnih še relevantne pri odločitvi za končno izbiro določenega postopka v praksi, so v diplomski nalogi le navedene ali opisane, niso pa kakorkoli ovrednotene. Teža posameznih lastnosti je namreč preveč specifična od uporabnika do uporabnika in bi bilo nekorektno zaradi teh lastnosti vnaprej favorizirati posamezen postopek ali napravo. Te lastnosti mora ovrednotiti končni uporabnik sam, saj on najbolje pozna svoje želje in zahteve. Verjetno je v tej smeri potrebno iskati tudi razloge zakaj podobnih primerjav ni, oz. so zelo redke. Morda je dokaz za to, da določen postopek ali naprava za zgoščevanje oz. dehidracijo blata, nima vnaprej zagotovljene prednosti pred drugim tudi ta, da na KČN napravah v uporabi najdemo praktično vse v diplomski nalogi zajete postopke. Po drugi strani pa je to lahko hkrati tudi dokaz, da je taka primerjava dobrodošla pomoč pri odločitvi tistim, ki so in bodo pred odločitvijo kateri postopek zgoščevanja ali dehidracije odvečnega blata na njihovi KČN naj izberejo ter, da njihova odločitev ne bo v preveliki meri odvisna od trgovskih sposobnosti ponudnika posamezne naprave, oz. lastnega (ne)poznavanja posameznih procesov in postopkov.

## **VIRI**

McFarland J. 2001. Biosolids Engineering. ZDA, McGraw-Hill: 993 str.

Vesilind P. A. 2003. Wastewater Treatment Plant Design. Lewisburg, Pennsylvania, Bucknell University, Department of Civil and Environmental Engineering: 453 str.

Droste R. L. 1997. Theory and practice of water and wastewater treatment. ZDA, John Wiley and Sons Inc.

Panjan J. 2000. Osnove čiščenja odpadnih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Almorza D., Brebbia C.A., Sales D., Popov V. 2002. Waste Management and the Environment. Cadiz, University of Cadiz Spain: 771 str.

Epstein E. 2003. Land Application of Sewage Sludge and Biosolids. Florida ZDA, CRC Press LLC: 201 str.

Bruce A. 1984. Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection. Stevenage Hertfordshire England, Water Research Centre: 624 str.

Panjan J. 2001. Čiščenje odpadnih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 169 str.

Mikoš M. 1997. Acta hydrotechnica 15/16 (1997). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 109 str.

FSA Environmental. 2002. Case Study 11 – Dissolved air flotation. FSA Environmental: 14 str.

Haarhoff J., Bezuidenhout E. 1999. Full-scale evaluation of activated sludge thickening by dissolved air flotation. Auckland Park 2006, South Africa, Department of Civil and Urban Engineering, Rand Afrikaans University: 14 str.

Spletne strani:

Centralna čistilna naprava Domžale - Kamnik

<http://www.ccn-domzale.si> (januar 2008)

Podjetje Okolje consulting (Zastopništvo za podjetje Huber)

<http://www.okolje-c.si> (marec 2008)

Podjetje Tehnologija vode (Zastopništvo za podjetje Cosme)

<http://www.impvoda.com> (februar 2008)

Podjetje Cosme

<http://www.cosmeitalia.com/eng> (marec 2008)

Podjetje Flotweg

<http://flotweg.com> (marec 2008)

Podjetje Huber

<http://huber.de> (februar 2008)

Podjetje AJM

<http://www.ajmenviro.com.au> (januar 2008)

Podjetje Andritz iz skupine Netz

<http://www.andritz.com> (februar 2008)

Podjetje Lenntech

<http://www.lenntech.com> (januar 2008)

Podjetje Comteh (Zastopništvo za različna podjetja)

<http://www.comteh.si> (januar 2008)

<http://www.dissolvedairflotation.com> (december 2007)

Podjetje Sezam (Zastopništvo za podjetje Teknofanghi)

<http://www.sezam-race.si> (januar 2008)

Podjetje Teknofanghi

<http://www.teknofanghi.it> (februar 2008)

## PRILOGA A: COSME GRAVITACIJSKI ZGOŠČEVALNIKI



**Macchine per il trattamento delle acque reflue**  
**Machines for waste water treatment**

Via del Lavoro, 14 - 36050 QUINTO VICENTINO (VI) - ITALY  
 Tel. ++39-0444-356835 r.a. - fax ++39-0444-356897  
 Internet: www.cosmetalia.com - Email: cosme@cosmetalia.com

### SLUDGE THICKENER - TYPE ISP

#### HOW IT WORKS

The thickener is usually installed in circular basins to thicken and process sludge coming from decanters for subsequent treatment (pressing, centrifuging, etc.).

All this is achieved by some special pickets which turn very slowly to eject air still present in the sludge.

Sludge is then conveyed by some bottom scrapers to the central exit well, while excess water overflows into the duct along the top edge of basin and flow out.

The slow circular motion of the thickener is transmitted by an epicycloidal gear motor coupled to the central shaft which is placed on a bearing located on the bottom of the basin.

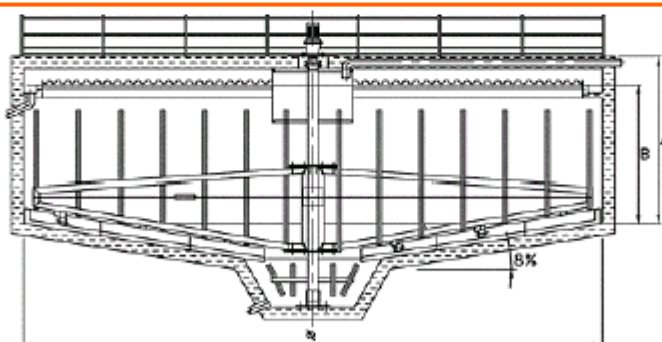


#### PRINCIPAL ADVANTAGES

Good efficiency of sludge thickening, simple installation, adjustable pickets.

#### POSSIBILITIES OF USE

Civil discharges, cattle-breeding, slaughter-house, foodstuffs industries, processing of vegetables, fruits, meat, fish.



TYPE	ISP4	ISP5	ISP6	ISP7	ISP8	ISP9	ISP10	ISP11	ISP12
∅ (m)	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A (m)	2.0 - 3.0								
B (m)	1.5 - 2.5								
Peripheric speed (m/min.)	1			2			2.7		
Power (Kw)	0.18		0.25		0.37				

## PRILOGA B: FLOTTWEG DECANTER CENTRIFUGE ZA OBDELAVO BLATA



**Flottweg**  
Separation Technology



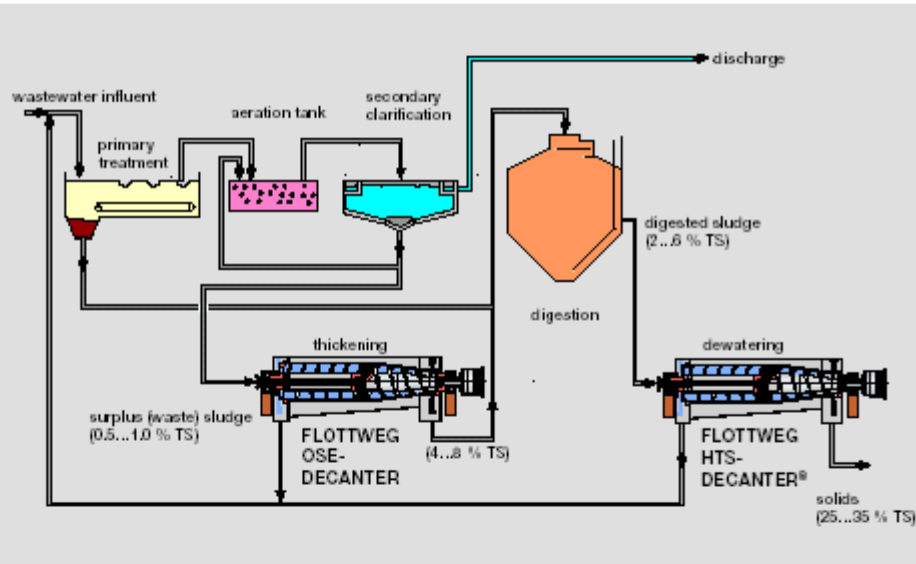
**FLOTTWEG DECANTERS**  
for water and wastewater sludges

## Clean water is an indispensable resource – efficient treatment is a basic requirement!

Modern and efficient water and wastewater treatment is the result of high removal efficiencies; the greater the removals, the higher the quantity of sludge which must be thickened and/or dewatered and further processed. In order to

accommodate the variety of water and wastewater streams, as well as to meet regulatory requirements, a number of treatment processes are used. As a result, the sludges generated vary widely in composition.

