



EXAMENSARBETE INOM KEMITEKNIK, GRUNDNIVÅ  
STOCKHOLM, 2019

# Optimering av slamuttag vid Görvälns vattenverk

Jim Hamring Ganding

KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
KTH KEMI, BIOTEKNOLOGI OCH HÄLSA

# EXAMENSARBETE

Högskoleingenjörsexamen

Kemiteknik

Titel: Optimering av slamuttag vid Görvälns vattenverk

Engelsk titel: Optimization of Sludge Removal at Görvåln Water Treatment Plant

Sökord: Slamuttag, kemisk fällning, kemisk flockning, ALG, vattenverksslam, teoretisk slamproduktion

Arbetsplats: Norrvatten

Handledare på arbetsplatsen: Therese Johansson

Handledare på KTH: Mats Jansson

Student: Jim Hamring Ganding

Datum: 2020-05-08

Examinator: Mats Jansson

## Sammanfattning

Norrvatten producerar dricksvatten till cirka 600 000 av Stockholms invånare. Råvattnet är ytvatten som kommer från Mälaren. Innan vattnet är klart att distribueras som dricksvatten genomgår det en rad olika processteg varav ett är kemisk fällning följt av sandfiltrering. Ett problem som uppstått är att restflockar från kemfällningen burits med till sandfiltreringen. Detta har lett till att sandfiltren måste rengöras ofta. För att lösa problemet har detta projekt genomförts i syfte att undersöka hur slamuttaget kan optimeras för att undvika restflock. Under projektet har en litteraturstudie gjorts och en metod för att beräkna den teoretiska slamproduktionen har undersökts. Utifrån det har en beräkningsmodell utformats i Excel för att kunna utföra nödvändiga beräkningar för hur slamuttaget skall varieras.

När den teoretiska slamproduktionen hade beräknats gjordes försök på Görvälnverket. Försöken gick ut på att reglera slamuttaget utifrån den beräknade mängd slam som bildats och se om detta minskade mängden restflock som bars med till sandfiltreringen. Samt om, och i så fall hur slamuttaget bör optimeras.

För att ändra slamuttaget reglerades öppningstiden hos slamventilerna där slammet tas ut. Öppningstiden ställdes in i driftcentralen i en av Norrvattens fem kemfällningslinjer för att sedan jämföras med en annan kemfällningslinje som hölls oförändrad. Efter en vecka jämfördes turbiditeten i de båda kemfällningslinjerna. Turbiditeten användes som parameter för att mäta mängden restflock som finns i vattnet.

Resultaten från försöken visade ingen märkbar förbättring med avseende på mängden restflock till följd av ett förändrat slamuttag. Ytterligare undersökningar skulle dock vara nödvändiga då tillräckliga försök ej kunde genomföras under tidsramen för detta projekt. Resultaten beror sannolikt på att det ursprungliga slamuttaget var väl anpassat till slamproduktionen under just den veckan som försöken utfördes. En annan orsak till eventuellt missvisande resultat kan vara att parametern TS % använts på ett felaktigt sätt genom att inte ha ett konstant värde utan ett varierande värde för varje mätillfälle.

Utifrån de övriga resultat som presenteras tycks det tidigare slamuttaget som använts hos Norrvatten vara relativt väl anpassat till dagens slamproduktion. Det vore dock rimligt att optimera slamuttaget ytterligare genom att variera det under olika årstider eller tider på dygnet. Ett optimerat slamuttag skulle troligen innebära ekonomiska och miljömässiga besparingar samt potentiellt minska problemet med restflock.

Slutsatsen för detta projekt är att ytterligare försök bör genomföras för att avgöra om slamuttaget behövs optimeras. Om det anses nödvändigt skulle de framtagna beräkningsmodellerna kunna

användas för att beräkna hur slamuttaget bör varieras och ställas in. Målet att ta fram en beräkningsmodell för den teoretiska slamproduktionen och ett samband för hur slamuttaget kan optimeras i praktiken kan därför anses uppnått.

## Abstract

Norrvatten produces drinking water for approximately 600,000 people in the Stockholm area. The raw water is surface water from the lake Mälaren. Before the water is ready to be distributed as drinking water, it undergoes a number of different process steps, one of which is chemical precipitation followed by sand filtration. A problem that has arisen is that residual flocks from the precipitate are carried to the sand filtration. This in turn has resulted in that the sand filters have to be cleaned frequently. In order to solve the problem this project has been carried out to investigate how the sludge removal can be optimized to avoid residual flocks. During the project a literature study was done and a method for calculating theoretical sludge production was investigated. In this work a computational model has been developed in Excel to be able to perform the necessary calculations for how the sludge removal should be varied.

Once the theoretical sludge production had been calculated, experiments were made at Görvålverket. During the experiments the sludge removal was regulated based on the theoretical sludge production in order to see if this reduced the amount of residual flocks carried to the sand filtration. If the amount of residual flocks were reduced, the optimal settings for sludge removal could be applied.

To change the amount of removed sludge, the opening time of the sludge valves was regulated. The opening time was changed in the operation center for one of Norrvatten's five chemical precipitation lines and then compared with another chemical precipitation line that was kept unchanged. After one week, the turbidity of the outgoing water was compared between the two precipitation lines. Turbidity was used as a parameter to measure the amount of residual flock in the water.

The results showed no noticeable decrease in the amount of residual flock due to a changed sludge removal. However, further investigations would be necessary as sufficient experiments could not be carried out during the time frame of this project. The results are likely due to the fact that the original sludge removal was well adapted to the sludge production during the particular week of the experiments. Another reason for possibly misleading results may be that the percent dry substance DS % was used incorrectly by using a varying value for each measurement as opposed to a constant value.

Based on the other results presented, the sludge removal seems to be relatively well adapted to today's sludge production. However, it would be reasonable to further optimize the sludge removal by varying it during different seasons or times of the day. An optimized sludge removal could potentially mean economic and environmental savings as well as possibly reduce the problem with residual flocks.

The conclusion for this project is that further experiments should be made to determine if the sludge removal needs to be optimized. If considered necessary, the models that were constructed during this project could be used to calculate how the sludge removal should be varied and adjusted. The goal of developing a computational model for theoretical sludge production and a relationship between how the sludge removal can be optimized in practice can therefore be considered achieved.

## Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och är det avslutande momentet på högskoleingenjörsutbildningen i kemiteknik på KTH. Examensarbetet har utförts på Norrvatten där en studie har gjorts för att utreda hur slamuttaget i kemfällningssteget kan optimeras.

Jag vill rikta ett extra tack till Therese Johansson som har varit min handledare på Norrvatten. Therese har väglett mig genom projektet och engagerat sig i de frågor som uppkommit under projektets gång. Jag vill även rikta ett tack till Daniel Hällström som gav mig möjligheten att genomföra projektet samt övrig personal på Norrvatten som har varit med och stöttat projektet.

Slutligen vill jag även tacka Mats Jansson som varit min handledare på KTH samt programansvarige Sara Naumann.

## Nomenklatur

NOM - Naturligt Organiskt Material

$SP_{tot}$  – Total slamproduktion  $\left[\frac{g}{m^3}\right]$

TS – Torrsubstans [g]

TS % - Andelen torrsubstans mätt i procent

DS % - Dry substance (Engelsk förkortning av TS %), mätt i procent.

