



## Rapport

Diarienummer                      Projektnummer  
NV Rapport 2022-01      Examensarbete, 15 hp

## Jämförelse av två slamavvattningstekniker

---

Examensarbete – Kemiteknik

**Sosena Mergia**

KTH i samarbete med Norrvatten

2022-01-31



EXAMENSARBETE INOM KEMITEKNIK,  
GRUNDNIVÅ, 15 HP  
STOCKHOLM, SVERIGE 2021

# Jämförelse av två slamavvattningstekniker

SOSENA MERGIA



*Vattenverksslam som har avattnats vid Görvälnverket (foto: Frida Hugg)*

# EXAMENSARBETE

Högskoleingenjörsexamen  
Kemiteknik

Titel: Jämförelse av två slamavvattningstekniker

Engelsk titel: Comparison of two sludge dewatering technologies

Sökord: Slam, vattenverk, filterpress, centrifug, avvattning

Arbetsplats: Görvälverket

Handledare på  
arbetsplatsen: Frida Hugg

Handledare på  
KTH: Mats Jansson

Student: Sosena Mergia

Datum: 2021-12-20 (inlämningsdatum, sista version)

Examinator: Mats Jansson

## Sammanfattning

Norrvatten är en dricksvattenproducent i norra Storstockholm och har som uppdrag att leverera dricksvatten till sina medlemskommuner.

Norrvattens vattenverk, Görvälnverket står idag i ett skede med en utbyggnad av verket då vattenproduktionen beräknas att stiga framöver. Detta kommer att medföra en ökad slamproduktion och det i sin tur innebär att kapaciteten på nuvarande slamanläggning behöver ökas. I dagsläget används två centrifuger för slamavvattning. Tidigare försök har visat på att en filterpress kan ge en högre torrsustanshalt på slammet. Utifrån detta önskar Norrvatten att avvattningsteknikerna centrifug och filterpress jämförs ur bland annat ett ekonomisk och miljömässigt perspektiv för att hantera den framtida slamproduktionen.

Projektet och dess resultat ska bland annat användas som underlag för att bedöma om det kan vara aktuellt att byta ut den befintliga avvattningsmetoden.

Den uppnådda TS-halten för centrifuger baseras på resultatet för Norrvattens befintliga avvattnings teknik vilket ger en TS-halt på 18%. Tidigare försök som har gjorts med filterpress visar på att en TS-halt på 28% kan uppnås för vattenverksslam. Detta resultat ligger inom intervallet som anges i litteraturen vilket är en TS-halt som ligger mellan 25–35%.

En enklare investeringskalkyl har tagits fram för respektive teknik. Hög grundinvestering för filterpress tyder på en sämre ekonomisk lönsamhet. Skillnaden i grundinvestering som redovisas i kalkylerna stämmer generellt mot den information som hämtats från leverantörer och litteraturen. Det kan vara bra att notera att utrustningarna, speciellt membranfilterpressen, är överdimensionerande för det befintliga slamflödet och att investeringskostnaderna som presenterats inte speglar kapacitetsbehovet.

Litteraturen och tidigare försök visar på att en hög TS-halt erhålls med en filterpress. Den höga TS-halten har en positiv betydelse för ekonomin i form av minskad kostnad för omhändertagande och miljön i form av lägre koldioxidemissioner.

Filterpressen har en högre kapitalkostnad men lägre driftkostnader jämfört mot en centrifug. Parametrarna som ingår i driftkostnaden har också en koppling till koldioxidutsläppet.

Utifrån ett hållbarhetsperspektiv bedöms filterpressen vara det bättre alternativet då den har en jämförbar livslängd mot en centrifug men ger upphov till lägre koldioxidemissioner.

En centrifug bedöms vara det bättre alternativet om faktorer som baseras på ekonomi ges större vikt än faktorer som är relaterade till miljön.

För en korrekt jämförelse mellan avvattningsteknikerna kan mera utredning behövas inklusive praktiska försök som är anpassade efter slammets karaktär och de faktiska flödena på Görvälnverket.

## Abstract

Norrvatten is a producer of municipal drinking water in the northern part of Stockholm and its main objective is to deliver drinking water of high quality to its members.

Görväverket, the treatment plant of Norrvatten is currently in the process of expanding because of an expected rising water production in the future. This will cause the sludge production to increase, and the capacity of the current plant must therefore be expanded. Currently two centrifuges are used for sludge dewatering purposes. Previous studies show that a filter press can generate a higher percentage of dry matter. Based on this, Norrvatten is interested in a comparison made between the dewatering technologies from a technical, economical and sustainability point of view.

This project and its results are to be used in assessing whether it is favorable or not to transition out of the current dewatering method.

The level of dry matter achieved with a centrifuge, a DS-content of 18 % is based on the results from the current dewatering process of Norrvatten. For the filter press, results from previous studies show that a DS-content of 28% can be achieved. These results are within a DS-content of 25-35% which are the intervals found in literature studies.

A simplified investment analysis has been made for each dewatering technology. The high capital expense of the filter press indicates a lesser economical profitability. The difference in capital expenses between centrifuges and filter presses presented in the analysis are generally in line with the information that has been gathered from suppliers and literature studies. It is important to note that the equipment, especially the membrane filter press, is of a design bigger than what the sludge flow requires. And that the capital expenses therefore do not mirror the true dewatering capacity required by the sludge flow examined in this project.

Literature studies and previous experiments show that a high DS-content is achieved with a filter press. The high DS-content has a positive economic and environmental outcome in terms of lower disposal costs and lower carbon dioxide emissions.

The filter press has a higher capital expense, but lower operational expenses compared to a centrifuge. Parameters included in the operational cost are also strongly related to carbon dioxide emissions.

From a sustainability point of view the filter press presents as the better alternative since it has got a comparable life span but generates lower carbon dioxide emissions.

A centrifuge presents as the better alternative if economic factors are given higher relevance than those factors related to sustainability.

For a precise and correct comparison between the dewatering technologies, further studies must be made, including experimental studies that are suited for the characteristics of the sludge and the actual sludge flow examined in this project.

# Innehåll

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Metod och avgränsning.....	1
2	Teori.....	1
2.1	Vattenproduktion vid Görvälnverket .....	1
2.2	Vattenverksslam .....	3
2.2.1	Torrsubstanshalt .....	4
2.3	Teoretisk slamproduktion för Norrvatten .....	5
2.3.1	Parametrar som påverkar slamproduktionen .....	5
2.4	Norrvattens befintliga avvattningsprocess .....	7
2.4.1	Kapacitet .....	7
2.4.2	Beräknad mängd avvattnad slam.....	7
2.5	Förbehandling av slam.....	8
3	Teknisk utvärdering .....	9
3.1	Centrifug.....	9
3.1.1	Utformning och arbetsprincip.....	9
3.1.2	Uppnådd TS-halt.....	10
3.1.3	Fördelar och nackdelar .....	10
3.2	Filterpress .....	11
3.2.1	Utformning.....	11
3.2.2	Arbetsprincip.....	12
3.2.3	Kapacitet .....	13
3.2.4	Uppnådd TS-halt.....	13
3.2.5	Fördelar och nackdelar .....	13
3.2.6	Anläggning och kringutrustning .....	15
3.2.7	Underhållsbehov .....	15
3.2.8	Automationsmöjligheter .....	15
4	Ekonomisk utvärdering.....	16
4.1	Investeringskalkyl .....	17
4.1.1	Filterpress.....	17
4.1.2	Centrifug .....	17
4.2	Kostnad för omhändertagande av det avvattnade slammet .....	18
4.3	Andra avvattningskostnader.....	19
5	Hållbarhetsutvärdering.....	20
5.1	Energiförbrukning.....	20
5.2	Koldioxidutsläpp från slamavvattning.....	20
5.3	Förväntad livslängd.....	20
6	Diskussion.....	21
6.1	Teknik .....	21
6.2	Ekonomi.....	22
6.2.1	Investeringskalkyl och driftkostnader .....	22
6.2.2	Kostnad för omhändertagande.....	22

6.3	Miljö.....	22
7	Slutsats.....	23
8	Referenser.....	24
	Bilaga 1 Tabeller.....	i
	Bilaga 2 Bilder.....	i

# 1 Inledning

I detta avsnitt beskrivs bakgrunden till arbetet, dess mål och syfte samt metoden med vilket arbetet tas fram.

## 1.1 Bakgrund

Norrvatten är en kommunal dricksvattenproducent i norra Storstockholm och har som uppdrag att leverera dricksvatten till 14 medlemskommuner. Detta motsvarar ungefär 700 000 människor och inkluderar flera stora sjukhus i området samt Arlanda flygplats. Tillgången till dricksvatten är en viktig förutsättning för alla samhällen och har i det här fallet även en stor betydelse för regionens fortsatta utveckling.

Norrvattens vattenverk heter Görvålverket och är beläget vid Mälaren i Järfälla kommun. I dagsläget produceras 1600 liter dricksvatten i sekunden [1].

Kommunalförbundet bildades eftersom grundvattnet som användes till dricksvatten inte längre räckte till i takt med att orterna utvecklades. Görvålverket, som får sitt vatten från Mälaren invigdes 1929. Sen dess har kommunalförbundet utökat sina medlemmar från tre kommuner till dagens 14 [2].

Görvålverket står idag i ett skede med en utbyggnad av verket då vattenproduktionen beräknas att stiga framöver. Detta kommer att medföra en ökad slamproduktion och det i sin tur innebär att kapaciteten på nuvarande slamanläggning behöver ökas. I dagsläget används två centrifuger för slamavvattning som så småningom också behöver bytas ut. Tidigare försök har visat på att en filterpress kan ge en högre torrsustanshalt på slammet. Utifrån detta önskar Norrvatten att avvattningsteknikerna centrifug och filterpress jämförs ur bland annat ett ekonomisk och miljömässigt perspektiv för att hantera den framtida slamproduktionen.

Målet med projektet är därför att jämföra två tekniker för slamavvattning med avseende på bland annat effektivitet, ekonomi och miljöpåverkan.

Projektet och dess resultat ska användas som underlag för fortsatt diskussion kring Norrvattens befintliga slamavvattnings teknik och för att bedöma om det kan vara aktuellt att byta ut den befintliga avvattningsmetoden.

## 1.2 Metod och avgränsning

Projektet avgränsas till en litteraturstudie som jämför avvattningsteknikerna centrifug och filterpress främst av typen membranfilterpress. Viss information hämtas också från leverantörer av utrustningarna.