Sludges are disposed of in a number of ways including beneficial reuse, incineration, and landfilling.



Typical wastewater treatment plant: primary and biological secondary treatment

## Decanters for sludge processing

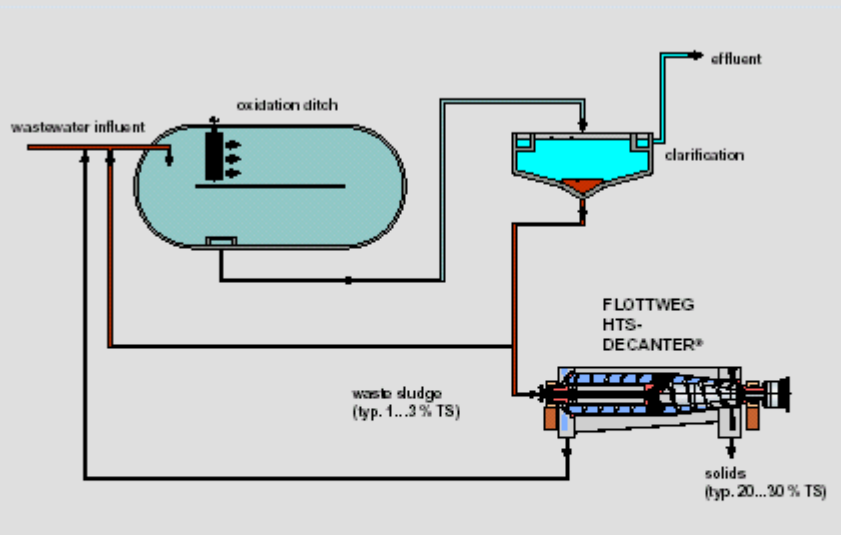
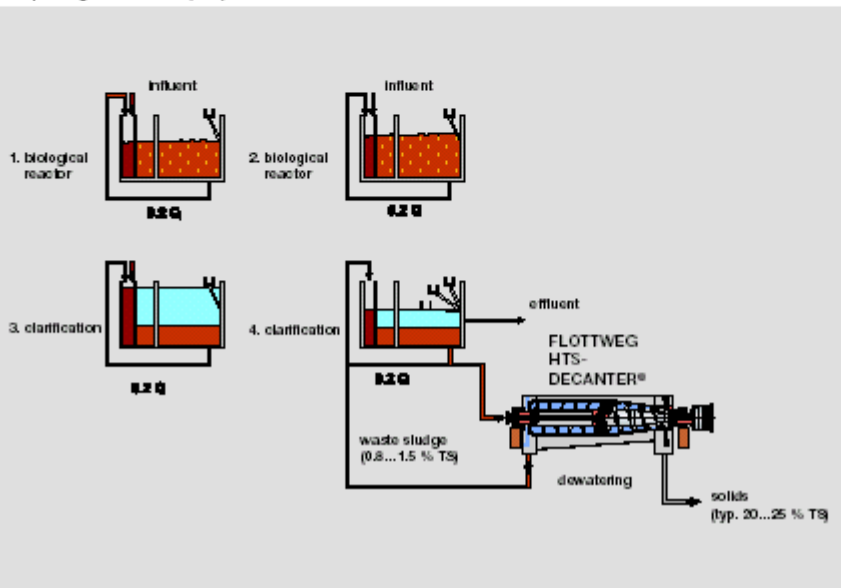
- Decanter centrifuges are used for the thickening and dewatering of a variety of sludges at different stages of wastewater and water treatment.
- ◆ Sludge dewatered in a decanter centrifuge is typically suitable for reuse or disposal, whether for agriculture, incineration or landfilling.



## FLOTTWEG DECANTERS – adaptable to a variety of flowsheets



Sequencing Batch Reactor (SBR)



Aeration plant

## FLOTTWEG OSE-DECANTERS for the thickening of sludges

Waste or surplus sludge is thickened typically from approx. 0.5 – 1 % solids to 4 – 8 % solids, thereby providing for a volume reduction of 90 – 95 %. This significantly reduces the hydraulic load to the digestion process. The digester's capacity may then be utilized more efficiently. An optimized digestion process results in an improvement of sludge quality and quantity.

Added capacity can make room for additional primary or mixed sludges!

The FLOTTWEG OSE-DECANTER (OSE = Optimum Sludge Thickening) has been developed specifically for sludge thickening and is based on years of experience. The design provides for economic process efficiency, reliability and minimal maintenance

costs. Many OSE-DECANTERS function without the need for polymer addition.

FLOTTWEG OSE-DECANTERS are available for flows ranging from 20 to 250 m<sup>3</sup>/hour (100 – 1000 gpm).



## FLOTTWEG OSE-DECANTERS – advantages in comparison to other thickening processes:

- Compact design, small footprint, while providing high flow capacity.
- Sealed construction that controls odor emissions.
- Simple to operate with continuous or automatic control systems.
- 24-hour operation with minimal supervision.
- Limited or no polymer requirements, thereby reducing operation costs.
- Low energy consumption.
- All product wetted parts are made of high quality stainless steel. Wear protection results in low maintenance and long life.
- Internal cleaning eliminates spray emissions.

## FLOTTWEG HTS-DECANTERS® for the dewatering of sludges



Cost effective dewatering must produce dry cake whether the solids are to be hauled, recycled, landfilled or incinerated.

The current FLOTTWEG HTS-DECANTER® (HTS = High Dry Substance) design began with Flottweg's Schnell-Dekanter® in the 1970s. It was developed especially for the high-solids

dewatering of sludges, and has been continually upgraded. The FLOTTWEG HTS-DECANTERS® can handle sludge flow rates from 5 to 150 m<sup>3</sup>/h (20 to 600 gpm).



## FLOTTWEG HTS-DECANTERS® – advantages in comparison to other dewatering processes:

- Rotor with long cylindrical clarifying zone and optimized cone angle provides a very high separation efficiency.
- Scroll with specially designed feed zone, clarifying zone and compaction zone results in efficient dewatering.
- High and variable bowl speed and resulting high centrifugal (G) force allows for flexibility to achieve good dewatering results despite often poor sludge quality.
- Compared to conventional decanter centrifuge designs, the dewatered sludge is up to 10% drier with minimal use of polymer.
- Solids dryness typically exceeds belt filter press dryness and often chamber filter press dryness.
- Differential speed control can regulate a consistent dryness, even with varying feed rates.
- Control systems are designed for minimal attention and continual operation.
- Floor space requirements are very low.

## Assembly and functioning of FLOTTWEG OSE and HTS-DECANTERS®

### • Scroll

The scroll rotates at a low differential speed relative to the bowl. The scroll transports settled solids toward the conical end of the bowl. In order to achieve a high degree of dryness, special design features are employed. High solids are achieved due to the compression of sludge in the conical section of FLOTTWEG HTS-DECANTERS®.

The best separation results are achieved when the solids have a long residence time in the bowl. Low differential speed of the scroll allows for a higher solids load and necessitates a high torque scroll drive.

FLOTTWEG HTS-DECANTERS® have high continuous torque capability.

### • Feed

Sludge enters the feed zone of the scroll through a central feed pipe. After pre-acceleration in the feed chamber, the sludge enters the bowl through special lined feed ports.