$V_{slam}$  – Volymen fuktigt slam [l]

$t_{öppen}$  – Nödvändig öppningstid som slamventil måste öppnas för att avlägsna hela mängden teoretiskt bildat slam [s].

$Q_{slamventil}$  - Flödet genom slamventil i öppet läge mätt i liter per sekund

KF 1–5 – Kemfällningslinje 1–5

$\rho$  – Densitet  $\left[\frac{kg}{l}\right]$

Gångtid – Tiden ett sandfilter är i drift innan det behövs backspolas



## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	9
2	Bakgrund.....	10
2.1	Kemisk rening.....	10
2.1.1	Kemisk flockning.....	10
2.1.2	Kemin bakom kemisk flockning.....	10
2.2	Norrvattens reningsprocess.....	11
2.2.1	Norrvattens kemfällningssteg.....	12
2.3	Teoretisk slamproduktion.....	14
2.3.1	Beräkning av producerad mängd Aluminiumhydroxid.....	14
2.3.2	Beräkning av övrig fast substans i slam.....	15
2.3.3	Turbiditet och färgtal.....	16
2.4	Öppningstid för slamventiler.....	16
3	Genomförande.....	18
3.1	Jämförelse av empiriskt och teoretiskt slamuttag.....	18
3.2	Beräkning av slamventilens öppningstid.....	19
3.3	Försök i fullskala av teoretiskt slamuttag.....	20
4	Resultat.....	21
5	Diskussion.....	24
5.1	Förberedelser och genomförande av försök på Görvålverket.....	24
5.1.1	Resultat från försök på Görvålverket.....	24
5.2	Teoretisk slamproduktion & slamuttag i praktiken.....	25
5.3	Användning av beräkningsmodell.....	25
5.3.1	Jämförelse av metoder.....	25
5.3.2	Framtida försök och vidare utredning.....	26
6	Slutsats.....	27
	Bilaga 1 – Flödesfördelning KF 1-5.....	29
	Bilaga 2 – Vikts % aluminium i aluminiumhydroxid.....	30
	Bilaga 3 – Slamanalys Görvålverket.....	31

# 1 Inledning

Tillgång till rent dricksvatten är en livsnödvändighet och är något vi mer eller mindre tar för givet i Sverige. Varje invånare använder i snitt 160 liter dricksvatten per dygn varav cirka 10 liter går till dryck och matlagning [1]. Från det att råvattnet hämtas ur vattentäkten tills att det kan levereras som tjänligt dricksvatten måste det dock genomgå en reningsprocess.

Norrvatten är ett av Sveriges många kommunala vattenverk och distribuerar dricksvatten till cirka 600 000 av Stockholms invånare i 14 olika medlemskommuner. Flera stora sjukhus samt Arlanda flygplats får sitt dricksvatten av Norrvatten. Dricksvattnet som produceras kommer ursprungligen från Mälaren och all produktion sker vid Görvälnverket i Järfälla kommun. Med 55 anställda och 1 600 liter producerat dricksvatten per sekund är Norrvatten Sveriges fjärde största dricksvattenproducent [2].

Råvattnet som Norrvatten tar in för rening genomgår ett antal processteg, varav ett är kemisk fällning följt av sandfiltrering. Ett problem som uppkommit är att flockar från kemfällningen bärs med till det efterföljande sandfiltersteget. Detta gör att sandfiltren sätts igen oftare och måste renas genom backspolning. När ett filter behövs backspolas tas det ur drift och detta leder till högre belastning på de återstående filtren som är i drift. Ett behov är därför att optimera slamuttaget och således slippa backspola sandfiltren lika ofta.

För att lösa problemet vill Norrvatten genomföra detta projekt där slamuttaget från kemfällningen undersöks. Målet med projektet är att ta fram ett samband för hur stor den teoretiska slamproduktionen blir beroende på faktorer såsom råvattnets egenskaper, dosering av fällningskemikalie och råvattenflöde. Med hjälp av detta samband skulle det också vara möjligt att uppskatta det teoretiskt optimala slamuttaget då detta kan anses vara det samma som hela den mängd slam som produceras.

För att modellera den teoretiska slamproduktionen har en litteraturstudie genomförts. Sedan har en beräkningsmodell utformats i Excel där data kan matas in och en teoretisk slamproduktion erhålls.

Under projektet har även empiriska data för hur mycket slam som tagits ut jämförts med vad som förväntas utifrån det teoretiska samband som tagits fram. Utöver detta har försök gjorts på Görvälnverket i fullskala där öppningstiden hos slamventilerna har anpassats till de beräkningar som gjorts.

## 2 Bakgrund

Nedan följer en allmän beskrivning av kemisk rening samt en mer ingående beskrivning av kemisk flockning.

### 2.1 Kemisk rening

Kemisk rening är ett vanligt delsteg inom vattenrening. Begreppet kemisk rening är dock mycket brett och det finns olika metoder som är lämpliga för olika sammanhang. Några exempel är kemisk flockning, kemisk utfällning av metaller eller fosfor, kemisk oxidation, kemisk reduktion och neutralisering [3].

Kemisk flockning är en vanligt förekommande och mycket effektiv metod vid dricksvattenproduktion men även för avloppsvattenrening. Vid dricksvattenproduktion där ytvatten används som vattentäkt innehåller vattnet ofta en mängd olika kolloidala partiklar som är nödvändiga att avskilja. Dessa partiklar kan vara naturligt organiskt material (NOM), oorganiskt material såsom lera men också biologiska partiklar som till exempel alger. Partiklar med en diameter under  $0,1 \mu\text{m}$  räknas som kolloidala partiklar och dessa är för små för att kunna sedimentera i en sedimenteringsbassäng då sjunkhastigheten hos de enskilda partiklarna är mycket långsam. För att kunna avskilja de kolloidala partiklarna kan kemisk flockning tillämpas [3][4].

#### 2.1.1 Kemisk flockning

Kemisk flockning är ett sätt att slå samman kolloidala partikelföreningar i vattnet till större partiklar som är möjliga att avskilja genom sedimentering eller flotation [3]. Detta görs genom att ett fällningsmedel tillsätts råvattnet som startar en koaguleringsprocess följt av flockbildning. På så sätt adsorberas de kolloidala partiklarna av flockarna och bildar större partikelaggregat som kan sedimentera [4].

#### 2.1.2 Kemin bakom kemisk flockning

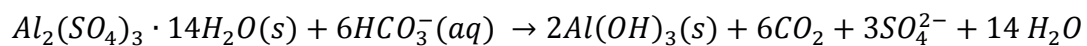
De kolloidala partiklarna i råvattnet har i de flesta fall en negativ ytladdning. De repellerande krafterna som uppstår på grund av den negativa ytladdningen är större än de attraherande van der Waals-krafterna och därför kommer ingen flockning att ske spontant. Genom att tillsätta ett fällningsmedel med positiv laddning (vanligen  $\text{Al}^{3+}$  eller  $\text{Fe}^{3+}$  i någon form) kan en påtvingad koaguleringsprocess starta. Fällningsmedlet neutraliserar den negativa ytladdningen hos de kolloidala partiklarna och gör det möjligt för van der Waals-krafterna att verka och slå samman partikelföreningarna till större partikelaggregat. Detta kallas för laddningsneutralisation och

normalt skiljer man mellan två olika mekanismer vid koagulering – laddningsneutralisation och svepkoagulering [3] [4].