# 2 Teori

I detta avsnitt ges teoretisk bakgrund för bland annat dricksvattenproduktion, slamavvattning och för den förväntade slamproduktion vid Görvålverket.

## 2.1 Vattenproduktion vid Görvålverket

Norrvattens dricksvattenproduktion innefattar flera reningssteg och beskrivs i figur 1 nedan. Råvatten hämtas från Mälaren och därefter silas fisk, alger med mera bort från vattnet med en korgbandssil. Sedan pumpas det silade vattnet via en pumpstation in till reningsprocessen.

Vattnet tas vidare till en blandningsränna och aluminiumsulfat tillsätts. Därefter leds vattnet till en flockningskammare och flockar bildas. Här tillsätts även en mindre mängd natriumsilikat för att få större och stabilare flockar. I råvattnet finns bland annat nedbrutna



växtdelar, lerpartiklar och mikroorganismer och aluminiumsulfatet syftar till att binda upp dessa.

Flockarna separeras sedan från vattnet i en sedimenteringsbassäng och vattnet renas därefter genom sandfiltrering för att uppnå ytterligare separation av resterande flockar från vattnet. Vattnet som erhålls vid det här steget har gått från grumligt till klart och färglöst men behöver desinficeras. Det krävs också vidare behandling med avseende på lukt och smak innan vattnet kan distribueras ut via ledningsnätet.



**Figur 1:** Schematisk bild över Norrvattens reningsprocess på Görvålverket [3]

Från sandfiltersteget pumpas vattnet vidare till bäddar av kolfilter. Kolfiltret fungerar huvudsakligen som en lukt- och smakbarriär. När vattnet har genomgått kolfiltrering rinner det ner till UV-reaktorer. Målet med det här reningssteget är att desinficera vattnet.

Vid det här laget är vattnet dricksfärdigt men det förekommer ytterligare behandlingar av vattnet för att säkerställa att det håller en god kvalitet hela vägen genom ledningsnäten och ut till kranarna. Vidare i reningsprocessen görs vattnet svagt basiskt då det har försurats vid flockningssteget. Målet med denna pH-justering är att förebygga korrosion av ledningsnätet. Det tillförs även en mindre mängd monokloramin vid utloppet för att motverka eventuell bakterietillväxt i ledningsnätet.

När vattnet genomgått samtliga reningssteg är det färdigt att tas i bruk. Härifrån transporteras vattnet till en reservoar och pumpas slutligen ut till ledningsnätet [4].

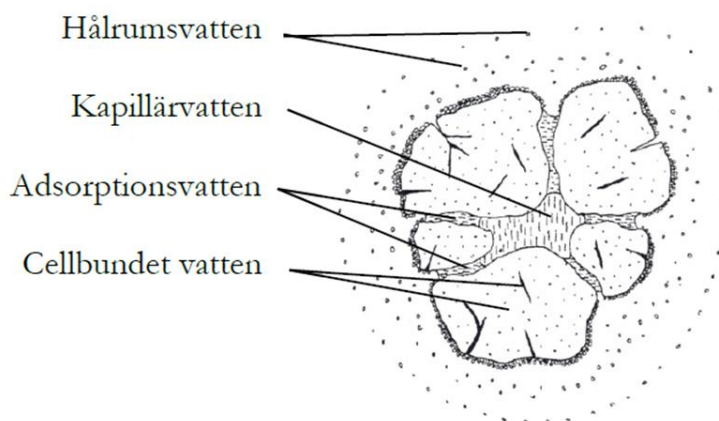
## 2.2 Vattenverksslam

Vattenverksslam är en restprodukt från vattenreningsprocessen som inte får deponeras. Slammet är svåravvattnat och näringsfattigt vilket ger upphov till stora slamvolymmer samt hanteringskostnader. Dessutom har det ett smalt avsättningsområde. Det är då rimligt för ett vattenverk att vilja sträva efter och undersöka möjligheter att minska volymen på slammet [5].

Slammet innehåller fasta partiklar där mängden partiklar anges som SS, suspenderad substans i vatten. Den producerade slammängden och slammets egenskaper styrs främst av råvattnets ursprung och reningsprocessen. Slammets egenskap påverkar vidare ordningen och valet av avvattningsmetoder.

Ytvatten som hämtas från en flod eller en sjö innehåller humus, fasta partiklar som är suspenderade i råvattnet. För att separera dessa från vattnet används vanligtvis kemisk fällning vid vattenreningsprocesser. Som en följd av detta uppstår en flockbildningsreaktion och det leder till en större slamproduktion än till exempel vid dricksvattenproduktion som nyttjar grundvatten som råvattenkälla [6] [3].

Slammets egenskap bestäms av flera parametrar så som råvattnets ursprung, slammets sammansättning, partikeltyp och partikelstorlek samt hur vattnet är bundet till de fasta partiklarna. Vatten i avloppsreningslam kan delas in i fyra typer utifrån dess fysikaliska bindning till slammet. Trots att slam från ett avloppsreningsverk till innehåll och egenskap skiljer sig från vattenverksslam kan det ge en inblick i vad som påverkar valet av avvattningsmetod och vilka aspekter av slammets egenskap som utgör en begränsande faktor för slamavvattningen. I figur 2 nedan illustreras de fyra sätten som vatten binds till slammet [7].



**Figur 2:** De fyra bindningsvägarna genom vilket vatten binder till slam [7]

Bindningskrafterna kan beskrivas som en attraktionskraft mellan slampartiklarna och de adsorberade vattenmolekylerna [8].

**Tabell 1:** Översiktlig beskrivning av vattnets bindning till slammet [7] [8]

<b>Bindningsform</b>	<b>Beskrivning</b>	<b>Avvattningsteknik</b>
<b>Hålrumsvatten</b>	Omger partiklarna utan att bindas till dem. Det mesta av vattnet i slammet finns som hålrumsvatten.	Förtjockning Mekanisk avvattning
<b>Kapillärvatten</b>	Finns bundet mellan partiklarna med hjälp av kapillära krafter.	Mekanisk avvattning (högre energibehov än vid avvattning av hålrumsvatten)
<b>Adsorptionsvatten</b>	Finns bundet i partiklarnas yta, bindning genom adsorptionskrafter.	Kräver värmebehandling
<b>Cellbundet vatten</b>	Finns bundet i cellernas struktur.	Kräver värmebehandling eller mekanisk uppluckring av cellväggarna för att frigöra vatten.

Det framgår i tabell 1 att hålrumsvatten utgör en betydande del av vattnet i slam och varför mekanisk avvattning används i en stor utsträckning. Det är tydligt att cellbundet vatten och adsorptionsvatten begränsar avvattningsgraden och omöjliggör 100% avvattning enbart med mekanisk avvattning. Ytterligare tekniker krävs för att avvattna slammet fullt ut.

#### 2.2.1 Torrsubstanshalt

Torrsubstanshalt eller TS-halt används för att ange den procentuella andelen fast material som ingår i slam. Det är viktigt att notera skillnaden mot suspenderad substans, SS eftersom definitionen av TS också inkluderar ämnen som är lösta i slammet så som salter. Förväxling av SS och TS kan i vissa fall ge upphov till stora beräkningsfel. [6]. I detta arbete anses eventuella beräkningsfel som kan uppstå till följd av detta att vara försumbara. En definition där SS och TS antas vara lika stora används för enkelhetens skull.

TS= suspenderad substans + i slammet lösta ämnen [6]

### 2.3 Teoretisk slamproduktion för Norrvatten

”Wardens” formel som beskrivs enligt ekvation 1 nedan, brukar användas för att beräkna den teoretiska slamproduktionen för ett vattenverk som använder ytvatten [6].

$$SP = 0,26 * D + 2G + 0,2F + X \quad (\text{ekvation 1})$$

**Ekvation 1:** Beräkning av slamproduktion för ett vattenverk som använder ytvatten [6]

$$SP = \text{Slamproduktionen} \left( g \frac{SS}{m^3} \right)$$

$$D = \text{Dos aluminiumsulfat} \left( \frac{g}{m^3} \right)$$

$$G = \text{råvattnets turbiditet (FNU)}$$

$$F = \text{Minskning av råvattnets färgtal}$$

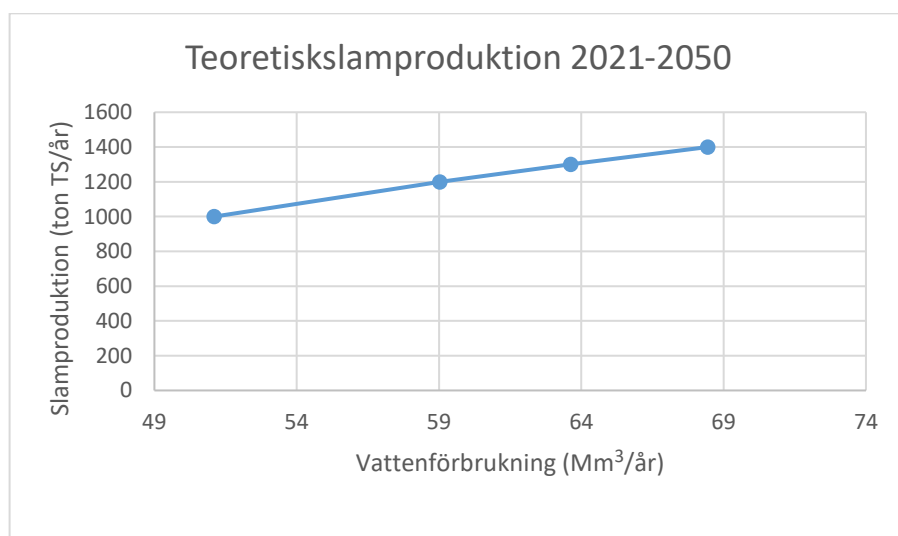
$$X = \text{Slam som bildas av kemikalietillsats}$$

Norrvattens teoretiska slamproduktion kan beräknas utifrån uppmätt data om råvattnets turbiditet, G samt minskning av råvattnets färgtal, F och mängd doserad aluminiumsulfat, doserad silikat (flockningshjälpmedel) och verkets vattenförbrukning (se bilaga 1 tabell 1).