FLOTTWEG DECANTER 25E-4

### • Bowl

The bowl includes a conical and cylindrical section custom designed for the application. Inside the bowl, sludge reaches full circumferential speed

and clings to the bowl wall as a cylindrical ring. Under centrifugal force, the solids contained in the sludge settle to the outer periphery of the bowl.

### • Dosage of polymer flocculant aids

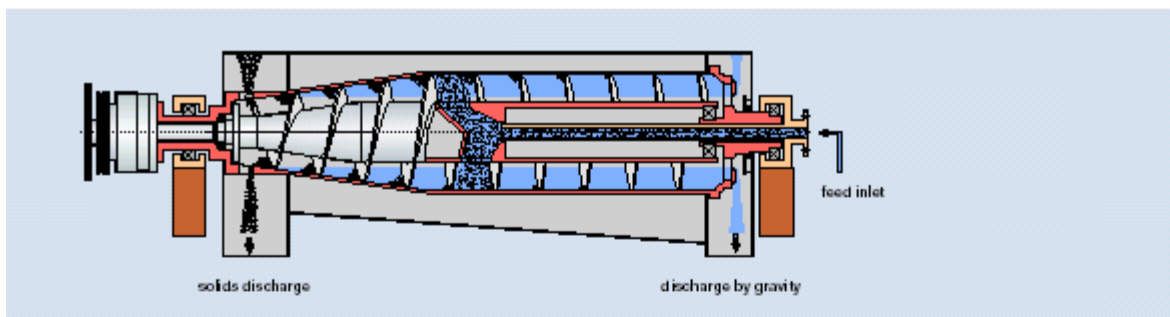
Flocculating polymers are used in sludge dewatering, and at times in sludge thickening, in order to enhance drainage and



clarification. Polymer is typically fed at the sludge feed inlet and is thoroughly mixed with the sludge in the specially designed feed zone.

● **Rotor bearing**  
 Proper bearing design for high-speed centrifuges results in long bearing life and operational safety. FLOTTWEG offers either grease or air – oil droplet lubrication. FLOTTWEG lubrication and bearing systems are energy efficient, compact, and simple.

● **Overflow weirs**  
 The clarified liquids flow toward the cylindrical end of the bowl where they exit over weir plates. FLOTTWEG has designed precisely adjustable stainless steel weir plates that enable adjustment of the pond depth. Overflow is collected in stainless steel overflow boxes beneath the centrifuge.



Liquid-solid separation – FLOTTWEG DECANTER with gravity overflow.

● **Solids discharge**  
 Solids are discharged via lined solids ports in the conical section. Solids exit the centrifuge by gravity.

● **Materials of construction**  
 FLOTTWEG uses high-quality stainless steel for all wetted areas. Bowl and scroll castings are made from centrifugal cast high strength and corrosion resistant stainless steel.

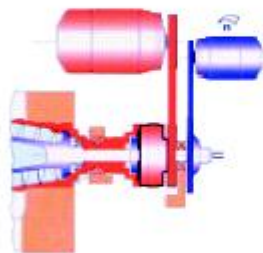
● **Wear protection**  
 All FLOTTWEG OSE and HTS-DECANTERS® have extensive protection against erosion. The scroll flights are hard-faced, full depth stainless steel with tungsten carbide flame spray protection. Scroll tiles and ceramic flight protection are optional. All feed and discharge ports are protected by replaceable port liners made from cast metal or silicon

carbide (SiC) ceramic. Other areas exposed to wear, such as the bowl wall, feed zone, and solids housing, also have replaceable wear protection.

● **FLOTTWEG SIMP-DRIVE®**

The FLOTTWEG SIMP-DRIVE® provides scroll and bowl rotation and is driven by variable speed motors and drives. Differential speed is automatically controlled relative to scroll torque. The centrifuge adapts itself to varying load conditions.

Sludge is dewatered to the maximum extent possible. At the heart of the SIMP-DRIVE® is a multi-stage planetary gear with a special designed coupling which allows for entirely independent operation of the bowl and scroll. Motors are driven by independent frequency inverters (VFDs).



You benefit from:

- high efficiency and low power demand
- a simple drive system not requiring linkage

- independent frequency inverters (VFDs) which are standard designs and simple to operate
- constant torque and high solids



■ FLOTTWEG systems

FLOTTWEG can provide systems and skids. Years of experience in the layout and manufacturing of thickening and dewatering systems enable FLOTTWEG to offer

functional solutions. We custom design and build control systems to suit your needs. FLOTTWEG centrifuge systems may be either permanent or mobile.



◆ Noise control

All FLOTTWEG OSE and HTS-DECANTERS® include a sound protection cover designed to reduce noise emission. Sound pressure varies between 75 and 85 dBA, depending on site characteristics.



## Technical Data



Type	Z4E-4	Z53-4	Z6E-4	Z73-4	Z92-4
Materials of construction	All product wetted parts are made of high grade stainless steel such as 1.4463 (Duplex centrifugal cast), 1.4571 (AISI 316 Ti), etc.				
Dimensions L W H	3500 mm (138") 1000 mm (40") 1200 mm (48")	3680 mm (155") 1620 mm (73") 1090 mm (42")	4800 mm (190") 1705 mm (68") 1500 mm (60")	4815 mm (190") 2350 mm (93") 1500 mm (60")	5740 mm (226") 2780 mm (110") 1730 mm (68")
Gross weight*	3000 kg 6700 lb	4800 kg 11000 lb	9230 kg 20000 lb	11000 kg 25000 lb	16200 kg 36000 lb
Motor for bowl drive	22 – 30 kW 30 – 40 hp	45 – 55 kW 60 – 75 hp	55 – 90 kW 75 – 125 hp	75 – 110 kW 100 – 150 hp	110 – 200 kW 150 – 300 hp
Motor for scroll drive (FLOTTWEG SIMP-DRIVE®)	4 kW 5 hp	5.5 kW 7.5 hp	5.5 kW 7.5 hp	5.5 kW 7.5 hp	7.5 kW 10 hp
Typical hydraulic feed rate	20 – 40 m <sup>3</sup> /h 90 – 180 gpm	35 – 70 m <sup>3</sup> /h 150 – 300 gpm	50 – 90 m <sup>3</sup> /h 200 – 400 gpm	90 – 130 m <sup>3</sup> /h 350 – 600 gpm	120 – 250 m <sup>3</sup> /h 500 – 1000 gpm
Optional drive	Hydraulic drive for bowl and scroll				

\* The listed figures are guidelines for information only.  
 Actual capacity depends on the characteristics of the feed.





FLOTTWEG HTS-DECANTERS®  
 for dewatering



Type	Z4E-3	Z4E-4	Z53-4	Z6E-4	Z73-4	Z92-4
Materials of construction	All product wetted parts are made of high grade stainless steel such as 1.4463 (Duplex centrifugal cast), 1.4571 (AISI 316 Ti), etc.					
Dimensions L W H	2960 mm (116") 1000 mm (40") 1200 mm (48")	3500 mm (138") 1000 mm (40") 1200 mm (48")	3880 mm (155") 1820 mm (73") 1060 mm (42")	4800 mm (190") 1705 mm (68") 1500 mm (60")	4815 mm (190") 2350 mm (93") 1500 mm (60")	5740 mm (226") 2780 mm (110") 1730 mm (68")
Gross weight*	2.600 kg 5750 lb	3000 kg 6700 lb	4800 kg 10600 lb	9230 kg 20500 lb	11000 kg 24500 lb	16200 kg 36000 lb
Motor for bowl drive	15 – 22 kW 20 – 30 hp	22 – 37 kW 30 – 50 hp	45 – 75 kW 60 – 100 hp	75 – 110 kW 100 – 150 hp	90 – 132 kW 125 – 200 hp	160 – 250 kW 200 – 400 hp
Motor for scroll drive (FLOTTWEG SIMP-DRIVE®)	4 – 7.5 kW	7.5 kW	7.5 – 15 kW	15 – 22 kW	22 – 30 kW	30 – 45 kW
Typical hydraulic feed rate	5 – 18 m <sup>3</sup> /h 20 – 60 gpm	15 – 30 m <sup>3</sup> /h 60 – 130 gpm	25 – 50 m <sup>3</sup> /h 100 – 200 gpm	40 – 70 m <sup>3</sup> /h 150 – 300 gpm	50 – 110 m <sup>3</sup> /h 200 – 400 gpm	80 – 150 m <sup>3</sup> /h 300 – 600 gpm
Optional drive	Hydraulic drive for bowl and scroll					

\* The listed figures are guidelines for information only.  
 Actual capacity depends on the characteristics of the feed.