Svepkoagulering fungerar enligt principen att de kolloidala partikelföroreningarna adsorberas till de metallhydroxidflockar som bildas när en fällningskemikalie tillsätts. Flockarna kan sedan avskiljas ur vattnet genom sedimentering och på så sätt har de kolloidala materialet avskilts från råvattnet [3] [4].

### 2.1.2.1 ALG som fällningsmedel

Ett vanligt fällningsmedel vid kemisk flockning är Aluminiumsulfat. Vanligen säljs aluminiumsulfat under produktnamnet ALG vilket är granulerat aluminiumsulfat med kristallint vatten bundet till sig [5]. Den kemiska formeln för ALG är  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  [4]. När ALG används som fällningsmedel bildas flockar av fast aluminiumhydroxid. Den kemiska reaktionen ser ut som följer [4];



Ur reaktionsformeln framgår att alkalinitet förbrukas när vätekarbonat reagerar med ALG och vattnet kommer därför att försuras. Det vätekarbonat som deltar i reaktionen finns naturligt i råvattnet och förekommer i överskott. Därav kommer i princip all ALG som tillsätts att reagera och bilda  $Al(OH)_3$ , givet att pH hålls i rätt intervall där aluminiumhydroxiden är näst intill olöslig i vattnet [4].

## 2.2 Norrvattens reningsprocess

Norrvatten hämtar sitt råvatten från Mälaren och innan vattnet håller tillräcklig kvalitet för att klassas som tjänligt dricksvatten genomgår vattnet en rad olika processteg. Beroende på årstid och vattenkvalitet tas vattnet in från två olika djup - ett grundare på 4 meter och ett djupare på 22 meter [2].

Det första steget är grovsilning där grövre partiklar avlägsnas från råvattnet genom att vattnet passerar en korgbandsil. Sedan pumpas vattnet vidare i reningsprocessen till det kemiska reningssteget. Vattnet passerar en så kallad blandningsränna där fällningsmedel tillsätts. Efter att fällningsmedlet tillsatts leds vattnet till en flockningskammare där det tillsatta fällningsmedlet hinner reagera och bilda kemflockar. Här tillsätts även ett flockningshjälpmedel som gör att större flockar kan bildas. De bildade kemflockarna adsorberar partikulära föroreningar i vattnet och bildar ett slam som avskiljs i ett efterföljande sedimenterings- eller flotationssteg. Efter sedimenteringsbassängerna passerar vattnet ett sandfilter där eventuella restflockar avlägsnas [6][7].

När vattnet genomgått det kemiska reningssteget pumpas det vidare till ett kolfilter. I detta steg är vattnet redan klart och färglöst eftersom grumlande partiklar har avskilts i föregående processteg. I kolfiltersteget passerar vattnet en 2,5 meter tjock bädd av aktivt granulerat kol och renas från eventuella lukt- eller smakföroreningar. Sedan rinner vattnet vidare till en UV-reaktor där vattnet desinficeras [7].

I det kemiska reningssteget surgörs vattnet som en naturlig följd av den kemiska reaktion där flockar bildas (se kapitel 2.1.2 ”Kemin bakom kemisk flockning”). Därför justeras pH-värdet som ett sista steg innan vattnet är klart att pumpas ut i ledningsnätet. I figur 1 nedan visas en schematisk bild över hela reningsprocessen.



Figur 1- Schematisk bild över Norrvattens reningsprocess på Görvälnverket [7]

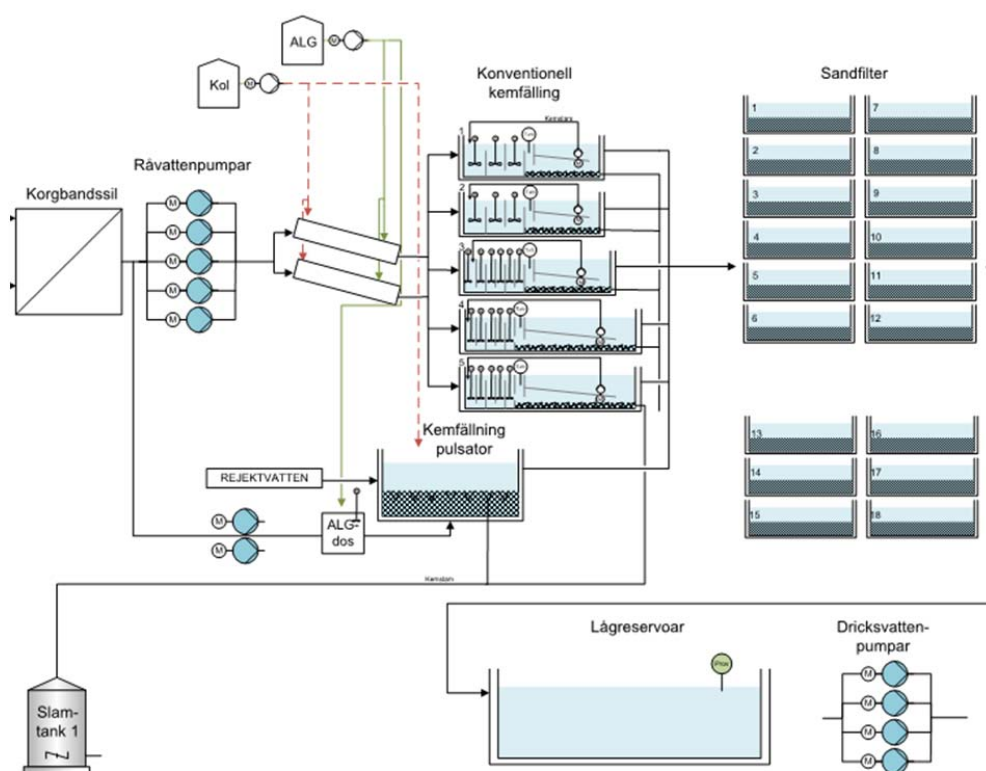
### 2.2.1 Norrvattens kemfällningssteg

Det centrala processteget i detta projekt är kemfällningssteget. Till kemfällningen räknas blandningsrännan, flockningskammare, sedimenterings- och flotationsbassänger samt sandfiltreringen (se Figur 1 steg 4–7 samt figur 2).

Norrvattens kemfällning består av fem kemfällningslinjer (KF 1–5) och en pulsator. Av de fem kemfällningslinjerna har en av dem både sedimentering och flotation [8]. De olika bassängerna skiljer sig i storlek men flödesfördelningen över de olika bassängerna är av ungefär den samma

(se bilaga 1). I dagsläget tas slam ut genom slamventiler i sedimenteringsbassängerna. Detta sker genom att slamventilerna öppnas i 20 sekunder en gång var 50:e minut. Slamuttaget är alltså inte anpassat till en varierande slamproduktion utan samma uttag görs kontinuerligt året om.