I dagsläget ligger vattenproduktionen på Görvålnverket vid normal produktion på 140 000 m<sup>3</sup>/dygn och motsvarar ca 50 Mm<sup>3</sup>/år. Vattenförbrukningen förväntas stiga till närmare 190 000 m<sup>3</sup>/dygn år 2050 vilket motsvarar ca 70 Mm<sup>3</sup>/år. [5] Beräknat på medelvärden av turbiditet och färgtal, uppmätt mellan 2016–2020 motsvarar detta en teoretisk slamproduktion på ca 1000 ton SS/år vid nuvarande produktion respektive 1400 ton SS/ år vid år 2050. Det betyder en ökning av slamproduktionen på närmare 40%.

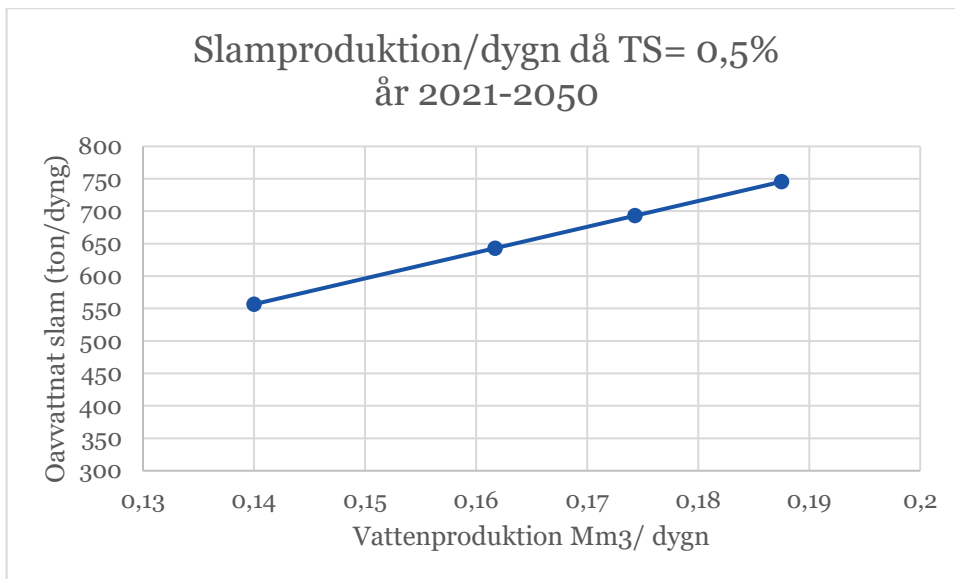
#### 2.3.1 Parametrar som påverkar slamproduktionen

Som framgår av ekvation 1 påverkas slamproduktionen av råvattnets kvalitet. Då turbiditet och råvattnets färgtal ökar erhålls också en högre slamproduktion. En annan parameter som har en direkt inverkan på slamproduktionen är vattenförbrukningen, det vill säga vattenproduktionen. Utifrån förväntad vattenproduktion samt ekvation 1 har en teoretisk slamproduktion beräknats för åren 2021-2050. Beräkningarna av slamproduktionen baseras på den teoretiska formeln som beskrivs i ekvation 1. Den ökande slamproduktionen, närmare bestämt produktionen av fast material beskrivs av figur 3 nedan. Den faktiska volymen på slammet beror på halten TS-halt och avtar upp till en viss grad då TS-halt ökar.



**Figur 3:** Förväntad slamproduktion mellan år 2021–2050

För perioden 2021–2050 förväntas dygnsproduktionen av vatten stiga från 140 000 m<sup>3</sup> till 190 000 Mm<sup>3</sup>. Slamvolymen innan förtjockningssteget, det vill säga när TS-halten är 0,5% stiger också i takt med att vattenproduktionen ökar enligt figur 4 nedan. Det är dessa volymer som måste behandlas i slamavlägsningen. Det oavvattnade slammet kan anges i ton då 1 m<sup>3</sup> slam motsvarar ca 1 ton då den har en densitet på ca 1 ton/m<sup>3</sup>.



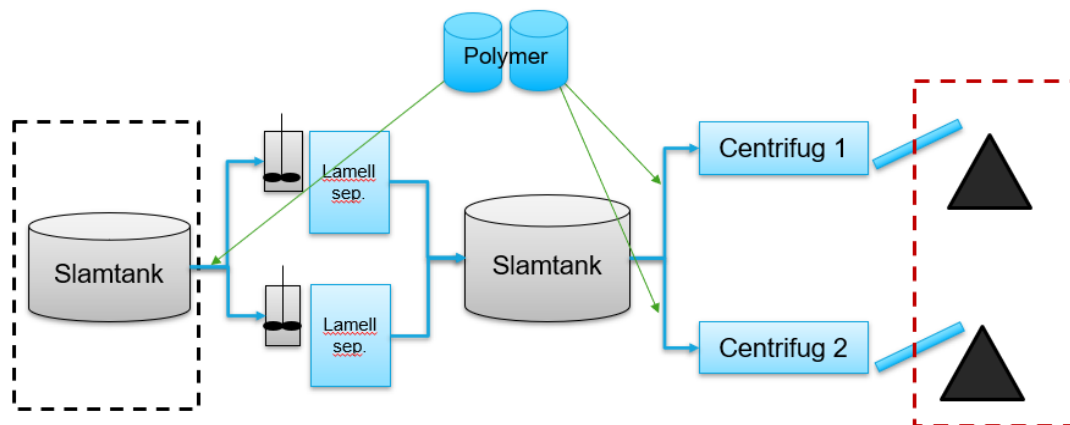
**Figur 4:** Förväntad slamproduktion/dygn då TS=0,5%

## 2.4 Norrvattens befintliga avvattningsprocess

Hög avvattningsgrad innebär lägre volym av slam att hantera vilket är eftersträvarsvårt eftersom det är kostnadseffektivt och fördelaktigt ur en miljösynpunkt då lägre volymer att hantera medför färre transporter.

Norrvattens avvattningsprocess ser ut enligt följande och beskrivs av figur 5 nedan. Slam med en initial TS-halt på ca 0,5 % pumpas kontinuerligt till en avvattningsbyggnad. Som ett första steg i avvattningsprocessen tillsätts förtjockningspolymerer till två mixertankar och leds sedan till lamellseparatorer. Därefter förs slammet till en slamlagringstank. Efter förtjockningssteget och före inloppet till centrifugerna erhålls en TS-halt på ca 3%. Vid inloppet till centrifugen sker ytterligare tillsats av polymerer. TS-halten efter avvattningssteget med centrifugerna är vanligtvis på 17–18%. Det avvattnade slammet är en sandliknande fast substans och samlas upp utanför avvattningsbyggnaden för att slutligen omhändertas av en entreprenör [5].

## Avvattningsprocessen



**Figur 5:** Schematisk skiss över avvattningsprocessen vid Görvälnverket [5]

### 2.4.1 Kapacitet

I dagsläget används två centrifuger och maxflödet in till dessa är 3 l/s. I regel används endast en centrifug i taget. Den andra centrifugen finns för att säkerställa högre driftsäkerhet och används om den ena centrifugen behöver tas ur drift eller då slamproduktionen är högre än normalt och större avvattningskapacitet efterfrågas [5].

### 2.4.2 Beräknad mängd avvattnat slam

Baserat på nuvarande "normal" vattenproduktion blir den teoretiska slamproduktionen 1000 ton TS/år. Med en avvattningsgrad på 18% erhålls en produktion på ca 5600 ton torrslam. [5].

Beräkning av volymen producerad slam baseras på ekvation 2 som beskriver sambandet mellan massa och volym före och efter avvattning där densiteten för slammet antas vara lika med vattnets densitet, det vill säga 1 ton/m<sup>3</sup> [9].

$$In(\text{oavvattnad slam}) = Ut(\text{avvattnad slam})$$

$$C(in) * \rho(in) * V(in) = C(ut) * \rho(ut) * V(ut)$$

$$V(ut) = \frac{C(in) * \rho(in) * V(in)}{C(ut) * \rho(ut)} \quad (\text{ekvation 2})$$

**Ekvation 2:** Samband mellan massa och volym vid slamavvattning

$V$  = volym slam [ $m^3$ ]

$\rho$  = slammets densitet [ $ton/m^3$ ]

$C$  = TS-halt dvs koncentration av slammet [%]

## 2.5 Förbehandling av slam

Genom tillsats av kemikalier i kombination med mekanisk omrörning konditioneras slammet inför nästa steg i slamhanteringsprocessen. Denna förbehandling av slam ökar avvattningseffektiviteten och reducerar därmed också avvattningskostnaderna [10].

Förtjockningsprocessen kan betraktas som koagulation eller flockning. Vid koagulation sker en destabilisering av partiklarna och genom flockningsmekanismen neutraliseras slammets ytladdning och större partiklar bildas. När partikelstorleken ökar så minskar mängden vatten som är bundet till slam och det är alltså genom denna mekanism som volymreduktionen uppnås. Vid förtjockning av vattenverksslam används oftast polymerer då dessa är lätthanterade, effektiva och följaktligen kostnadseffektiva [10].

### 3 Teknisk utvärdering

Den tekniska utvärderingen omfattar bland annat avvattningsteknikernas utformning, kapacitet och arbetsprincip.

#### 3.1 Centrifug

I detta avsnitt beskrivs bland annat centrifugens utformning, arbetsprincip och dess främsta för och nackdelar.