## FLOTTWEG OSE- and HTS-DECANTERS® for the thickening and dewatering of sludges



### ● Longevity

FLOTTWEG OSE and HTS-DECANTERS® are designed to meet the unique requirements of processing sludge. They include:

- long service life
- high availability
- low maintenance and downtime

### ● Service

FLOTTWEG DECANTERS are designed and manufactured for ease of operation and maintenance.

For example, we include:

- simple, efficient bearing lubrication (grease or oil-air)
- easily accessible external gearboxes
- interchangeable rotors and scrolls
- replaceable wear parts simply done on site

FLOTTWEG'S features provide for extended online availability with minimal maintenance and downtime.

### ● ISO certification

FLOTTWEG is ISO 9001 certified and manufactures all products in compliance with the latest technical standards.

**FLOTTWEG products are designed and manufactured in GERMANY.**



### ● References

FLOTTWEG OSE and HTS-DECANTERS® are operating reliably in many municipal and industrial water and wastewater treatment plants worldwide including large municipalities such as Hamburg, Berlin, Baltimore, Rome, Athens, Los Angeles, and Sydney. Numerous other users, such as service providers, dairies, tanneries, breweries, paper mills and refineries, rely on FLOTTWEG for production efficiency.

Representative:



Flottweg GmbH & Co. KGaA  
Industriestr. 8 - 8  
84137 Vilsbiburg  
Germany

Telephone +49 8741 301-0  
Telefax +49 8741 301-300

mail@flottweg.com  
www.flottweg.com

## PRILOGA C: HUBER ZGOŠČEVALNIKI Z GRAVITACIJSKIMI PASOVI

**HUBER**  
TECHNOLOGY

### HUBER Drainbelt DB



Belt thickener for efficient and economical sludge thickening



The Quality  
Company –  
Worldwide



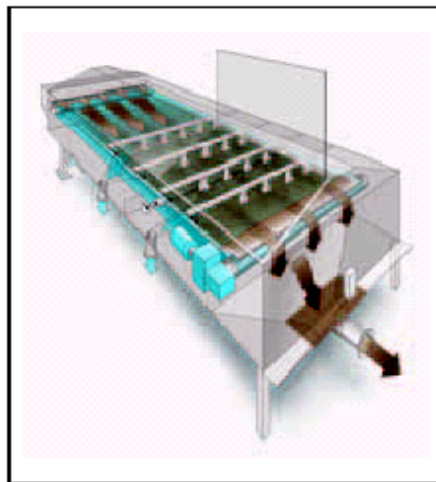
## ►► The Machine – Its Advantages

- Reduction of ballast water in the digestion tank by up to 90 %
- Less digester supernatant
- Rapid liquid/solids separation with biological phosphorus precipitation
- No return of phosphorus into water
- Reduction of transport volume
- Reduction of disposal costs
- Low coagulant agent demand
- Low energy consumption
- Easy to maintain and operate

An adjustable eccentric screw pump conveys the sludge to a high-performance mixing device where it is intensively mixed with the diluted polymer solution. The flocculated sludge then passes a feeding box and is distributed smoothly onto the Drainbelt. The sludge flocks are then gently settling on the rotating filter cloth and the water separated by flocculation flows through

the filter belt into the filtrate pan. To improve pre-thickening, the filter belt is equipped with special pillow-blocks that restack and scarify the filter cake, which results in a rapid liquid/solids separation. The sludge is thickened to a dry solids concentration of 6-8%. Due to the pillow-blocks the belt surface can be reduced to a minimum. This results in a compact and space-saving machine design.

The separated filtrate is collected in a basin integrated in the machine and reused as wash water to clean the filter belt. The surplus filtrate flows back to the sewage treatment plant and is virtually free of solids.



Hans Huber AG

Maschinen- und Anlagenbau  
Postfach 63 · D-92332 Berching

Telephone: +49-8462-201-0  
Telefax: +49-8462-201-810  
e-mail: [info@huber.de](mailto:info@huber.de)  
Internet: [www.huber.de](http://www.huber.de)

Subject to technical alteration

HUBER  
Drainbelt DB

**Technisches Datenblatt HUBER DrainBelt DB / TwinBelt TB**

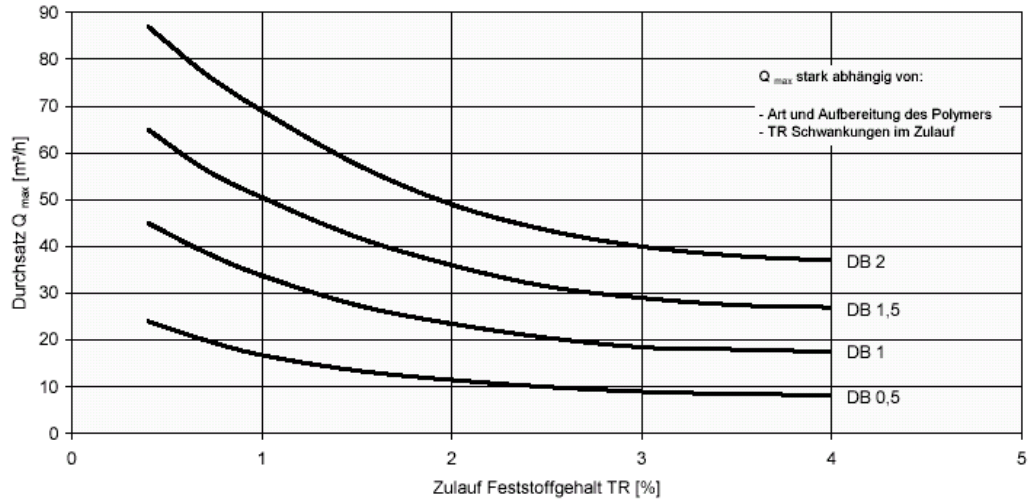
Bezeichnung	Werkstoff	DB	TB	Einheit
Gehäuse	1.4301			
Filtratwannen	1.4301			
Siebbänder	PES			
Bandlänge		6660	2 x 8660	mm
Spez. effektive Filterfläche		3	8	m <sup>2</sup> /m
Bruchlast		1740		N/mm
Luftdurchlässigkeit		3350		l/m*s
Maschenweite		540		µm
Dicke		1.80		mm
Gewicht		1250		g/m <sup>2</sup>
Min. Bandgeschwindigkeit		5,0	5,0	m/min
Max. Bandgeschwindigkeit		27	27	m/min
Bandführung	PE 1.4301	mechanisch		
Bandspannung	mechanisch, mittels Gewindestange			
Abstreifer	PE			
Dichtprofile	EPDM/PVC			
Schikanen	PE			
<b>Walzen</b>				
Durchmesser Antriebswalzen	gummiert EPDM	204		mm
Durchmesser Umlenkwalze	ribsaniert, PA 12	204		mm
Walzen allg.	1.0421			
Zapfen und Wellen	1.4301	70		mm
<b>Lager (alle)</b>				
Lagergehäuse	GG verzinkt			
Rillenkugellager		Typ 212		
<b>Spülwasserversorgung</b>				
Spritzrohre	1.4571 1.4439	Spritzrohr Düsenplättchen		
Spülwasser	Brauchwasser, faserfrei, Partikelgröße < 80 µm			
Betriebsdruck		6		bar