Parallellt med denna teknik finns en pulsator där kemfällning sker. Pulsatorn bygger på samma princip som den övriga kemfällningen. Kortfattat kan den beskrivas som en lösning där man fört samman flockningssteget med sedimenteringssteget. Denna typ av lösning tar mindre plats och kan därför vara lämplig om en hög vattenproduktion på en begränsad yta efterfrågas [4]. I figur 2 visas en schematisk bild över Norrvattens kemfällningssteg.



Figur 2- Schematisk skiss över Norrvattens kemfällning [6].

När råvattnet når blandningsrännan tillsätts ett fällningsmedel. I Norrvattens fall används aluminiumsulfat (ALG) som fällningsmedel.

Efter att ALG tillsatts blandningsrännan går vattnet vidare till flockningskammare. För att förbättra flockningsprocessen och erhålla större flockar tillsätts även en mängd natriumsilikat (vattenglas). De kemflockar som bildas utgörs av aluminiumhydroxid ( $Al(OH)_3$ ) till vilka de kolloidala partikelföroreningarna i råvattnet binder till. Kemflockarna sedimenterar eller floterar sedan i bassängerna och bildar ett slam [4] [6].

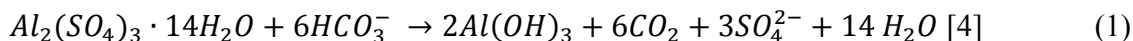
## 2.3 Teoretisk slamproduktion

I detta kapitel redovisas hur den teoretiska slamproduktionen kan beräknas då ALG används som fällningsmedel. När ALG används som fällningsmedel bildas ett slam av aluminiumhydroxid till följd av flockbildningsreaktionen som sker. Det första steget för att beräkna mängden slam som produceras är således att beräkna hur mycket aluminiumhydroxid som bildas i förhållande till doseringen av ALG.

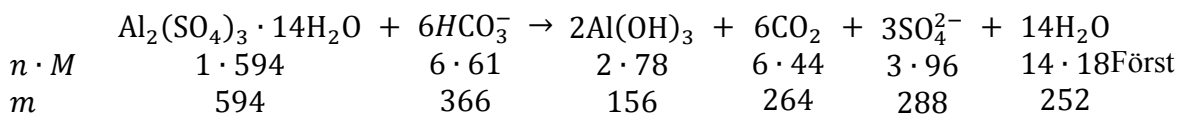
Som tidigare nämnts adsorberar aluminiumhydroxidflockarna de kolloidala partikelföroreningarna som förekommer i råvattnet. Det bildade slammet innehåller därför både aluminiumhydroxid, de partikulära föroreningarna som fanns i råvattnet och en andel av eventuellt tillsatt flockningshjälpmedel. Av den anledningen är nästa steg att addera den del av slammet som inte är aluminiumhydroxid. Förenklat skulle man kunna säga att den *totala slamproduktionen* ( $SP_{tot}$ ) = Aluminiumhydroxid + övrig fast substans.

### 2.3.1 Beräkning av producerad mängd Aluminiumhydroxid

I ekvation (1) nedan visas en reaktionsformel för reaktionen som sker vid flockning med ALG som fällningsmedel.



Utifrån reaktionen i ekvation (1) kan mängden aluminiumhydroxid som bildas beräknas [4]. Eftersom fällningsmedlet (ALG) har en känd sammansättning och molekylvikterna för vardera ämnen är kända kan detta göras på följande sätt.



inkluderas vardera förenings molkoefficient (n) som sedan multipliceras med dess molmassa (M).

Ur formeln framgår att 156 gram (2 mol)  $Al(OH)_3$  bildas för varje 594 gram (1 mol) ALG som förbrukas. På så sätt kan ett förhållande mellan hur mycket aluminiumhydroxid som bildas i förhållande till hur mycket ALG som förbrukas tas fram med hjälp av följande ekvationer.

$$C_{Al(OH)_3} \left[ \frac{g}{m^3} \right] = \frac{156}{594} * DOS_{ALG} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \quad (2)$$

eller

$$m_{Al(OH)_3} [g] = V_{Råvatten} [m^3] * C_{Al(OH)_3} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \quad (3)$$

Med hjälp av ekvation (2) kan koncentrationen aluminiumhydroxid som bildas beräknas.

Alternativt kan den totala massan aluminiumhydroxid som bildats beräknas i ekvation (3) genom

att ekvation (2) multipliceras med den totala råvattenvolymen. Nästa steg är att addera övrig mängd substans som utgör slammet.

### 2.3.2 Beräkning av övrig fast substans i slam

För att beräkna den totala slamproduktionen måste hänsyn tas till de övriga parametrarna såsom råvattnets sammansättning och tillförsel av flockningsmedel. Det finns flera sätt att uppskatta den teoretiska mängden övrig substans i slammet. De olika sätten ger olika noggrannhet och beroende på vilken data som finns tillgänglig lämpar sig olika metoder.

En grov uppskattning kan göras enkelt genom att utgå från att det erhållna slammet utgörs av cirka 50 vikt-% aluminiumhydroxid [9]. Genom detta antagande kan den totala slamproduktionen ( $SP_{tot}$ ) beräknas enligt ekvation (4) alternativt massan torrsbstans (TS) i ekvation (5) [10].

$$\frac{1}{2} * SP_{tot} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \approx C_{Al(OH)_3} \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$SP_{tot} \approx 2 * C_{Al(OH)_3} \left[ \frac{g}{m^3} \right] = 2 * \frac{156}{594} * DOS_{ALG} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \approx 0,5 * DOS_{ALG} \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

$$SP_{tot} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \approx 0,5 * DOS_{ALG} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \quad (4)$$

Eller

$$TS [g] \approx 0,5 * V_{Råvatten} [m^3] * DOS_{ALG} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \quad (5)$$

Ett mer noggrant sätt att göra detta på är att utgå från Wardens formel för slamproduktion. Här utnyttjas ingående råvattens turbiditet, vattnets färgtal före och efter reningssteget samt hur stor andel av flockningsmedlet som bildar slam. Dessa parametrar kompenserar för den massa som utgörs av *övrig fast substans* utöver aluminiumhydroxid som slammet innehåller. Om natriumsilikat används som flockningskemikalie kan man räkna med att cirka en tredjedel bildar slam [10]. Ekvation (6) nedan kan användas för att på detta sätt beräkna massan TS som produceras.

$$TS[g] = V_{Råvatten} [m^3] * \left( C_{Al(OH)_3} \left[ \frac{g}{m^3} \right] + 2G + 0,2F + \frac{C_{Natriumsilikat}}{3} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \right) \quad (6)$$

$G$  = Råvattnets turbiditet [FNU]

$F$  = Färgtal råvatten – Färgtal renat vatten [mg Pt/l]



Den totala slamproduktionen kan också beräknas med hjälp av ekvation (8) genom att utgå från slammets aluminiumhalt. Om analysdata för slammets metallinnehåll finns tillgängligt går det att jämföra mängden aluminium i slammet med andelen aluminium i aluminiumhydroxid.