##### 3.1.1 Utformning och arbetsprincip

För avvattning av vattenverksslam används nästan uteslutande dekantercentrifuger. [6]

Grundprincipen för en dekantercentrifug bygger på en kontinuerlig sedimentation av tyngre partiklar och separation från en vätskefas som sker till följd av gravitationskraften [11]. För att uppnå en accelererad separation av fast och flytande material utnyttjas en centrifugalkraft som är 500 till 3000 gånger större än gravitationskraften [10]. Sedimentationshastigheten påverkas också av partikelstorleken och viskositeten av den kontinuerliga fasen. Detta beskrivs av Stokes lag enligt ekvation 3 [11].

$$v_s = \frac{d^2 \Delta \rho g}{18 \eta} \quad (\text{ekvation 3})$$

*Ekvation 3: Stokes lag, sedimentationshastigheten som funktion av partikelstorlek och viskositeten.*

$v_s$  = sedimentationshastigheten [m/s]

$\Delta \rho$  = skillnad i densitet [ $kg/m^3$ ]

$d$  = partikeldiameter [m]

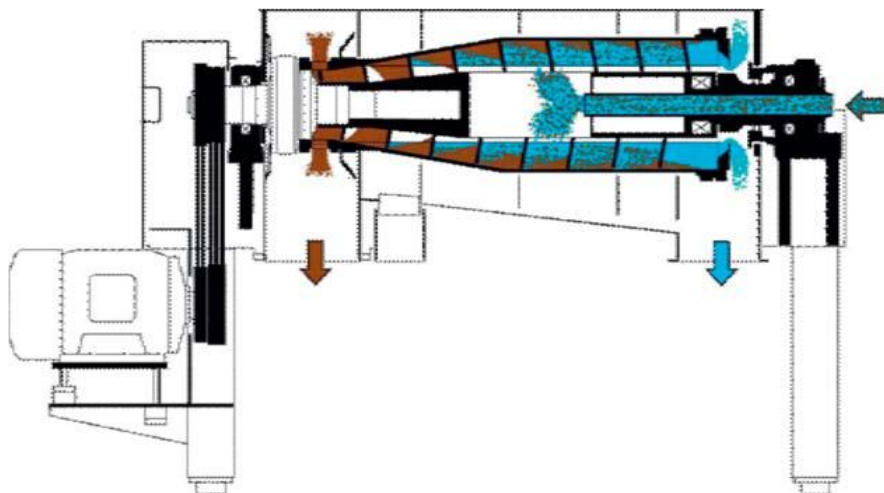
$g$  = gravitationskonstanten [ $m/s^2$ ]

$\eta$  = viskositeten av den kontinuerliga fasen [ $kg/s \cdot m$ ]

En dekantercentrifug har två huvudsakliga beståndsdelar och dessa utgörs av den roterande trumman och transportskruven som finns inuti trumman. Rotationen av trumman och skruven sker horisontellt oberoende av varandra. Slaminmatningen till centrifugen går via ett inloppsrör som sedan leds till en blandningskammare inuti transportskruven. Som tidigare beskrivits för Norrvattens avvattningsteknik tillsätts polymerer i två steg. Först vid ett separat förtjockningssteg och därefter strax före centrifugeringen. Detta görs för att hålla flockarna stabila så långt som möjligt [6].

Då trumman och skruven roterar pressas slammet igenom hål ut i trummans ytterväggar och förs bort mot utloppet av centrifugen via transportskruven. Vattenfasen trycks bakåt mot utloppet för rejektvattnet. På så sätt sker en separation av fasta ämnen från vätska [12]. Figur 6 nedan beskriver en dekantercentrifug och dess arbetsprincip.





**Figur 6:** En Schematisk beskrivning av dekantercentrifug [11]

### 3.1.2 Uppnådd TS-halt

Den uppnådda TS-halten för dekantercentrifuger baseras på resultatet för Norrvattens avvattning vilket är en TS-halt på 18%.

### 3.1.3 Fördelar och nackdelar

Fördelar och Nackdelar [6] [13] [10].

Det framgår ur tabell 2 att fördelar med centrifugen är att den är lätt att arbeta med då tekniken är beprövad. Uppstart och avstängning kan ske snabbt och arbetet kräver inte konstant tillsyn. Nackdelarna är bland annat en hög konsumtion av tillsatser (kemikalier och polymer), energi samt att kapital kostnaden är hög.

**Tabell 2:** Centrifug: Fördelar och nackdelar

Fördelar	Nackdelar
Kontinuerlig	Relativt hög kapitalkostnad
Litet ytbehov	Hög elförbrukning - kopplad mot mängden hanterad slam
Snabb uppstart och avstängning	Hög polymer-/kemikalieförbrukning
Kräver inte konstant tillsyn	Kräver periodisk reparation av transportskruv- medför driftstopp
Sluten process (bra för arbetsmiljön)	Begränsat användningsområde och känslig för ändrade slamegenskaper så som partikelstorlek och partikeldensitet
Beprövad (bred praktisk erfarenhet finns)	Risk för att flockar bryts upp pga. förhållandena i centrifugen

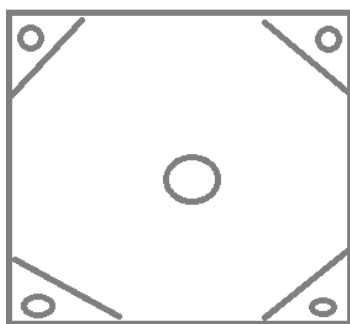
### 3.2 Filterpress

I den tekniska utvärderingen presenteras bland annat filterpressens kapacitet, arbetsprincip och dess främsta för- och nackdelar. Här beskrivs även den kringutrustning som kan behövas för att driva en filterpressanläggning.

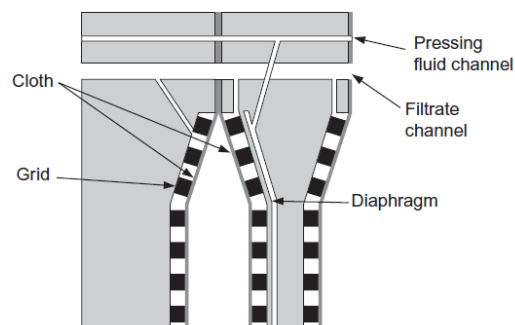
#### 3.2.1 Utformning

En filterpress kan delas upp i tre huvudsakliga beståndsdelar. Första delen är strukturen eller den så kallade ramen. Det är på denna som de rörliga filterplattorna monteras. Ramen har också som uppgift att upprätthålla utrustningens strukturella form då den utsätts för högt tryck.

Därefter kommer en serie filterplattor där två individuella plattor med fördjupning tillsammans bildar en filterkammare. Filterplattorna är ihåliga vid kanterna och är klädda i filterduk. Filterduken agerar som filtreringsyta varpå slammet med tiden bildar filterkaka mellan plattorna. Hålen fungerar som genomströmningskanaler för slam och filtrat att flöda till och ifrån filterpressen på. Figur 7 och 8 nedan ger en förenklad beskrivning av en filterplatta och en membranfilterplatta, respektive. För membranfilterpress uppnås högre avvattningsgrad då filterkakan pressas ihop ytterligare med hjälp av membranet då luft eller vatten används som extra tryckmedia [6].

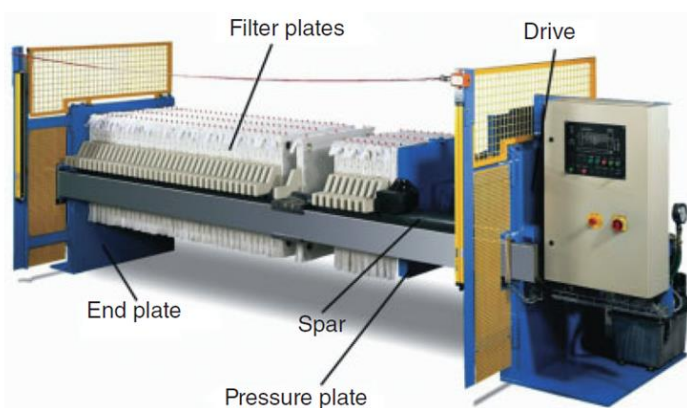


**Figur 7:** Schematisk beskrivning av en filterplatta



**Figur 8:** Schematisk beskrivning av en membranfilterplatta [14]

Den tredje huvudsakliga beståndsdelan av en filterpress är kopplad till styrande funktioner så som öppning och stängning av filterplattorna, frisläppning av filterkakorna och filterdukarnas tvättanordning för filterdukarna. Öppnings- och stängningsmekanismen är kopplade till ett hydrauliskt system som i början av en filtreringscykel trycker ihop filtreringsplattorna [14] [6]. Figur 9 beskriver en konventionell filterpress och dess huvudsakliga beståndsdelar.

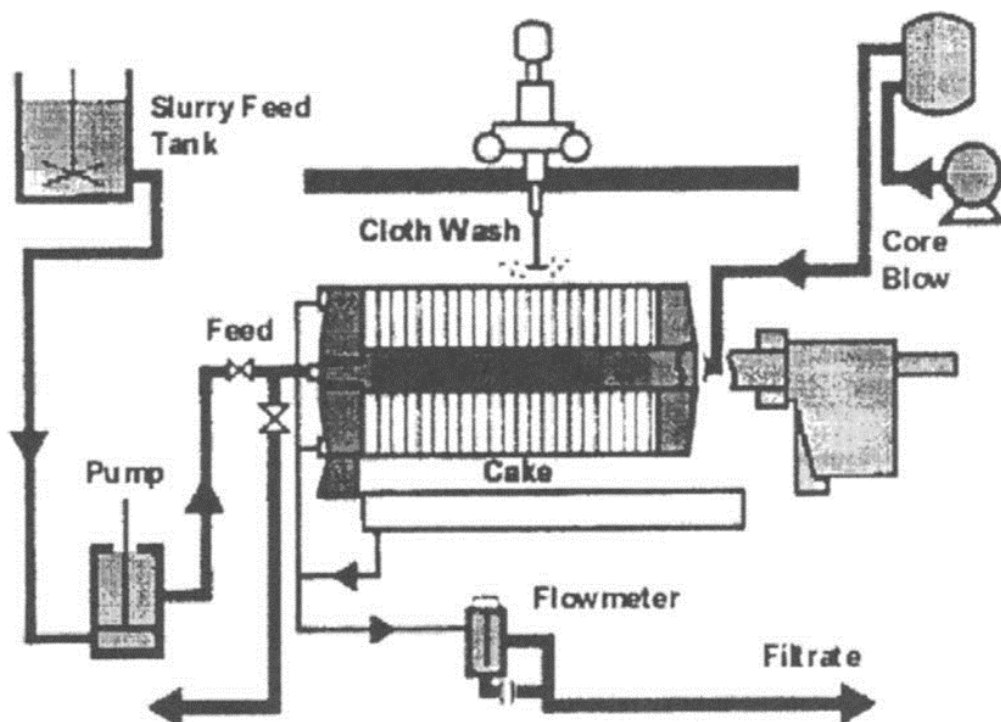


**Figur 9:** En filterpress och dess huvudsakliga beståndsdelar [15]

### 3.2.2 Arbetsprincip

En membranfilterpress, liksom en kammarfilterpress arbetar diskontinuerligt enligt följande ordning. Utrustningen stängs igen och plattorna pressas ihop hydrauliskt. Arbetstrycket för en membranfilterpress ligger i regel runt 15–30 bar [16]. I början av filtreringscykeln trycks membranet i filterplattan tillbaka för att lämna mera filtreringsutrymme. Därefter pumpas konditionerad slam in till filterplattorna med en hög flödes hastighet och lågt tryck. Slammet pumpas igenom kanaler som uppstår när de tvåsidiga hålen i filterplattorna trycks ihop.