Bezeichnung	DB 0,5	DB 1,0	DB 1,5	DB 2,0
Bandbreite [mm]	700	1200	1700	2200
Effektive Filterbreite [mm]	500	1000	1500	2000
Effektive Filterfläche [m <sup>2</sup> ]	1,5	3	4,5	6
Leergewicht [kg]	750	1000	1600	2000

Bezeichnung	TB 1,5	TB 2,0
Bandbreite [mm]	1700	2200
Effektive Filterbreite [mm]	1500	2000
Effektive Filterfläche [m <sup>2</sup> ]	12	16
Leergewicht [kg]	3600	4800

Schlammverdickungsanlage DB  
 maximale Durchsatzleistung über Feststoffgehalt

Auslegungshinweise - keine Garantiewerte



**Produkt: HUBER Drainbelt, DB**

Ansprechpartner: hbw

Baugröße	Leistung [kW]	Drehzahl [U/min]	Nennstrom [A]	Ex-Schutz	Spannung [V]	Frequenz [Hz]	Schutzart	Bemerkung	Gültig ab Datum / Auftrags-Nr.	Motor-Artikel-Nr.
DB 0,5	0,75	23	3,5	nein	230 Dreieck	50	IP66		07.02.2006	704138
DB 1	0,75	23	3,5	nein	230 Dreieck	50	IP66		11.04.2006	704138
DB 1,5	0,75	23	3,5	nein	230 Dreieck	50	IP66		11.04.2006	704138
DB 2	0,75	23	3,5	nein	230 Dreieck	50	IP66		11.04.2006	704138

## PRILOGA D: HUBER ZGOŠČEVALNIKI V OBLIKI ROTACIJSKEGA BOBNA

**HUBER**  
TECHNOLOGY



### ROTAMAT® Screw Thickener RoS 2



- Highly efficient, flexibly applicable unit
- The closed system eliminates production of aerosol and odor.
- Wear resistant stainless steel wedge wire
- High separation capacity, clear filtrate, maximum solids retention



The Quality  
Company –  
Worldwide



#### **The necessity for continuous sludge thickening**

Further treatment of thin sludge without prior mechanical pre-thickening causes problems. Especially the efficiency of digesters is poor with low-concentration thin sludge and unnecessarily big volume digesters and storage tanks would be required.

#### **Applications of the Screw Thickener:**

- Primary sludge (mechanical preliminary treatment)
- Secondary sludge (activation, secondary clarification)
- Tertiary sludge (precipitation, flocculation)
- Digested sludge
- Combined sludge
- Sludge from numerous types of industrial wastewater
- Fine particles of process water

#### ➤➤ The solution:

#### **Screw Thickener for continuous sludge thickening**

The sludge to be processed is pumped into the Screw Thickener by a delivery pump. The ready-to-use polymer is continuously prepared in a conditioning plant and added to the sludge proportionally to the solids amount. Intensive mixing is achieved by the special HUBER injection and mixing system in the sludge line.

A preceding flocculation reactor with stirrer ensures a sludge floc quality that allows thickening of the stabilized flocks.

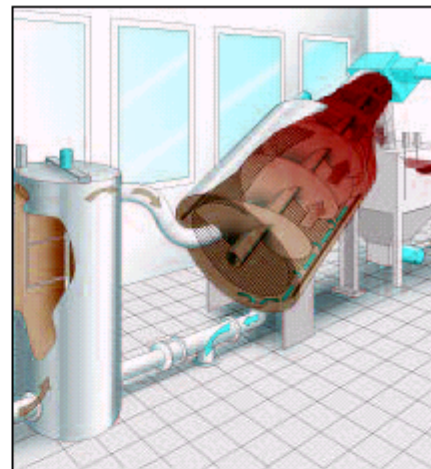
While the sludge is gently conveyed along a cylindrical stainless steel wedge wire by a slowly operating screw conveyor, the filtrate is discharged through the wedge wire.

Wedge wire cleaning is performed during screw operation by means of brushes on the screw flights and

intermittent washing from the outside. The thickened sludge is introduced into a storage tank prior to being passed on to further treatment by a delivery pump.

#### ➤➤ We offer for your benefit:

- Improved efficiency of digesters and increased biogas yield
- Reduced size of sludge storage tanks
- Low wash water demand due to discontinuous wedge wire cleaning
- Low energy demand
- Completely encapsulated, odour-free plant
- Wear is reduced to a minimum and noise eliminated due to the low speed of the screw conveyor
- High operational reliability



Hans Huber AG

Maschinen- und Anlagenbau  
Postfach 63 · D-92332 Berching

Telephone: +49 - 8462 - 201 - 0

Telefax: +49 - 8462 - 201 - 810

e-mail: [info@huber.de](mailto:info@huber.de)

Internet: [www.huber.de](http://www.huber.de)

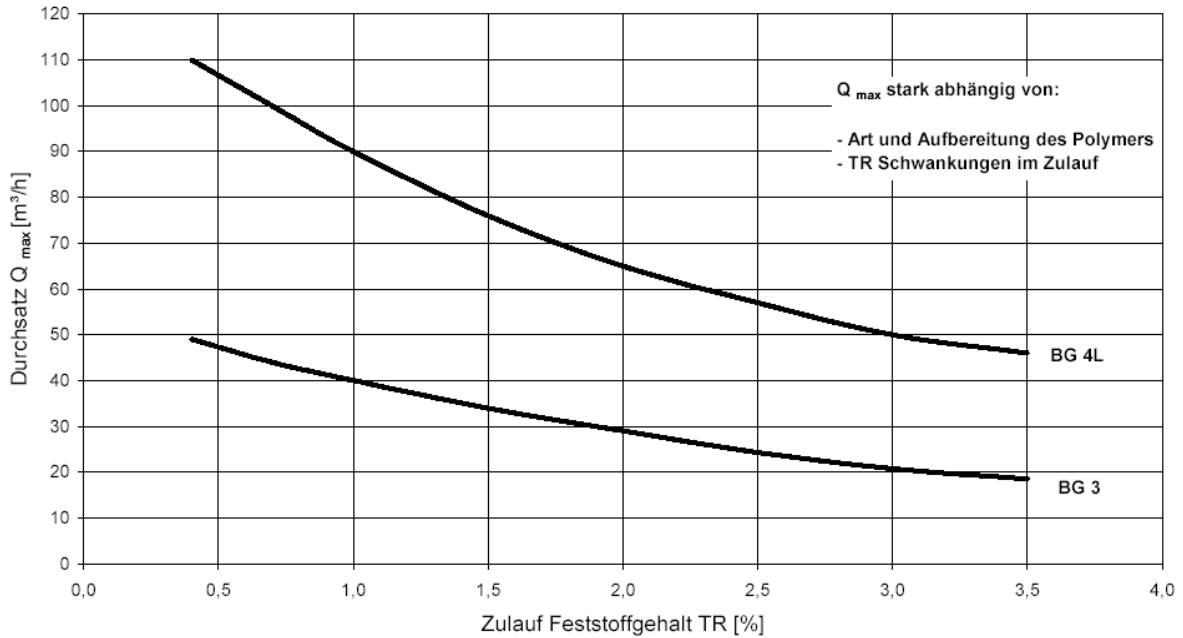
Subject to technical alteration

ROTAMAT®  
Screw Thickener RoS 2



ROTAMAT Schneckeneindicker RoS 2, Baugröße 3 / 4L  
 maximale Durchsatzleistungen über Feststoffgehalt