Aluminiumhydroxid innehåller cirka 35 vikts-% aluminium (se bilaga 2). Eftersom mängden aluminium som finns i slammet till allra största del är bundet i aluminiumhydroxiden kan vikts-% aluminium i slammet jämföras med vikts-% aluminium i aluminiumhydroxiden [11]. För att göra detta har en faktor  $\mathcal{Z}$  införts som kan beräknas med hjälp av ekvation (7). På så sätt går det att ta reda på proportionerna mellan hur mycket aluminiumhydroxid som finns i slammet i förhållande till övrig substans. Om ekvation (3) multipliceras med en faktor  $\mathcal{Z}$  så erhålls den totala massan TS.

$$\mathcal{Z} = \frac{\text{vikts\% Al i Al(OH)}_3}{\text{vikts\% Al i Slam}} \quad (7)$$

$$TS[g] = m_{\text{Al(OH)}_3}[g] * \mathcal{Z} \quad (8)$$

### 2.3.3 Turbiditet och färgtal

Turbiditet är ett mått på hur ljus absorberas och sprider sig i vatten beroende på den halt partiklar som finns i vattnet. Koncentrationen suspenderat och löst material i ett vatten kan därför mätas genom turbiditet. Både organiskt material, alger och mikroorganismer samt oorganiskt material som till exempel lera påverkar turbiditeten. Ett sätt att beskriva turbiditet är som ett mått på grumligheten i vattnet.

Färgtal mäts i enheten [mg Pt/l] och påverkas främst av halten humusämnen i vattnet samt av järn- och manganföreningar. [12][13][14].

## 2.4 Öppningstid för slamventiler

I dagsläget öppnas slamventilerna i 20 sekunder en gång var 50:e minut. Detta sker oberoende av tid på året eller tid på dygnet. Det vill säga ingen hänsyn tas till eventuella variationer i slamproduktion. Av den anledningen finns det risk för att restflockar stannar i sedimenteringsbassängerna under perioder med hög belastning, d.v.s. vid hög slamproduktion.

För att tillämpa beräkningarna av den teoretiska slamproduktionen är det nödvändigt att beräkna hur länge slamventilerna behöver öppnas för att avlägsna just den mängd slam som produceras ( $t_{\text{öppen}}$ ). I detta kapitel redovisas hur dessa beräkningar kan göras.

Volymen fuktigt slam ( $V_{\text{slam}}$ ) kan beräknas med hjälp av ekvation (9) genom att den totala massan TS som bildas divideras med TS %. Detta görs för att ta reda på hur stor volym slam som önskas avlägsnas från kemfällningen. Eftersom slammet utgörs till allra största del av vatten antas densiteten ( $\rho$ ) vara ca 1 kg per liter.

$$m_{slam}[kg] = V_{slam}[l] * \rho \left[ \frac{kg}{l} \right] \quad ; \rho \approx 1$$

$$\Rightarrow V_{slam}[l] \approx m_{slam}[kg]$$

$$V_{slam}[l] \approx \frac{TS [kg]}{TS \%} \quad (9)$$

$t_{\text{öppen}}$  kan nu beräknas med hjälp av ekvation (10) om genomflödet för slamventilen ( $Q_{slamventil}$  [l/s]) är känt.

$$t_{\text{öppen}}[s] = \frac{V_{slam}}{Q_{slamventil}} \left[ \frac{l}{\frac{l}{s}} \right] \quad (10)$$

### 3 Genomförande

För att kunna utföra försöken och optimera slamuttaget var det först nödvändigt att beräkna den teoretiska mängd slam som bildas. Utifrån detta kunde sedan öppningstiden hos slamventilerna beräknas beroende på hur mycket slam som bildas.

Efter att litteraturstudien genomförts och en metod för att beräkna den teoretiska slamproduktionen tagits fram påbörjades förberedelserna inför försöken på Görvälnverket. Formel (8) (se kapitel 2.3) valdes för att beräkna den teoretiska slamproduktionen. Data över slammets aluminiumhalt har tagits från tidigare utförda analyser av metallinnehållet i Norrvattens slam (se bilaga 3). För att validera den utvalda formeln och beräkningsmodellen har empiriska data tagits fram och jämförts med den teoretiskt beräknade slamproduktionen. När formeln och beräkningsmodellen ansågs validerade beräknades den teoretiska slamproduktionen och utifrån det  $t_{\text{öppen}}$ , som är den parameter som används vid försöken på Görvälnverket.

#### 3.1 Jämförelse av empiriskt och teoretiskt slamuttag

När en formel hade tagits fram för den teoretiska slamproduktionen skapades en beräkningsmodell i Excel. I beräkningsmodellen plottades nödvändiga data och den teoretiska slamproduktionen erhöles. Beräkningsmodellen testades sedan genom att beräkna teoretisk slamproduktion per dygn under perioden januari 2017 – december 2019. De erhållna resultaten jämfördes sedan med empiriska data över den mängd slam som Norrvatten tagit ut under samma period. På detta sätt kunde beräkningsmodellen valideras genom att anta att den teoretiska slamproduktionen borde vara av samma storleksordning som det verkliga slamuttaget.

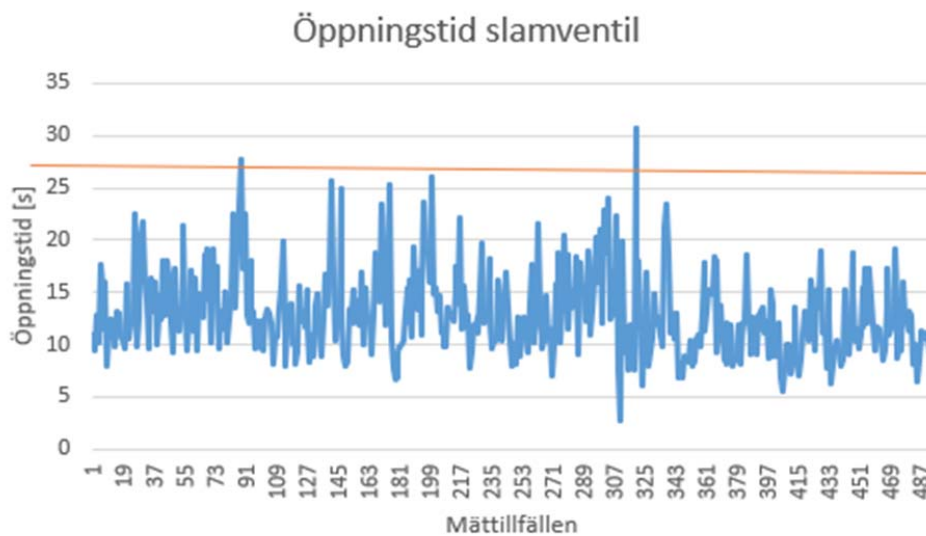
För att jämföra den empiriska slamproduktionen med den teoretiska behövdes även det faktiska slamuttaget beräknas. Data sammanställdes för att göra en materialbalans över hela anläggningen och på så sätt beräkna det empiriska slamuttaget. Detta visade sig dock relativt komplicerat och möjligheten till en alternativ metod undersöktes.

Eftersom Norrvatten betalar för att transportera bort deras slam från anläggningen bokförs hur många ton avvattnat slam som transporteras bort varje månad. Andelen torrsubstans (TS %) finns även uppmätt för detta slam och på detta sätt kunde det faktiska slamuttaget erhållas. När dessa beräkningar gjordes visade det sig – som det från början antagits – att den teoretiska slamproduktionen var något större än den uppmätta men av samma storleksordning. Formeln och beräkningsmodellen ansågs nu klar att användas för vidare beräkningar av slamproduktionen.