Med tiden bildas en filterkaka på filterduken och trycket börjar då öka gradvis. Filterkakan som nu bildats nyttjas som en extra filtreringsmedia som slammet tvingas att strömma igenom. Samtidigt pressas rejektvattnet, det vill säga filtratet, igenom filterduken och leds ut via motsatt kanal till slamflödet. Slaminmatningen stängs av när maximal kakkbildning samt en efterföljande tryckökning har uppnåtts. Sedan pumpas luft eller vatten till baksidan av membranet minst två gånger, för att ytterligare pressa ut vatten ur filterkakan och i vissa fall för att lufttorka kakan [17]. Filterplattorna öppnas och kakorna frisläpps till avsett uppsamlingsställe. För att säkerställa att filterplattorna är fria från kakrester och kan användas i nästa cykel sker skakning alternativt skrapning av filterplattorna. Sedan återställs filterplattorna och vid behov tvättas de vid 100 bar. Därefter börjar nästa filtreringscykel [6] [14] [17] [18]. I figur 10 nedan illustreras en generell beskrivning av filterpressanläggning och dess arbetsätt.



**Figur 10:** Flödesschema över en filterpressanläggning [17]

### 3.2.3 Kapacitet

Kapaciteten av en filterpress styrs till stor del av det ingående slammets TS-halt och arbetstrycket samt filterkakans tjocklek utöver antalet filterplattor och deras storlek. Exemplet i tabell 4 visar på ett samband mellan filterkakans tjocklek och erforderlig presstid [6].

**Tabell 3:** Samband mellan filterkakans tjocklek och erforderlig presstid [6]

<b>Slamkakans tjocklek (mm)</b>	<b>Erforderlig presstid (h)</b>
30	4
50	7

För att komma fram till lämplig dimensionering krävs praktiska försök vilket inte omfattas av denna studie.

### 3.2.4 Uppnådd TS-halt

Det har inte varit möjligt att få information från leverantörer om vilket TS-halt deras utrustning kan förväntas generera för vattenverksslam. Mera underlag och tester på slam krävs för att erhålla sådan information [16]. Tidigare försök som har gjorts med filterpress visar på att en TS-halt på 28% kan uppnås för vattenverksslam [13]. Detta resultat ligger inom intervallet som anges i litteraturen vilket är en TS-halt mellan 25–35% [6] [17] [18].

### 3.2.5 Fördelar och nackdelar

Den främsta fördelen med en filterpress är den höga TS-halt som uppnås jämfört med andra avvattningstekniker samt att den är driftsäker och har en anpassningsbar kapacitet. Filterpressens huvudsakliga nackdelar utgörs bland annat av en hög investeringskostnad, ytbehov samt att den inte arbetar kontinuerligt [10] [6]. Några fördelar och nackdelar med en filterpress redovisas i tabell 5 nedan.

**Tabell 4:** Fördelar och nackdelar med en filterpress [10] [6]

<b>Fördelar</b>	<b>Nackdelar</b>
Driftsäker	Hög kapitalkostnad
Hög TS-halt	Praktisk erfarenhet och specifik information kan saknas
Låga underhållskostnader	tar stor plats
Flexibel kapacitet (kan anpassas utifrån antal filterplattor utan att göra omfattande förändringar på anläggningen)	Diskontinuerlig -förlorad kapacitet då utrustningen inte är i drift -lagertank för slam behövs -ojämnt/ batchvis utflöde av filterkaka kan vara svårt att hantera
Låg SS-halt för rejektivattnet	Öppet system medför risk för läckage av slam och annan vätska till färdiga filterkakor
Lång livslängd	Filterdukar slits ut och kan behöva bytas ut flera gånger under utrustningens livscykel
Kräver inte konstant tillsyn när automationsmöjligheter erbjuds	

### 3.2.6 Anläggning och kringutrustning

Följande kringutrustning som presenteras i tabell 6 kan behövas för att driva en filterpressanläggning. En del av kringutrustningen har en direkt anknytning till den diskontinuerliga processen så som behovet av lagertank för slam och uppsamlingsystem för filterkakorna.

**Tabell 5:** Kringutrustning som kan behövas till en filterpressanläggning [18]

<b>Kringutrustning</b>	<b>Funktion</b>
Slamtank	Slamförvaring som räcker för minst en filtreringscykel
Förtjockningsanläggning -förvaring -mix tank	I de fall förtjockningssteg krävs
Pumpar	Inmatning av slam
Uppsamlingsställe/ rullband	Upsamling/ transport av filterkaka
Kross utrustning	Jämnfördelning av kakor (vid behov)
Kanaler/ reservoar	Samla upp rejektvattnet/filtrat
Automatisk tvättanordning	Tvättar filterdukar

### 3.2.7 Underhållsbehov

Specifika siffror om antal servicetillfällen som behövs per år har inte kunnat erhållas men det beskrivs av leverantörer och i litteraturen som relativt lågt [17]. Däremot har den flera delar (enheter) som i de fall automation inte erbjuds kräver kontinuerlig tillsyn. Några av dessa anges i tabell 7 nedan. I dagsläget är automationsmöjligheten bred och utrustningen och dess enheter kan fjärrstyras från moderna kontrollsystem [16].

**Tabell 6:** Filterpressens olika enheter som kräver tillsyn [17]

<b>Enhet</b>	<b>Funktion och möjliga systemfel</b>
Flödesmätare	Stoppar slampumpningen när kamrarna är fulladdade
Varningssystem	Varnar vid tryckfall, vid läckage mellan kamrarna plattorna
Tvättanordning (munstycken)	Tvätt behövs. Filtren kan annars bli igensatta och ge ett ojämnt flöde
Filterdukar	Kan bli trasiga och störa kakkbildningen och utgöra skada på själva utrustningen om slam börjar läcka ut

### 3.2.8 Automationsmöjligheter

Automationsmöjligheter kan minska tillsynsbehovet och intelligenta lösningar så som kvalitetsövervakningar och optimering av driftparametrar kan förlänga utrustningens livslängd och bidra till en optimal drifttid [19].

## 4 Ekonomisk utvärdering

Den ekonomiska utvärderingen inkluderar en investeringskalkyl, kostnad för omhändertagande av det avvattnade slammet samt en kostnadsgranskning av andra parametrar i avvattningsprocessen så som energi- och polymerkostnad.

Nuvärdeskvot, det vill säga nuvärdet dividerat med grundinvesteringen har beräknats för att beakta grundinvesteringarnas storleksskillnad. Kvoten ger en indikation på hur väl investeringarna lönar sig i förhållande till grundinvesteringen [20].

Övriga parametrar som skulle ha gett en rättvis jämförelse mellan teknikerna så som polymerförbrukning, energiförbrukning och andra driftkostnader utgår eftersom konkret information inte kunnat erhållas från leverantörer. Några av dessa behandlas kort nedan utifrån generella jämförelser som har gjorts mellan teknikerna.

Enligt jämförelser gjorda av Andritz AG så bedöms filterpress vara kostnadseffektiv när det gäller både drift och kapitalkostnad. Centrifugen i sin tur bedöms i jämförelse med filterpress ha lägre kapitalkostnad men däremot blir driftkostnad och energiförbrukning högre än för filterpressen [21](se bilaga 2, bild 1 och 2).

#### 4.1 Investeringskalkyl

En enklare investeringskalkyl med en antagen bankränta på 10% har tagits fram för respektive teknik (se bilaga 1, tabell 2 och 3). Beräkningarna har baserats på nuvärdesmetoden då uppskattad kapitalkostnad samt livslängden på respektive utrustning antas vara minst 20 år. Kapitalkostnaderna inkluderar inte kostnad för installation och idrifttagning.

##### 4.1.1 Filterpress

Kapitalkostnaden för en membranfilterpress styrs främst av automationsgraden och dess storlek. I kapitalkostnaden för GHT1500 modellen om 5,6 MSEK ingår filterpress, pumpar, styrsystem, tryckluft och automatisk tvätt (se bilaga 2 bild 4). Detta redovisas i tabell 8.

**Tabell 7:** Investeringskalkyl för membranfilterpress, GHT1500

Leverantör	Modell	Kapacitet (m <sup>3</sup> slam/h)	Grund- investering (MSEK)	Nuvärdes- kvot	Drift	Livs- längd (år)	TS (%)
Roland Carlberg Proces-system AB	GHT1500.P6 Dimme Filtration filterpress	45–270	5,6	4,0	-	20	30

##### 4.1.2 Centrifug

I kapitalkostnaden om ca 1,5 MSEK ingår en polymermaskin, styrskåp, pumpar, flödesgivare, frekvensomformare och transportskruv (se tabell 9).

**Tabell 8:** Investeringskalkyl för centrifug, DC10

Leverantör	Modell	Kapacitet (m <sup>3</sup> slam/h)	Grund- investering (MSEK)	Nuvärdes- kvot	Drift (kW)	Livs- längd (år)	TS (%)
Noxon AB	DC10	2–30	1–1,5	21,0	8–12	20	18

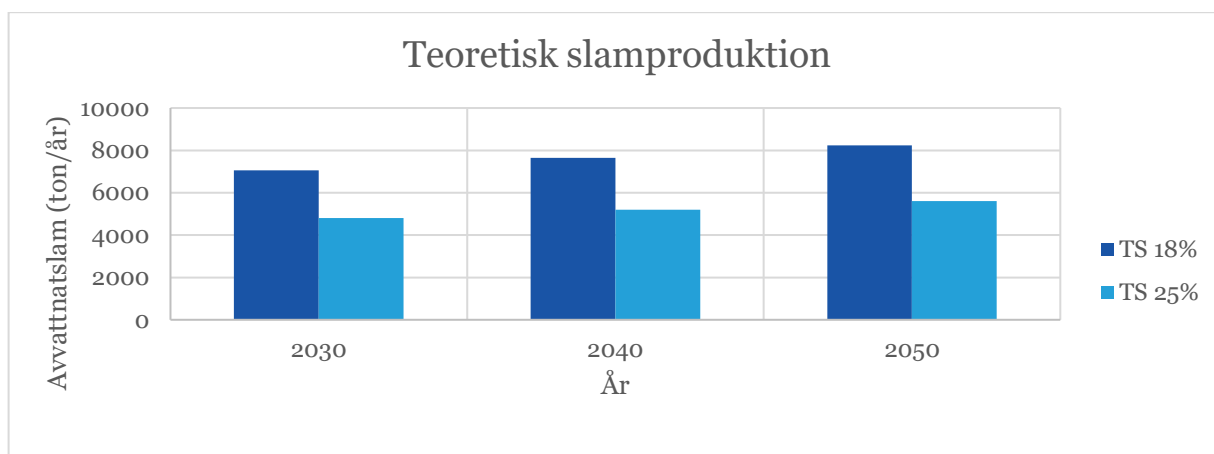
Den höga grundinvesteringen för filterpress ger nästan fem gånger mindre nuvärdeskvot än centrifugen och tyder på en sämre ekonomisk lönsamhet. Skillnaden i grundinvestering som redovisas i kalkylerna stämmer generellt mot den information som hämtats från leverantörer och litteraturen där filterpress anses ha en högre kapitalkostnad jämfört mot en centrifug [10]. Det kan vara bra att notera att utrustningarna, speciellt membranfilterpressen, är överdimensionerande för det befintliga maxflödet som är på 3 l/s per centrifug och att investeringskostnaderna som presenterats inte speglar kapacitetsbehovet. Detta beror på att offert för utrustningar som är anpassade för det aktuella flödet inte kunnat erhållas. Det är också viktigt att notera att filterpressen har andra dimensioner än en centrifug.