Auslegungshinweise - keine Garantiewerte



**Motordaten**

**Produkt: ROTAMAT® Schneckeneindicker, RoS 2**

Ansprechpartner: ba

Baugröße	Leistung [kW]	Drehzahl [U/min]	Nennstrom [A]	Ex-Schutz	Spannung [V]	Frequenz [Hz]	Schutzart	Maschinen-tell	Bemerkung	Gültig ab Datum / Auftrags-Nr.	Motor-Artikel-Nr.
Alle	0,04	10,5	0,305	nein	400 Stern	50	IP65	Spritzdüsenkorbantrieb		01.02.96	702117
BG 3	0,18	6,3	0,63	nein	400 Stern	50	IP 65	Rührer für Reaktor		01.09.96	702135
BG 3	1,5	5,8	3,6	nein	400 Stern	50	IP65	Schneckenwellenantrieb		01.02.96	702116
BG 4	0,25	3,0	1,47	nein	230 Dreieck	50	IP65	Rührer für Reaktor		01.09.2001	703356
BG 4	3,0	3,6	11,1	nein	230 Dreieck	50	IP65	Schneckenwellenantrieb			702128
BG 4L	3	5,5	6,8	nein	400	50	IP65	Schneckenwellenantrieb		22.01.2003	704558
BG 4L	0,18	6,3	0,63	nein	400 Stern	50	IP 65	Rührer für Reaktor		25.01.06	702136

## PRILOGA E: HUBER TRAČNE PREŠE

**HUBER**  
TECHNOLOGY



### HUBER Bogenpress BS



Belt filter press for municipal and industrial sludge  
High-performance belt filter press for best dewatering results  
Combi-unit: Thickening and dewatering in one working process



The Quality  
Company –  
Worldwide



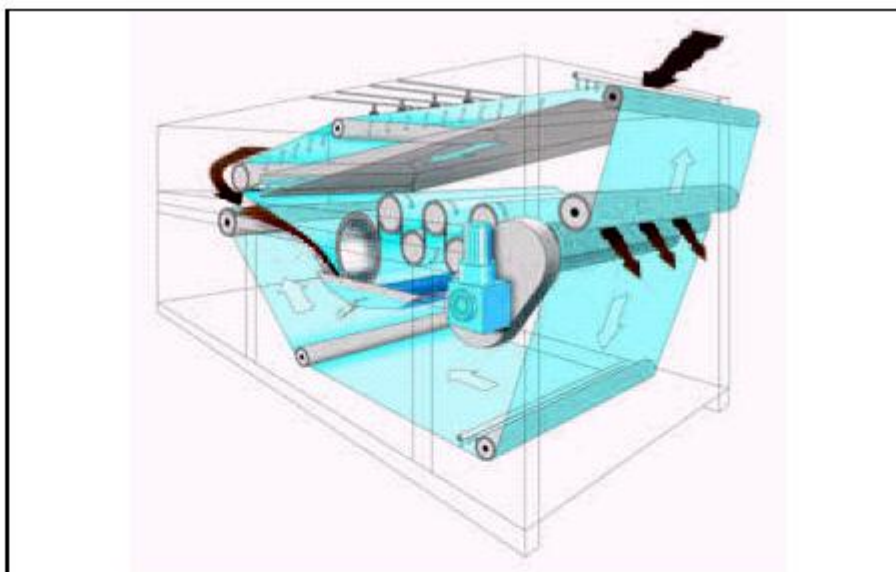
## ► The Machines – Their Advantages

### **Bogenpress BS**

A new, extended high-performance pre-dewatering zone with chicanes, the bow zone, plus two perforated dewatering rolls ensure optimal pre-treatment and compaction of the flocculated sludge so that it can be exposed to maximum pressure in the following high pressure zone which is equipped with press rolls decreasing in diameter (4, 6, 8, or 10 rolls). This process guarantees highest dewatering results. The machine is equipped with detachable covers to provide easy access to moving machine parts.

### **Bogenpress BS Combi**

The BS Combi version has a belt thickener (Drain Belt) mounted on the actual Bogenpress. The sludge is at first pre-thickened on the belt thickener prior to passing through the dewatering zones of the Bogenpress. The combination system is able to handle up to 80 m<sup>3</sup>/h. Another advantage of the system is that coagulant agent addition is required only once for both the thickening and dewatering process.



*HUBER Bogenpress BS with 8 rolls*

Hans Huber AG

Maschinen- und Anlagenbau  
Postfach 63 · D-92332 Berching

Telephone: +49 - 84 62 - 201 - 0  
Telefax: +49 - 84 62 - 201 - 810  
e-mail: [info@huber.de](mailto:info@huber.de)  
Internet: [www.huber.de](http://www.huber.de)

Subject to technical alteration

**Bogenpress BS**

## Bogenpresse BS

### Durchsatz- und Entwässerungsleistungen

Anlagentyp	max. Durchsatzleistung	
	[m <sup>3</sup> /h]	[kgTR/h]
BS 121	10	400
BS 181	15	600
BS 251	25	1000
BS 121 Combi (DB1,0)	40	400
BS 181 Combi (DB 1,5)	60	600
S 251 Combi (DB2,0)	80	1000

Abscheidegrad	95 %
---------------	------

Schlammart  ca. Glühverlust [%]	Zulauf  [% TR]	Erreichbarer Austrag [%TR]			FHM Bedarf  [kgWS/tTR]
		Anzahl Entwässerungs- Presswalzen			
		8	10	12	
Ausgefaulter Schlamm 50 - 56	2,5 – 4,0	21 - 24	24 - 27	28 - 35	3 - 5
Aerob stabilisierter Schlamm 60 - 75	1,5 – 3	17 - 20	20 - 23	24 - 28	4 - 7
Überschussschlamm aus Biologie 70 - 85	0,8 – 1,2	15 - 17	17 - 19	20 - 23	5 - 8
Rohschlamm aus Vorklärung 45	1,5 – 3,0	26 - 29	30 - 34	> 35	2 - 4
Rohschlamm aus Primär- und Überschussschlamm 65 - 75	2,5 – 4,0	17 - 20	20 - 23	24 - 28	3 - 6
Flotatschlamm aus US-Flotation 75 - 85	3,0 – 5,0	14 - 16	16 - 18	18 - 20	4 - 7

Diese Angaben sind Anhaltspunkte und dürfen nicht als Garantiewerte angegeben werden.

Für Schlämme aus der Industrie sind immer genaue Falluntersuchungen notwendig. Besser Versuche, wenn möglich.

## PRILOGA F: ANDRITZ FILTRSKÉ STISKALNICE



Vollautomatische  
**Hochleistungs-Filterpressen**

# Vollautomatische Hochleistungs-Filterpressen

Durch die Akquisition von R&B und NETZSCH Filtrationstechnik wurde Andritz weltweit führender Lieferant von Filterpressen in hochwertiger Ausführung, die im kommunalen Bereich und in der industriellen Produktion zum Einsatz kommen. Die kunden- und produktspezifischen Anforderungen werden durch eine optimale Anpassung der Maschinenkonstruktion unter Einsatz innovativer und erprobter Technologien im Bereich der Automatisierung und Verfahrenstechnik individuell gelöst.

In vielen Bereichen kann Andritz heute auf reichhaltige Erfahrung bei der Filtration und den damit verbundenen Prozessschritten zurückgreifen.

Das Lieferprogramm umfasst Rahmen-, Kammer- und Membranfilterpressen ab Format 250x250 bis 2450x2450 mm mit Filterflächen von 1 m bis 2000 m<sup>2</sup> und Filtrationsdrücken von 7 bis 60 bar.



## Anwendungen



### Chemische Produkte und Pigmente

Unsere Filterpressen haben stets eine führende Rolle bei der Entwicklung von Farbstoffen, Pigmenten, Füllstoffen und anderen chemischen Zwischenprodukten gespielt. Hierbei sehr wichtige Funktionen sind oft spezielle Anforderungen an den Korrosionsschutz sowie die langfristige Zuverlässigkeit der Maschinenfunktionen.

**Anwendungstechniken:**  
 Farbpigmente  
 Säuren (Phosphor-, Schwefel-, Amino-, Kieselsäure)  
 Titandioxid  
 Bariumsulfit  
 Stearate  
 Silikate  
 Laugen  
 Lösungsmittel  
 Füllstoffe  
 Kaliumcarbonat  
 Glyzerin



### Metallurgische Produkte und Erze

Hochkorrosive Trüben bei der Herstellung von Blei, Zink, Mangan und anderen Metallen erfordern ein Höchstmaß an Korrosionsschutz. Gemeinsam mit Marktführern dieser Industrie haben wir über einen langen Zeitraum hinweg Speziallösungen entwickelt. Die Entwicklung von großen und schnell arbeitenden Filterpressen ermöglicht es uns, auch größte Erzaufbereitungsanlagen auszurüsten.