### 3.2 Beräkning av slamventilens öppningstid

En ny beräkningsmodell utformades i Excel utifrån ekvation (10) för beräkning av nödvändig öppningstid hos slamventilerna ( $t_{\text{öppen}}$ ) (se kapitel 2.4). För detta hämtades data dels från driftcentralen men även från Norrvattens databas.

$t_{\text{öppen}}$  beräknades utifrån att ventilerna öppnas en gång var 50:e minut (som tidigare). Inför försöken gjordes beräkningar för de tre veckorna innan försöken gjordes. Ett maxvärde för  $t_{\text{öppen}}$  under dessa veckor togs fram i syfte att användas i försöken (se figur 3).



Figur 3- Nödvändig öppningstid ( $t_{\text{öppen}}$ ) hos slamventil då ventilen öppnas en gång var 50:e minut. Ett maxvärde är markerat med en tangent över de högsta värdena som uppmätts under den utvalda perioden (januari 2020).

Den teoretiska slamproduktionen och  $t_{\text{öppen}}$  beräknades perioden januari 2019 – januari 2020. Eftersom vattenflödet (och därmed slamproduktionen) inte är konstant över dygnets timmar gjordes dessa beräkningar där vattenflöde per timme användes istället för flödet per dygn. Under resultat illustreras detta i figur 6.

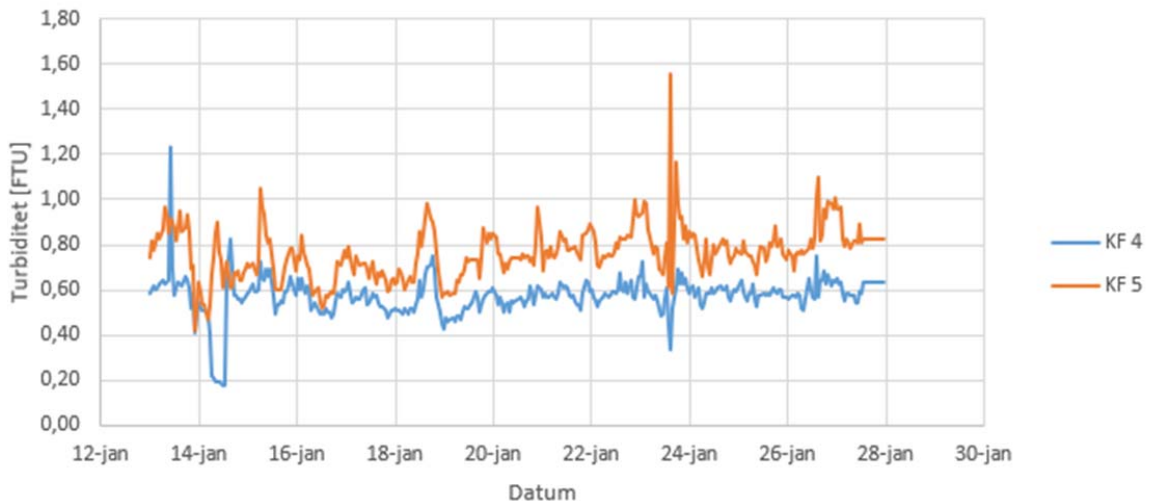
### **3.3 Försök i fullskala av teoretiskt slamuttag**

Då alla nödvändiga beräkningar var klara gjordes försök på Görvålverket där öppningstiden för slamventilerna varierades beroende på teoretiskt beräknad slamproduktion. Den beräknade öppningstiden på 27 sekunder (se figur 3) ställdes in via driftcentralen för kemfällningslinje 5 (KF 5).

Eftersom KF 4 & 5 är likadant utformade bestämdes att dessa skulle jämföras. Jämförelsen gjordes genom att öppningstiden för slamventilen ändrades till 27 sekunder var 50:e minut i KF 5 medan KF 4 hölls oförändrad på 20 sekunder var 50:e minut. Efter en vecka kunde mängden restflock ut från KF 5 jämföras med KF 4. Den parameter som jämfördes var turbiditet in till sandfiltren. Turbiditeten representerar ett mått på hur mycket restflockar som finns kvar när vattnet går till sandfiltreringen.

## 4 Resultat

I figur 4 jämförs turbiditeten ut från KF 5 och KF 4. I KF 5 ökades öppningstiden till 27 sekunder medan KF 4 hölls oförändrad. I Figur 5 är differensen mellan turbiditeten ut från KF 5 & KF 4 plottad över samma tidsperiod. Resultaten visar att ingen tydlig minskning skett med avseende på turbiditeten till följd av ändringarna som gjorts under försöken.

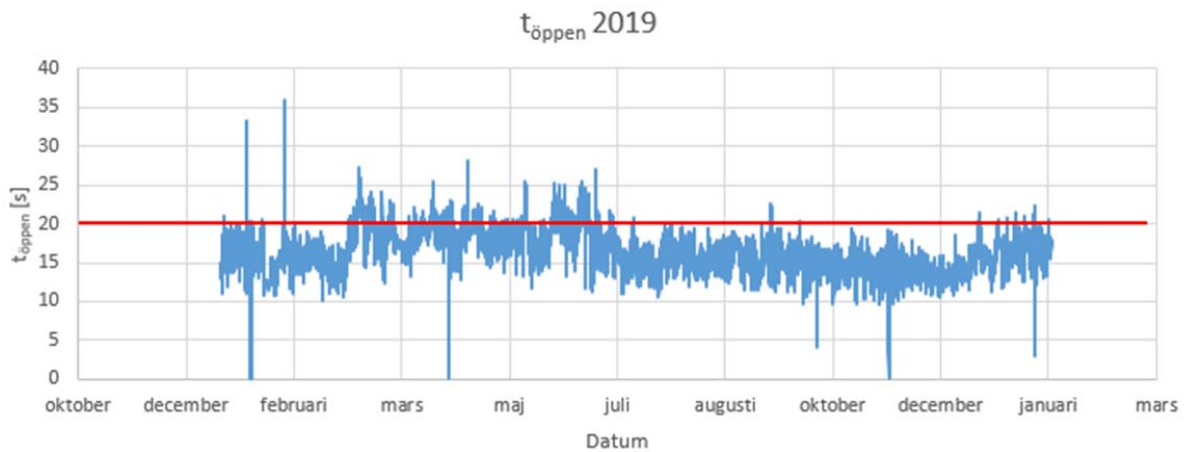


Figur 4- Turbiditet ut från KF 4 respektive 5 under perioden 13:e januari – 27:e januari 2020. Ändring av öppningstiden hos slamventilen gjordes i KF 5 den 21:a januari och KF 4 hölls oförändrad.