## 4.2 Kostnad för omhändertagande av det avvattade slammet

I figur 11 nedan presenteras mängden avvattad slam som kan erhållas med en centrifug respektive filterpress för den förväntade vattenproduktion fram till år 2050. Filterpressen antas generera en TS-halt om 25% utifrån det teoretiska intervallet som anges i litteraturen och centrifugen har getts en TS-halt samma som i Norrvattens avvattningsprocess.

Det framgår av diagrammet att mängden slam som produceras avtar då TS-halten ökar. Kostnaden för omhändertagande av avvattad slam är direkt kopplad till mängden slam. Vilket pekar på att användning av en filterpress medför en lägre hanteringskostnad jämfört mot en centrifug.



**Figur 11** Jämförelse av uppnådd TS halt mellan teknikerna

Slammängden är också avgörande för hur många turer som krävs vid transport av det avvattade slammet. Varje hämtning kan ta ca 40 ton avvattat slam [5]. Baserat på detta har antalet transporter per år som krävs beräknats och redovisas i tabell 10 nedan. Transportturerna minskar då avvattningsgraden ökar.

År	Antal turer / år TS 18%	Antal turer / år TS 25%
<b>2021</b>	139	100
<b>2030</b>	167	120
<b>2040</b>	181	130
<b>2050</b>	194	140

**Tabell 9** antal turer som krävs för slammängder vid TS 18% respektive 25%

### 4.3 Andra avvattningskostnader

Med hjälp av exempelberäkningar illustreras polymerförbrukningens och energiförbrukningens inverkan på avvattningskostnaden. Beräkningarna utgår från data för en dekantercentrifug. Nedanstående data har sammanställts utifrån olika källor då det har varit svårt att erhålla konkret information för en specifik modell för avvattningsutrustningarna. Data bör därför betraktas som en metod att visa de olika parametrarnas betydelse för den totala avvattningskostnaden (Se bilaga 2 bild 3). Underhållskostnaden har inte heller varit möjlig att inkludera i beräkningarna [6] [5].

Polymerkonsumtion: 10 kg/ton TS  
Polymerkostnad: 35 kr/kg

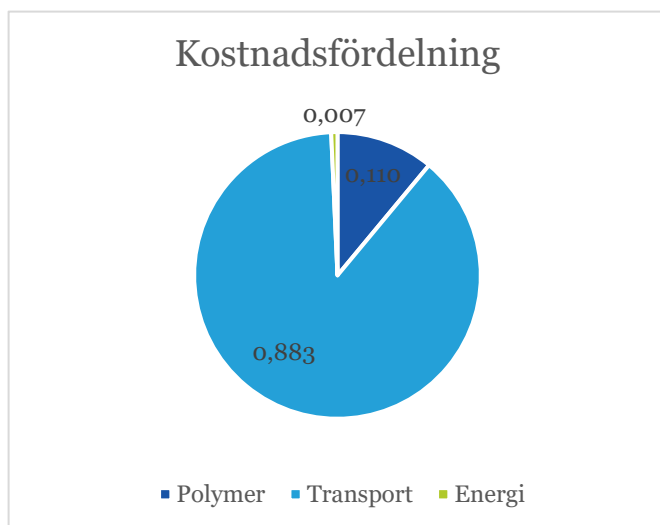
Kostnad för omhändertagande: 500 SEK/ton

Energikostnad: 1kr/kwh  
Energiförbrukning centrifug: 4 kwh/ ton TS

**Tabell 10:** Kostnad/ år för Slamproduktion 1000 ton TS/år

Kostnad (SEK/år)		
Polymer	Transport	Energi
350 000	2 800 000	22 400

Beräkningarna baseras på Norrvattens befintliga slamproduktion som är 1000 ton TS/år vilket motsvarar 5600 ton 18%-ig avvattnat slam. Resultaten som redovisas i tabell 11 och Figur 13 visar på att transporten står för den största andelen av hanteringskostnaden följt av polymerförbrukningen. Kostnadsfördelningen för filterpress kommer troligtvis också anta en liknande ordning där transportkostnaden blir den högsta även för en filterpress. Detta gäller även om energiförbrukningen och polymerförbrukningen förväntas bli lägre gentemot centrifug.



**Figur 12** Avvattnings kostnadsfördelning per år

## 5 Hållbarhetsutvärdering

Hållbarhetsutvärderingen innefattar en generell jämförelse av teknikernas energiförbrukning, förväntad livslängd samt en redogörelse av de olika avvattningsparametrarnas bidrag till koldioxidutsläppet. Ett beräkningsexempel på detta har inkluderats för att underlätta hållbarhetsutvärderingen då specifik information gällande utrustningarnas koldioxidbidrag har saknats.

### 5.1 Energiförbrukning

Vad gäller energiförbrukningen för filterpress har precisa siffror i denna rapport hämtats ur litteratur från 1990. Dessa siffror visar på att energiförbrukningen för en centrifug är nästan dubbelt så hög som för en filterpress och det presenteras i tabell 12 nedan [6]. I en annan litteratur beskrivs centrifugens energikonsumtion som hög och direkt kopplad mot mängden avvattnat slam [10] [17]. Detta stämmer också överens med en jämförelse av filterpress och centrifug som har gjorts av Andritz AG där centrifugen anges ha högre energiförbrukning (se bilaga 2, bild 2).

Filterpress bedöms alltså ha en lägre energiförbrukning men det är svårt att bara utifrån detta påstå hur energiförbrukningen skiljer sig mellan centrifuger och filterpressar i dagsläget. Det är också viktigt att ha i åtanke att tekniken kan ha utvecklats de senaste 30 åren och att litteraturen som har använts därför inte är särskilt aktuell. Data över filterpressars energiförbrukning som är aktuell och mer specifik för Norrvattens flöden kan hämtas från leverantörer men då krävs bland annat tester på själva slammet.

**Tabell 11:** Information som erhållits från litteraturundersökning och Norrvatten [6] [5]

Utrustning	Kemikalieförbrukning (kg polymer/ton TS)	Energiförbrukning (kWh/m <sup>3</sup> )	Slut TS %
Centrifug	10	3–4	18–20
Filterpress	Inga uppgifter	1–2	25–35

### 5.2 Koldioxidutsläpp från slamavvattning

Enligt jämförelser gjorda av Andritz AG har centrifuger högre driftkostnader jämfört med filterpressar (se bilaga 2, bild 1 och 2). Till denna kostnad räknas främst energi- och kemikalieförbrukning. Dessa faktorer tillsammans med transportbehovet kan också anknytas till koldioxidutsläpp från slamavvattningsprocessen. Enligt exempelberäkningar gjorda av Noxon AB kommer det största bidraget till koldioxidutsläpp på 56%, från transport av torrsлам följt av polymerförbrukning på 42% samt elförbrukning på 2% (se bilaga 2, bil 3).

Koldioxidutsläpp relaterat till transport kan skilja från det beräknade exemplet och styrs av valet av drivmedel. Elförbrukningens koldioxidemission kan också variera om det exempelvis är kolkraftverk eller vindkraft som har valts. Det stora koldioxidutsläppet på 3,7 ton CO<sub>2</sub>/ton torr polymer har däremot en fast koppling till polymerframställningen.

### 5.3 Förväntad livslängd

Filterpressar och centrifuger kan sägas ha jämförbara tekniska livslängder. En centrifug från Noxon AB har enligt leverantören en förväntad livslängd på minst 25 år och en membranfilterpress från Turne Sweden (Andritz) har enligt leverantören en förväntad livslängd på minst 20 år [21].

## 6 Diskussion

Avvattningsteknikerna centrifug och filterpress har jämförts från ett tekniskt, ekonomiskt och hållbarhetsperspektiv i tidigare kapitel, utifrån befintliga och framtida slamflöden för Norrvatten. En del utrustningsdata som hämtats från litteraturen och leverantörer är av generell karaktär och är dessvärre inte anpassad för de beräknade slamflödena. Detta redovisas i tabell 13 och resultaten från tidigare kapitel diskuteras enligt följande.

**Tabell 12:** Information som erhållits från leverantörer för centrifuger och filterpressar

Leverantör	Utrustning	Process	Kem-förb	El-förb	Kapacitet (m <sup>3</sup> /h)	Investeringskapital (MSEK)	Livslängd (år)	Slutt TS %
Noxon AB	Centrifug	Kontinuerlig	Hög	Hög	2–30	1–1,5	+25	18–20
Roland Carlberg Processystem AB (Dimme filtrations)	Filterpress	Diskontinuerlig	Låg	Låg	45–270	5,6	”länge”	-
Thurne Sweden (andritz)	Filterpress	Diskontinuerlig	Låg	Låg	-	-	+ 20	-

### 6.1 Teknik

Den tekniska utvärderingen har baserats på bland annat arbetsprocess, utformning, ytbehov och uppnådd TS-halt. I tabell 2 respektive tabell 5 redovisas de främsta för- och nackdelarna för avvattningsteknikerna.

De främsta fördelarna med en filterpress är den höga TS-halten, utrustningens driftsäkerhet och att utformningen med filterplattorna ger möjlighet till en lättanpassad kapacitet vilket är en fördel med tanke på att slamproduktionen förväntas stiga i framtiden. Automationsmöjligheter kan minska tillsynsbehovet och intelligenta lösningar så som kvalitetsövervakningar och optimering av driftparametrar kan förlänga utrustningens livslängd och bidra till en optimal drifttid.