**Anwendungstechniken:**  
 Neschwamische Gewinnung von:  
 Titan  
 Kupfer  
 Blei  
 Zinn  
 Nickel  
 Zink  
 Silber  
 Gold



### Minerale und anorganische Produkte Bergbau

Seit der Entwicklung der ersten Filterpressen zur Filtration von Kalkmilch gilt die Druckentwässerung als die geeignetste und zuverlässigste Technik zur Entwässerung anorganischer Minerale. Andritz liefert für diesen Bereich Hochdruck-Filterpressen bis zu einem Filtrationsdruck von 60 bar.

**Anwendungstechniken:**  
 Kalkmilch  
 Keramik  
 Porzellan  
 Ton  
 Bleicherde (Bentonit)  
 Zement  
 Erze  
 Rotalufenergusschlümmo  
 Kohle



### Industrie- und Kommunalabwässerschlämme

Die Minimierung der Abfallentsorgungskosten und die Bereitstellung von sauberem Wasser gehören zu den Grundüberlegungen bei der Planung einer neuen Fabrik oder Kläranlage. Andritz verfügt über eine Produktpalette, die eine individuell angepasste technische Lösung zulässt.

**Anwendungstechniken:**  
 Galvanik  
 Lackproduktion  
 Bakzol  
 Niesensstaubung  
 Rauchgasreinigung  
 Steinbearbeitung  
 Eisen- und Stahl-, Glas-, Textil-, Papier-, Automobil- und Elektroindustrie  
 Primär-, Sekundär-, Mischschlamm  
 Baktschlamm  
 Faulschlamm  
 Trinkwasserschlämme



### Nahrungsmittel und Pharmazie

Die Herstellung empfindlicher Produkte mit einem geringen Verunreinigungsgrad geht immer schon ab eine bevorzugte Anwendung für Filterpressen. Andritz verfügt über weit reichende Erfahrungen bei der Filtration von Produkten und Abfallströmen aus diesen Industriebereichen.

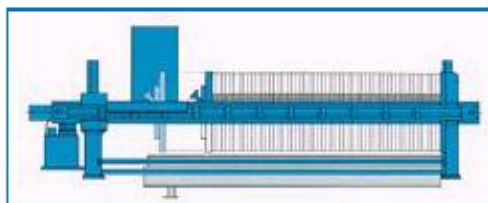
**Anwendungstechniken:**  
 Stärke, Rohrzucker  
 Stärke, Rohrzucker  
 Tapioka, Maniok  
 Hefe  
 Weizen, Sojabohnen  
 Pflanzenöle & tierische Öle und Fette (Palmöl, Rapskohlöl, Fischöl, Milchfett etc.)  
 Sojabohnen (Agar Agar)  
 Gelatine  
 Whiskey, Rotwein, Bier, Wein  
 Blutplasma, Enzyme

## Filterpressensysteme

- Seitenholmkonstruktion:

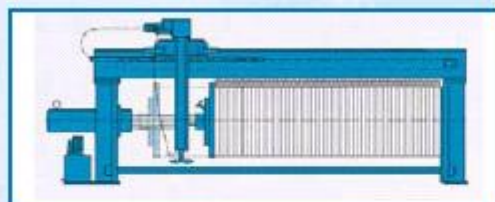
- Von einfachen manuellen bis hin zu vollautomatischen Ausführungen
- Höchster Automatisierungsgrad auch bei stark klebenden Filterkuchen
- Vergleichsweise geringes Baugewicht

Hydraulischer Verschluss über Druckzylinder für Plattenformate bis 2000 x 2000 mm und Filtrationsdrücke bis 50 bar



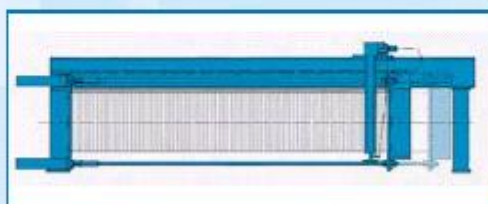
- Brückenholmkonstruktionen:

- Freier Zugang zum Plattenpaket
- In Chemieausführung (max. Korrosionsschutz) auch ideal für sehr aggressive Medien
- Massive und robuste Konstruktion für rauen Betrieb



Hydraulischer Verschluss über Druckzylinder für Plattenformate bis 2000 x 2000 mm und Filtrationsdrücke bis 60 bar

Hydraulischer Verschluss über Zugzylinder für Plattenformate bis 2450 x 2450 mm und Filtrationsdrücke bis 50 bar



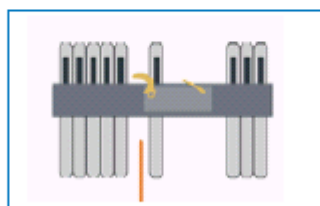
## Modulsystem

Da die Anforderungen in der Industrie, wie auch im kommunalen Bereich, äußerst vielfältig sind, baut Andritz seine Filterpressen modular auf. Verschiedene Ausstattungsmodule - weitestgehend aus korrosionsbeständigem Edelstahl gefertigt - ergänzen die Grundausführung der Andritz Filterpresse. Damit erfüllen diese die unterschiedlichsten Prozessanforderungen.

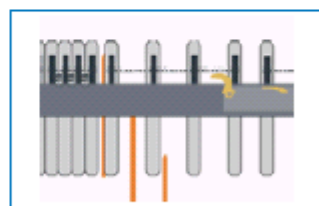
### Plattentransportsysteme

- Seitenholmausführung

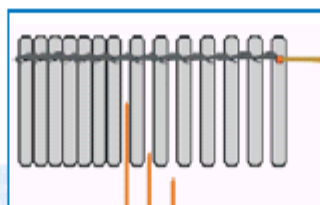
- Vollautomatische Verschiebung der Filterplatten (Entleerung)
- Hydraulisch regelbare Verschiebegeschwindigkeit
- Rückhaltung bei klebenden Filterkuchen
- Antrieb vor Produktkontakt geschützt



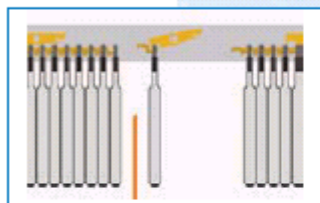
Einbahnführung



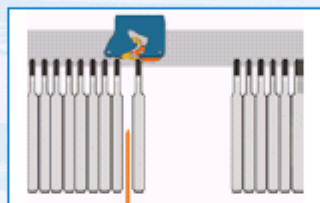
4-bahnige Verteilung



Paketschnellenführung



Umlaufende Kette mit Plattenverriegelung



Fixierte Edelstahlführung

- Brückenholmausführung

- Vollautomatische Verschiebung der Filterplatten (Entleerung)
- Einzelverriegelung der Filterplatten
- Antrieb vor Produktkontakt geschützt

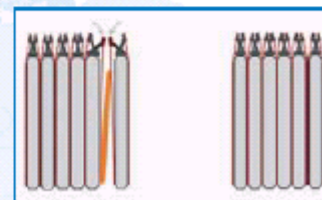
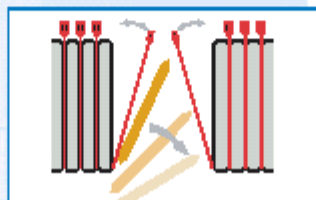
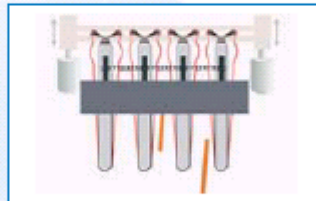


Der Forderung nach Automatisierung sind wir durch permanente Forschung und Entwicklung nachgekommen und sind somit in der Lage - je nach Anwendung - das entsprechende Kuchenaustragssystem sowohl für Seitenholm- als auch für Brückenholmausführungen anzubieten. Auch bestehende Anlagen können unter bestimmten Voraussetzungen nachgerüstet werden.