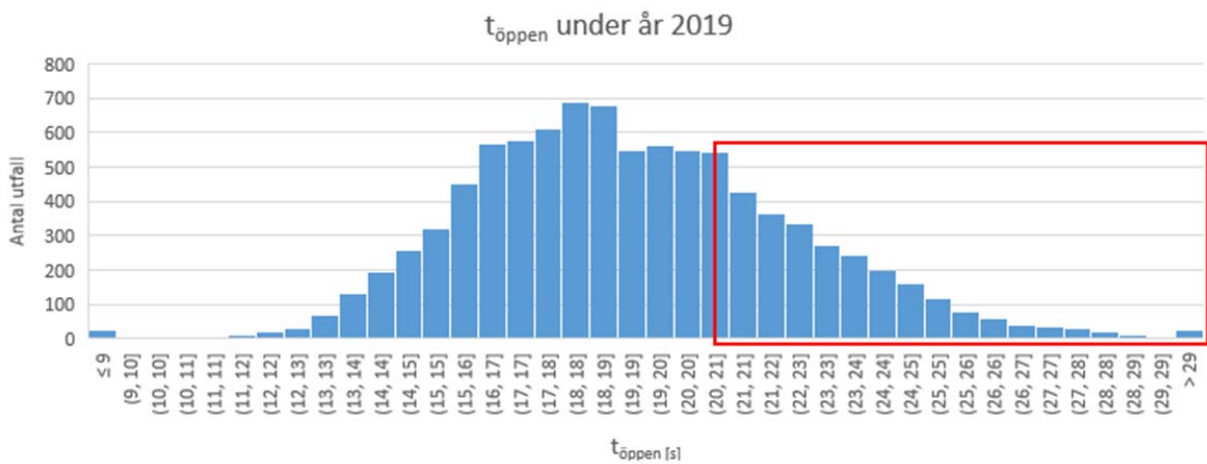


Figur 5 - Skillnad mellan turbiditeten [FTU] mellan KF 4 & KF 5. Försök där öppningstiden ändrades till 27 sekunder i KF 5 gjordes den 21:a januari. Under perioden innan ändringarna gjordes visade sig skillnaden i turbiditet vara i genomsnitt 0,17 FTU medan under veckan då toppen ändrats var skillnaden i genomsnitt 0,23 FTU.

I figur 6 mäts hur  $t_{\text{öppen}}$  förändrats dygnsvis under helåret 2019. Den inritade linjen representerar hur slamventilen faktiskt varit öppen under samma period. På så sätt kan man se när öppningstiden antingen varit för lång eller för kort. Figur 7 visar förekomsten av olika  $t_{\text{öppen}}$  för varje timme under år 2019.

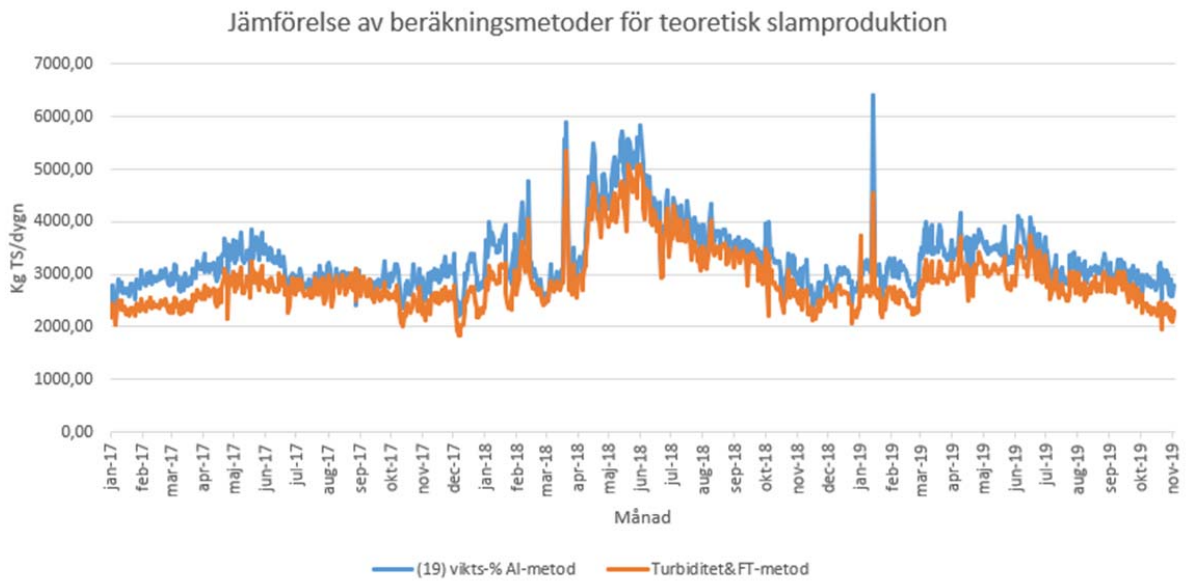


Figur 6- Dygnsmedel för  $t_{\text{öppen}}$  hos slamventilerna under olika tider på året. Den röda linjen visar nuvarande öppningstid som är konstant på 20 sekunder var 50:e minut.



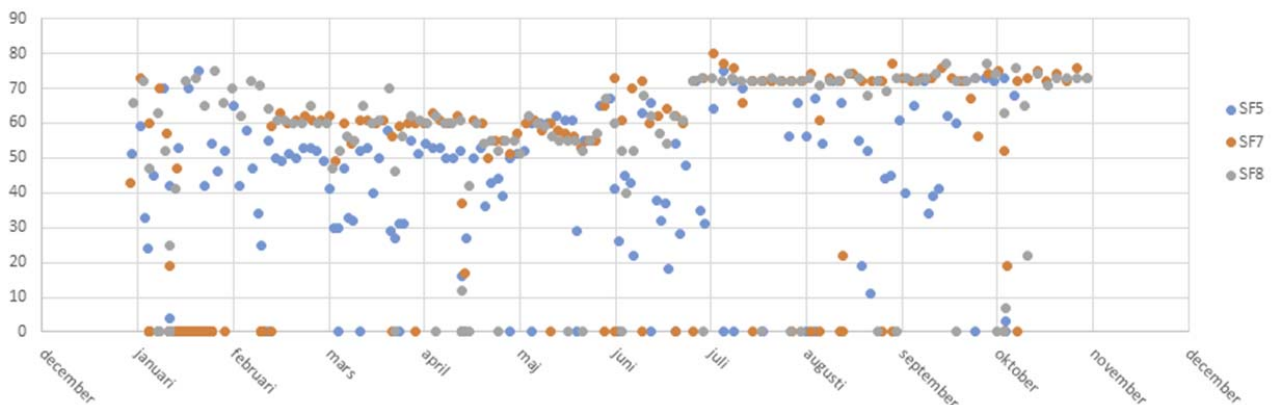
Figur 7- Antalet gånger som en viss  $t_{\text{öppen}}$  inträffat under år 2019 uppdelat i timmar. Den inritade rektangeln representerar de tillfällen då  $t_{\text{öppen}} >$  slamventilernas verkliga öppningstid under 2019.

I figur 8 jämförs två av de beskrivna metoderna för beräkning av den teoretiska slamproduktionen. Ekvation (8) respektive (6) har jämförts. När den analyserade aluminiumhalten på 19 vikts-% användes visade den metoden något högre teoretisk slamproduktion än när Wardens metod tillämpades under samma tidsperiod.



Figur 8- Jämförelse av de två olika metoderna för beräkning av teoretisk slamproduktion under perioden jan 2017 - nov 2019. Ekvation (8) respektive (6).