Det stora ytbehovet kan innebära extra byggarbete och det diskontinuerliga arbetssättet kommer troligtvis kräva högre slamlagringskapacitet än det som finns på vattenverket idag. Arbetssättet ger också ett ojämnt utflöde och kommer också att påverka utformningen av uppsamlingssättet av filterkakorna. En annan nackdel som har varit tydlig under detta arbete är bristen på praktisk erfarenhet inom industrin. För fortsatta studier kommer tester på slammet att behövas för att få specifik information. Bristen på praktisk erfarenhet kan göra en eventuell driftsättning resurskrävande och driftrelaterade problem kommer troligtvis att ta en längre period att lösa.

Fördelarna med en centrifug är följande: utrustningen har en enkel utformning och lågt ytbehov och arbetar kontinuerligt vilket innebär att Norrvattens befintliga anläggning kanske kan fortsätta att användas i framtiden. Tekniken är också beprövad och anpassad för slammet vilket tyder på att kompetens finns för att förebygga och hantera eventuella driftproblem snabbt.

En klar nackdel med en centrifug är den lägre TS-halten i jämförelse med en filterpress. Resultat från tidigare försök visar på att 10% lägre TS vilket tyder på att tekniken är mindre effektiv. Centrifugen är också känslig för ändrade slamegenskaper och dess kapacitet begränsas av att flockar kan brytas upp. En centrifug utformad för dagens flöden skulle troligtvis behöva bytas ut då den inte skulle klara av en signifikant ökning av slamproduktion i framtiden.

## **6.2 Ekonomi**

I detta avsnitt diskuteras de faktorer som tidigare presenterades i den ekonomiska utvärderingen.

### **6.2.1 Investeringsskalkyl och driftkostnader**

Trots att kapitalkostnaderna har hämtats från leverantörer kan det finnas osäkerhet i investeringsskalkylen som tagits fram då utrustningarna, speciellt membranfilterpressen, är överdimensionerande för Norrvattens befintliga slamflöde och ger möjligtvis en skevare bild i jämförelse med ett fall där kostnaderna är anpassade efter kapacitetsbehovet. Den generella slutsatsen blir trots allt att en filterpress har högre kapitalkostnad jämfört mot en centrifug.

Andra faktorer så som polymerförbrukning, energiförbrukning och underhållskostnader har inte kunnat inkluderas i kalkylerna. Ett sådant underlag hade förmodligen gett en mer balanserad jämförelse mellan teknikerna. Enligt litteraturen har centrifugen högre driftkostnad jämfört med en filterpress. I denna driftkostnad står polymerförbrukningen för en större andel av driftkostnaden än elförbrukningen.

### **6.2.2 Kostnad för omhändertagande**

Filterpressen ger enligt teorin och tidigare försök högre TS-halt jämfört med en centrifug. Hög TS innebär lägre volymer att hantera och detta i sin tur betyder lägre kostnader för omhändertagande av det avvattnade slammet.

## **6.3 Miljö**

Utrustningarna har en jämförbar förväntad livslängd. Filterpressen har dock vissa delar som kan ha kortare livslängd än hela utrustningen så som filterdukar. Ju längre hållbarhet desto bättre för miljön.

Centrifugen anses ha högre energiförbrukning och polymerförbrukning jämfört med en filterpress. Dessa parametrar bidrar till koldioxidutsläpp vilket har negativ miljöpåverkan.

När filterpressen höga TS-halt och därmed låga koldioxidutsläpp i samband med transport av avvattnat slam kombineras med ovanstående egenskaper framstår filterpressen som ett miljövänligare alternativ.

## 7 Slutsats

En diskontinuerlig process skulle innebära ombyggnationer och en kontinuerlig process i form av en centrifug skulle medföra att befintlig anläggning kan användas. Dessutom finns en praktisk erfarenhet för centrifuger vilket till en början kan ge säkrare drift.

Litteraturen och tidigare försök visar på att en hög TS-halt erhålls med en filterpress. Den höga TS-halten har en positiv betydelse för ekonomin i form av minskad transportkostnad och miljön i form av lägre koldioxidemissioner.

Filterpressen har en högre kapitalkostnad men lägre driftkostnader jämfört mot en centrifug. Parametrarna som ingår i driftkostnaden har också en koppling till koldioxidutsläppet.

Den höga kapitalkostnaden tillsammans med eventuella ombyggnationskostnader för en filterpress kan bli ekonomiskt försvarbart om hänsyn tas till de lägre driftkostnaderna.

Utifrån ett hållbarhetsperspektiv bedöms filterpressen vara det bättre alternativet då den har en jämförbar livslängd med en centrifug men ger upphov till lägre koldioxidemissioner.

En centrifug bedöms vara det bättre alternativet om faktorer som baseras på ekonomi ges större vikt än faktorer som är relaterade till miljön.

För en korrekt jämförelse mellan avvattningsteknikerna kan mera utredning behövas inklusive praktiska försök som är anpassade efter slammets karaktär och de faktiska flödena på Görvälnverket.

## 8 Referenser

- [1] N. om-norrvatten, ”<https://www.norrvatten.se/>,” 01 04 2021. [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/>. [Använd 01 04 2021].
- [2] Norrvatten, ”Norrvatten,” 2021. [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/historia/>. [Använd 01 04 2021].
- [3] J. H. Ganding, ”Optimering av slamuttag vid Görvålnverket,” Stockholm, 2020.
- [4] N. -. Vattenproduktion, ”Vattenproduktion,” 07 04 2021. [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/dricksvattenproduktion/reningsprocessen/>. [Använd 07 04 2021].
- [5] F. Hugg, *Personlig kommunikation*, Stockholm, 2021.
- [6] S. vatten, Vattenverksslam, Stockholm: Svenska vatten- och avloppsföreningen, VAV, 1990.
- [7] C. Baresel, M. Ludtke, E. Levlín och mf, ”Slamavvattning i kommunala reningsverk,” IVL, Stockholm, 2014.
- [8] J. Kopp och N. Dichtl, ”Influence of the free water content on the dewaterability of sludge,” *Water Science and Technology*, vol. 44, 2001.
- [9] Ramböll, ”Hantering av vattenverksslam,” Göteborg, 2016.
- [10] I. S. TUROVSKIY och P. K. MATHAI, Wastewater Sludge Processing, John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [11] B. Heymann, ”Centrifuges and Separators: Types and Design,” Elsevier Ltd, 2011.
- [12] Noxon, ”<https://noxon.se/>,” 31 08 2021. [Online]. Available: <https://noxon.se/produkter/dekantercentrifuger/>. [Använd 31 08 2021].
- [13] F. Hugg, ”Avvattning av vattenverksmull,” Stockholm, 2019.
- [14] T. SPARKS och G. CHASE, FILTERS AND FILTRATION HANDBOOK Sixth Edition, Elsevier Ltd, 2016.
- [15] D. Deublein och A. Steinhauser, Biogas from Waste and Renewable Resources, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.
- [16] D. f. f. G. Henrik Lännebro, *Personlig kommunikation*.
- [17] N. P. Cheremisinoff, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, Elsevier Inc, 2002.
- [18] C. M. Thomas, ”The Use of Filter Presses for the Dewatering of Sludges,” *Water Pollution Control Federation*, vol. 43, 1971.

[19] A. Decker, *Seminarium*, 2021.

[20] K. Persson, G. Posse och M. Rosner, ”Investeringsbedömning,” Karlstad, 2007.

[21] M. Persson, *Personlig kommunikation*, 2021.



## Bilaga 1 Tabeller

Tabell 1 Norrvattens teoretiska slamproduktion

<b>År</b>	<b>V(H<sub>2</sub>O) Mm<sup>3</sup> /dag</b>	<b>V(H<sub>2</sub>O) Mm<sup>3</sup> /år</b>	<b>D(ALG)</b>	<b>G</b>	<b>F(in)</b>	<b>F(ut)</b>	<b>C(natsilikat)</b>	<b>SP g Ts/m<sup>3</sup></b>	<b>Sp ton TS/dag</b>	<b>Sp ton TS/ år</b>
2021	0,14	51	47	1,81685 6	20,8804 2	5,40616 3	2,8	20	2,8	1016
2030	0,1617	59							3,2	1173
2040	0,1743	64							3,5	1265
2050	0,1875	68							3,7	1361

Tabell 2 Investeringskalkyl filterpress, alla kostnadsbegrepp är angivna i MSEK

År	Driftskostnad	Rak Amortering	Ränta	transport kostnad	Total kostnad/år	Investering	5600000
start	-	1120000	448000		1568000		
1		560000	392000	2000000	2952000		
2		560000	336000	2000000	2896000		
3		560000	280000	2000000	2840000		
4		560000	224000	2000000	2784000		
5		560000	168000	2000000	2728000	Bankensränta	0,1
6		560000	112000	2000000	2672000		
7		560000	56000	2000000	2616000		
8		560000	0	2400000	2960000		
9		0	0	2400000	2400000		
10		0	0	2400000	2400000		
11		0	0	2400000	2400000		
12		0	0	2400000	2400000		
13		0	0	2400000	2400000		
14		0	0	2400000	2400000		
15		0	0	2400000	2400000		
16		0	0	2400000	2400000		
17		0	0	2400000	2400000		
18		0	0	2400000	2400000		
19		0	0	2400000	2400000		
20		0	0	2400000	2400000	Nuvärde:	23657585

Tabell 3 Investeringskalkyl centrifug, alla kostnadsbegrepp är angivna i MSEK

År	Driftskostnad	Rak Amortering	Ränta	transport kostnad	Total kostnad/år	Investering	1500000
start	-	300000	120000		420000		
1		150000	105000	3333333	3588333		
2		150000	90000	3333333	3573333		
3		150000	75000	3333333	3558333		
4		150000	60000	3333333	3543333		
5		150000	45000	3333333	3528333	Bankensränta	0,1
6		150000	30000	3333333	3513333		
7		150000	15000	3333333	3498333		
8		150000	0	3333333	3483333		
9		0	0	4000000	4000000		
10		0	0	4000000	4000000		
11		0	0	4000000	4000000		
12		0	0	4000000	4000000		
13		0	0	4000000	4000000		
14		0	0	4000000	4000000		
15		0	0	4000000	4000000		
16		0	0	4000000	4000000		
17		0	0	4000000	4000000		
18		0	0	4000000	4000000		
19		0	0	4000000	4000000		
20		0	0	4000000	4000000	Nuvärde:	31561805