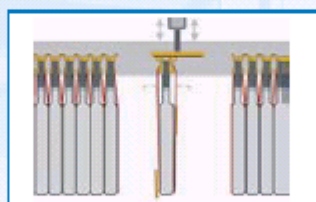
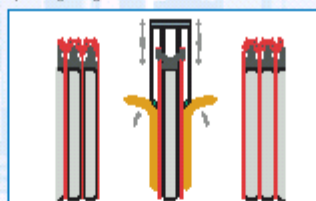
### Kuchenaustragssysteme

- Seitenholmausführung

- ➔ Vollautomatischer Kuchenaustrag bei leicht klebenden Filterkuchen
- ➔ Optische Überwachung des Filterkuchenaustrags



- ➔ Vollautomatischer Kuchenaustrag bei stark klebenden Filterkuchen
- ➔ Optische Überwachung des Filterkuchenaustrags

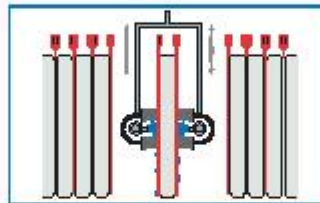


- Brückenholmausführung

- ➔ Vollautomatischer Kuchenaustrag bei leicht klebenden Filterkuchen
- ➔ Einstellbare Frequenz abgestimmt auf das Ablöseverhalten des Filterkuchens

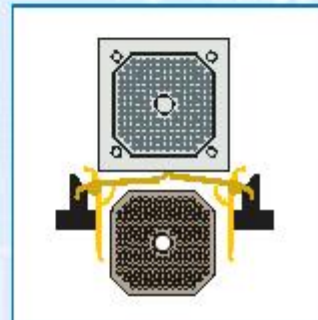
### Weitere Ausstattungsmodule

- Seiten- und Brückenholmausführung
- Vollautomatische Reinigung der Filtertücher
- Waschdruck bis 100 bar
- Ausgezeichnete Abschottung des Spritzwassers



Filtertuchwaschvorrichtung

- Schutz vor Tropfwasser während der Filtration
- Schutz des abgeworfenen Filterkuchens während des Filtertuchwaschens



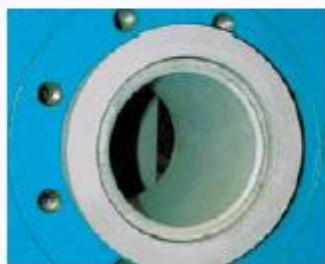
Abklappen



## Korrosionsschutz

Sehr wichtige Kriterien zur Auswahl einer Filterpresse sind oft die Anforderungen an den Korrosionsschutz, an die langfristige Zuverlässigkeit der Maschinenfunktionen und die Auswahl der Filterplatten. Diese müssen extrem korrosiven, mechanischen und thermischen Einflüssen widerstehen. Andritz Filterpressen sind weltweit anerkannte und bewährte Maschinen zur Lösung von schwierigen und aggressiven Einsatzfällen.

Individuell für jede Korrosionsanforderung bietet Andritz die optimale Lösung:



Polypropylenverkleidung  
z.B. für  $H_2SO_4$ -Anwendungen

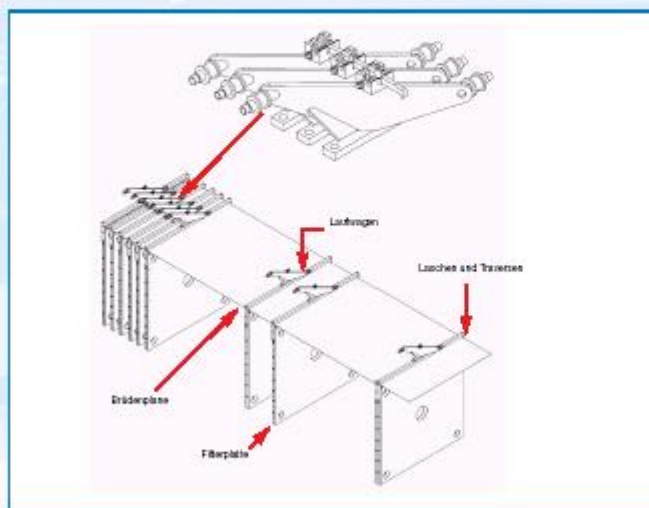


Edelstahlverkleidung  
für den Nahrungsmittelbereich,  
z.B. für Biermaische



Gummierung aller produktberührten  
Teile  
für extrem aggressive Anwendungen,  
z.B. Dünnsäurerecycling

Durch die spezielle Plattenaufhängung (Laschen und Traversen) sowie die Brückenplatte über der Platte wird der Plattentransportmechanismus der Brückenholmmaschine vor Verunreinigungen geschützt und garantiert einen fehlerfreien Betrieb.





#### Immer in Ihrer Nähe:

##### Deutschland

Andritz Separation GmbH  
Dillenburg Str. 100  
51106 Köln  
Tel. +49 221 9856-0  
Fax +49 221 9856-119  
E-mail [separation.de@andritz.com](mailto:separation.de@andritz.com)

##### Andritz Filtrationstechnik GmbH

Getränk-Nutzsch-Str. 19  
95100 Selb  
Tel. +49 9287 75700  
Fax +49 9287 75704  
E-mail [filtration.de@andritz.com](mailto:filtration.de@andritz.com)

##### Slowakei

Andritz Jochman Filtracná technika, s.r.o.  
Fadrinského 19  
05201 Spišská Nová Ves  
Tel. +421 53 4198 110  
Fax +421 53 4198 161  
E-mail [filtration.sk@andritz.com](mailto:filtration.sk@andritz.com)

##### Großbritannien

Andritz Ltd.  
Spaxwell Road, Parkhouse East  
Newcastle-under-Lyme  
Staffordshire ST15 7JG  
Tel. +44 1822 666656  
Fax +44 1822 666130  
E-mail [welcometoandritzuk.com](mailto:welcometoandritzuk.com)

##### Brasilien

ANDRITZ Separation Indústria e Comércio de  
Equipamentos e Filtração Ltda.  
Rua Hermann Waage, 2383 –  
Prédio 4 – Centro  
89.107-000 Pomarode – SC  
Tel. +55 47 387 8222  
Fax +55 47 387 8440  
E-mail [filtration.br@andritz.com](mailto:filtration.br@andritz.com)

##### USA

Andritz Filter Press Inc.  
110 Picketing Way  
Exton, PA 19341  
Tel. +1 610 963 8010  
Fax +1 610 963 0971  
E-mail [filtration.us@andritz.com](mailto:filtration.us@andritz.com)

##### China

Andritz Filtrationstechnik GmbH / P.O. Shanghai  
Room 2402, Unicom International Tower  
547 Tunan West Road  
Shanghai - 200070  
Tel. +86 21 63535672  
Fax +86 21 63537256  
E-mail [filtration.cn@andritz.com](mailto:filtration.cn@andritz.com)

##### Singapur

Andritz Singapore Pte. Ltd.  
25 Tuas Ave. 4  
Singapore 63 83 75  
Tel. +65 6863-4466  
Fax +65 6863-4482  
E-mail [separation.sg@andritz.com](mailto:separation.sg@andritz.com)

##### Indien

Andritz Separation Pvt. Ltd.  
Plot No. 1951-B Acled Colony  
Anna Nagar Western Extension  
Chennai 600 101  
Tel. +91 44 2615 3750 oder 51  
Fax +91 44 2615 4741  
E-mail [separation.in@andritz.com](mailto:separation.in@andritz.com)

Andritz AG  
Separation Technologies  
Stallagger Str. 18, A-8045 Graz  
Tel. +43 316 6902-2318 / Fax +43 316 6902-453  
E-mail [separation@andritz.com](mailto:separation@andritz.com)  
Internet: [www.andritz.com](http://www.andritz.com)

**ANDRITZ**