## Bilaga 2 Bilder

Bild 1 Andritz interna jämförelse av avvattningstekniker

	Filter Press	Filter Centrifuge	Vacuum Belt filter	Vacuum Drum filter	Pressure Drum Filter	Decanter Centrifuge	Separator	Dynamic Cross Flow Filter
Low filtration rate*	Green	Yellow	Red	Red	Blue	Orange	Green	Green
Abrasive particles	Green	Green	Green	Green	Blue	Orange	Green	Green
Chemical attack	Yellow	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green
Sticky cake	Yellow	Yellow	Green	Blue	Blue	Yellow	Green	Yellow
Cake washing	Yellow	Green	Green	Green	Green	Orange	Red	Yellow
Maintenance	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Blue	Orange
Price	Green	Red	Yellow	Orange	Red	Orange	Blue	Red
Dryness	Green	Green	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Orange	Orange

\*Low Filtration Rate: Particles small / Not spherical / Soft

### Decanter centrifuge

1. Large difference in density
2. No need for cake washing
3. Toxic/dangerous chemicals

### Vacuum belt filters

1. Fast filtration / Large particles
2. Cake washing required
3. No toxic/dangerous chemicals

### Filter press

1. Low filtration rate
2. Dryness most important
3. Cost effectiveness important

### Filter centrifuge

1. Dryness most important
2. Toxic/dangerous chemicals
3. Not too small/soft particles, spherical shape

### Vacuum drum filter

1. Fast filtration / Large particles
2. Cake washing required
3. Toxic/dangerous chemicals

Bild 2, sid 1 av 2, Andritz interna jämförelse av avvattningstekniker









Element	Filter Press	Filter Centrifuge	Vacuum Belt Filter	Vacuum Drum Filter	Pressure Drum Filter	Decanter Centrifuge	Separator	Dynamic Cross Flow Filter
Illustration								
Princip	Filtration	Filtration, sedimentation	Filtration	Filtration	Filtration	Sedimentation	Sedimentation	Filtration
Operation	Batch	Batch/Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Batch/Continuous
Indikationer (Small / Not critical / Soft solids) & High solids Priority	Normally the preferred choice. Highest driving force and no limitation in residence time.	Difficult with smaller particles. Filter centrifuges typically applies thicker cakes, therefore the compression and the longer length of the pores require bigger particles compared to filter presses.	Residence time is limited due to the continuous nature of the process. Thicker cloth is normally required compared to drum filters -> more clogging expected.	Vacuum drum filters typically applies thinner cloths and cakes -> more suitable than vacuum belt filters. Still limitation in residence time.	Normally less suitable than vacuum drum filters.	Normally separate particles down to 10 µm if density difference is large. Separation down to 2 µm is achievable in case of lower throughput and longer residence time.	Separate at "normal" density difference down to 1 µm.	Nano/ultra-filtration. Separate even down to 7 nm - much smaller than any other technology.
Aggressive Particles	More wear of cloth expected compared to vacuum filters due to higher driving force.	Normally more wear out the cloth/screen compared to filter presses due to higher forces. Wear of cake discharging peeler knife is also critical.	Lower driving force compared to filter presses -> less wear of the cloth expected.	Same as vacuum belt filters, but less tension in filter cloth.	Higher driving force than vacuum filters -> slightly more wear expected.	Ceramic/tungsten carbide tiles to protect the screw. Special wear parts of critical areas required -> cost intensive maintenance expected.	Lining of critical parts give less wear, but similar to decanter centrifuges it is high shear equipment -> cost intensive maintenance expected.	Ceramic membrane for wear protection, but no favorable technology for abrasive particles.
Chemical Attack, Corrosive/Toxic	Leakage through the plates can be prevented, but due to the need of opening the filter press for cake discharge, very aggressive/toxic liquids can only be handled with hoods and/or N2 purging -> increase of price and decrease the accessibility.	Very suitable. Available in Hastelloy/Nickel/Titanium. Closed design by nature.	Open design -> not suitable for aggressive/toxic fluids. Ventilation hood is an option but would significantly increase the price.	Very suitable. Closed design available in standard execution.	Same as vacuum drum filters.	Suitable. Closed, gas tight design and bowl available in Hastelloy/Nickel/Titanium.	Closed design, but no execution available in Hastelloy/Nickel/Titanium.	Only very high pH not allowed because of the ceramic membranes. Otherwise suitable for all type of solvents or toxic products.

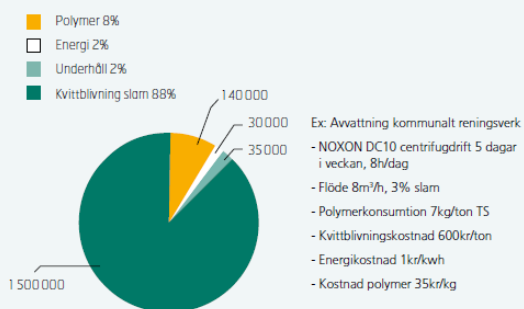
Bild 2, sid 2 av 2, Andritz interna jämförelse av avvattningstekniker

Sticky Cake	Solutions for automatic cake discharge available, but not standard execution.	Ok, but not favorable.	Suitable. Automatic cake discharge	Same as vacuum belt filters.	Not suitable. Only solution for cake discharge is blow back and screw transport is required.	Normally the best technology at discharging sludges.	Suitable.	Ok, but not favorable.
Cake Washing	Good result achievable with membrane technology, but not as efficient as continuous filters -> longer residence time required. However, no limitation in residence time for insoluble filter cakes.	Efficient washing for fast filtering particles. No limitation in residence time for insoluble filter cakes.	Very efficient, counter current washing for fast filtering particles. Higher flexibility to extend washing zones compared to drum filters.	Efficient, counter current washing possible.	Efficient, counter current washing possible.	Possible, but more limited in residence time compared to continuous filters.	Not possible.	Diafiltration is an efficient way of washing, but since it is not in the form of a cake but only a concentrate, more wash media is required compared to a cake building technology.
Maintenance	Abrasive particles -> more frequent cloth replacement expected compared to vacuum filters due to higher driving force.	Cloth is consumable and machine needs rebalancing. More maintenance for bearings and sealing required compared to slow running equipment.	Less frequent cloth replacement expected compared to filter presses. More rotating parts compared drum filters.	Slow rotating equipment and static cloth (less mechanical stress of cloth) -> longest filter cloth life time. Less rotating parts compared to belt filters.	Same as vacuum drum filter, but slightly more wear of cloth expected due to higher driving force.	No cloth, but screw needs to be checked on a frequent basis. More maintenance for bearings and sealing compared to slow running equipment.	Maintenance for bearings and sealing, but no screw -> less maintenance compared to decanter centrifuges.	Membranes might need to be replaced quite regularly.
Price	Normally the most cost effective separation equipment in terms of CAPEX and OPEX.	Normally the highest price of all separation equipment.	Lower price compared to drum filters. Higher price compared to filter presses.	Higher price than belt filters.	Pressure equipment increase the price further compared to vacuum drum filters.	Lower CAPEX than filter presses, especially for sticky cakes, but higher OPEX (power consumption and maintenance).	Normally higher throughput/price ratio compared to dynamic cross flow filters for suitable slurries (low solid concentration, fine particles, cake dryness not most important).	Higher price/throughput compared to separators.
Dryness	Normally highest dryness, especially for finer particles, due to highest driving force and due to no limitation in residence time.	Highest dryness expected for coarser particles with favorable particle shape.	Suitable for medium to fast filtering media due to lower driving force and limitation in residence time.	Same as vacuum belt filters.	Higher dryness expected compared to vacuum filters due to higher driving force. Can also handle elevated temperatures.	High dryness achievable with coarser particles and large density difference between liquid and solids.	Solids are only in the form of a sludge.	Same as separators.

Bild 3 Noxon avvattningskostnad och CO<sub>2</sub> koldioxidbidrag



### KOSTNADSFÖRDELNING, SLAMAVVATTNING Kronor per driftsår

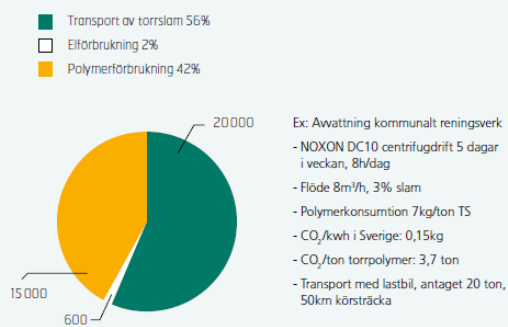


- En hög TS-halt minskar kostnaderna mest!
- En hög polymerkonsumtion driver kostnader betydligt mer än energiförbrukningen
- Kostnad för energi och underhåll mycket små i förhållande till kostnad för kvittblivning och polymerförbrukning

#### SLUSATS

Kostnadseffektiv slamavvattning erhålls med en hög TS-halt och en låg polymerförbrukning

### MILJÖPÅVERKAN I CO<sub>2</sub>-UTSLÄPP, SLAMAVVATTNING Kg CO<sub>2</sub> per driftsår



- Transport av torrslam driver CO<sub>2</sub> utsläpp mest!
- Polymerkonsumtion bidrar nästan lika mycket till koldioxidutsläpp som transporter då framställningen av polymer innebär stora CO<sub>2</sub>-utsläpp.
- CO<sub>2</sub>-utsläpp från energiförbrukningen försvinnande lite i förhållande till påverkan från polymer och transport av torrslam.

#### SLUSATS

Miljömässig slamavvattning erhålls med en hög TS-halt och en låg polymerförbrukning

Bild 4 Teknisk data för GHT1500.P6 Dimme Filtration filterpress

<b>Technical characteristics</b>		
Total volume of the filter press	4480	[l]
Total filtration surface	241.5	[m <sup>2</sup> ]
Chamber/cake quantity	70	
Operation pressure	15	[bar]
<b>Filtering plate pack</b>		
Recessed plates quantity	34+2	<i>End plates</i>
Membrane plate quantity	35	
Plate size	1500x1500	[mm]
Chamber thickness	40	[mm]
Volume	64	[l]
Filtering surface	3.45	[m <sup>2</sup> ]
Slurry feed position		<i>Central</i>
Filtrate discharge position	4	<i>Corner holes</i>
Plates material	Polypropylene	<i>Special characteristic: gasketed, leak-free plates</i>
Membrane material	Polypropylene	
Membrane type	Hot welded	
Filtering cloths material	Polypropylene	<i>With rubber treatment on support areas and reinforcements on the heavy wear areas</i>