Figur 9 visar gångtider mätt i timmar hos tre likadant utformade sandfilter under år 2019. Om korta gångtider sammanfaller med perioder då  $t_{\text{öppen}} > 20$  sekunder tyder detta troligen på att problemet med restflock orsakas av slamuttaget.



Figur 9- Gångtider [h] hos sandfiltren under 2019. Tre sandfilter med likadan utformning har jämförts (SF 5,7 & 8) [6].



## 5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras försökens genomförande, resultat, eventuella felkällor och möjliga förbättringar. Utöver detta diskuteras hur framtida försök skulle kunna göras samt hur och varför det framtagna materialet i denna studie kan implementeras för att optimera slamuttaget i Norrvattens kemfällning.

### 5.1 Förberedelser och genomförande av försök på Görvälverket

Då  $t_{\text{öppen}}$  i figur 3 beräknades användes ett varierande värde för TS %. Uppmätta TS % för varje enskild timme plottades i beräkningsmodellen för  $t_{\text{öppen}}$ . Detta ansågs som ett misstag eftersom TS % bör vara konstant av anledningen att  $t_{\text{öppen}}$  är proportionell mot mängden teoretisk bildad TS. Det vill säga ju mer TS som bildas desto längre öppningstid, vilket inte alltid blir fallet om TS % varierar i beräkningarna. Av den anledningen kan öppningstiden varit tillräcklig under perioden då försöken genomfördes. I så fall kan detta sannolikt bidragit till att resultaten inte visade någon minskning av mängden restflock. I övriga beräkningar (figur 6-8) användes ett konstant TS % på 0,36 % vilket beräknades genom att ta ett medelvärde under perioder då  $t_{\text{öppen}} > 20$  sekunder. Under dessa perioder ansågs slammets sammansättning vara mer ”optimal”, d.v.s. inget onödigt vatten fanns med.

Inför försöket på Görvälverket beräknades först ett medelvärde för  $t_{\text{öppen}}$  över de tre veckorna innan försöket gjordes (figur 3). Anledningen till att de tre veckorna innan projektet användes för beräkningar var att det inte var möjligt att inhämta data i realtid. Dessa tre veckor ansågs rimliga att använda till beräkningarna då dessa rimligtvis är mest lika den veckan som försöken genomfördes. Medelvärdet byttes dock mot ett maxvärde över samma period. Anledningen till detta var att om ett medelvärde använts skulle restflock förväntas under de perioder då medelvärdet är lägre än  $t_{\text{öppen}}$ . Genom att istället använda ett maxvärde förväntades minimalt med restflock. Istället skulle dock troligen en onödig mängd vatten tas ut.

#### 5.1.1 Resultat från försök på Görvälverket

Försöken som genomfördes anses otillräckliga eftersom jämförelsen med KF 4 blir irrelevant om  $t_{\text{öppen}}$  är beräknad utifrån missvisande värden på TS %. För att någon skillnad i mängd restflock skall kunna förväntas krävs att öppningstiden är för kort (icke optimal) i den kemfällningslinje som den optimerade kemfällningslinjen jämförs med. Under den årstiden som försöken gjordes är normalt slamproduktionen dessutom relativt låg (se figur 6 & 8 under ”Resultat”). Det är därför troligt att öppningstiden på 20 sekunder var 50:e minut i den oförändrade kemfällningslinjen redan var väl anpassad till slamproduktionen under veckan då försöken utfördes. Det kan därför inte säkerställas hur stor eller om någon förbättring sker med avseende på restflock genom att

optimera slamuttaget. Andra orsaker som för kort sedimenteringstid kan också påverka mängden restflock.

## 5.2 Teoretisk slamproduktion & slamuttag i praktiken

Ur figur 6 och 8 kan trender urskiljas i hur slamproduktionen (och således  $t_{\text{öppen}}$ ) ändras över året. Slamproduktionen varierar även över tiden på dygnet, eftersom vattenförbrukningen inte är konstant under dygnets alla timmar. I figur 6 är den tidigare inställda öppningstiden inritad i diagrammet och kan jämföras med  $t_{\text{öppen}}$ . I figur 6 kan man alltså avläsa när öppningstiden antingen varit för lång eller för kort. Eftersom vattenproduktionen skiljer sig över olika tider på dygnet är det även rimligt att anta att det under vissa tider avviker än mer från ”20 sekunderslinjen”.

När den inställda öppningstiden hos slamventilerna är kortare än  $t_{\text{öppen}}$  finns risk för onödig restflock. Under de perioder då den inställda öppningstiden istället är längre än  $t_{\text{öppen}}$  skulle sannolikt en onödig mängd vatten följa med. Detta leder troligen till att ett slam med låg TS % tas ut. Därför vore det dels rimligt att optimera slamuttaget för att undvika restflock under perioder med hög belastning och dels för att slippa ett slam med låg TS %. Eftersom slammet i ett senare steg avvattnas, vilket kostar pengar finns ett intresse att hålla TS % så hög som möjligt i slamtankarna. Att undvika onödig avvattning skulle troligen innebära dels en energi- och miljöbesparing samt en ekonomisk besparing.

## 5.3 Användning av beräkningsmodell

De framtagna formlerna och beräkningsmodellerna kan användas framöver för vidare försök. Målet att ta fram ett samband för hur slamuttaget kan optimeras utifrån en beräkning av slamproduktionen kan därför ses som uppnått.

Det skulle även vara lämpligt att reglera slamventilernas öppningstider framöver utifrån den teoretiska slamproduktionen, dels för att undvika restflock under perioder med hög belastning med även för att slippa ett slam med låg TS % och onödigt uttag av vatten vid låg belastning.

### 5.3.1 Jämförelse av metoder

Beräkningarna inför försöken gjordes med hjälp av ekvation (8). Ekvation (8) gav något högre värden för den teoretiska slamproduktionen jämfört med ekvation (6). I figur 8 kan skillnaden mellan de två metoderna som användes för beräkning av den teoretiska slamproduktionen avläsas. Detta skulle i sin tur ge olika värden på  $t_{\text{öppen}}$ . Eventuellt vore det lämpligt att använda ekvation (6) eftersom den är etablerad sen tidigare och tar hänsyn till variationer i råvattnets sammansättning. Ekvation (8) kräver kontinuerlig analys av aluminiumhalten i slammet eftersom

denna troligen kommer att variera beroende på parametrar såsom råvattnets sammansättning eller om råvattnet tas in från det djupare eller grundare intagsdjupet.

### *5.3.2 Framtida försök och vidare utredning*

Eftersom resultaten från försöken inte ledde till någon slutsats angående mängden restflock som bärs med till sandfiltren vore det intressant att göra om försöken. Detta skulle kunna göras med hjälp av de framtagna beräkningsmodellerna där ett konstant TS %-värde bestäms.

Om restflock beror på för korta öppningstider i slamventilerna (icke optimalt slamuttag) vore det även rimligt att anta att korta gångtider sammanfaller med perioder där  $t_{\text{öppen}} > 20$  sekunder var 50:e minut. I figur 9 visas gångtider för tre olika sandfilter under år 2019. De perioder där  $t_{\text{öppen}} > 20$  sekunder var 50:e minut i figur 6 ser dock ut att sammanfalla till viss del med de perioder i figur 9 där gångtiderna är som kortast. En noggrannare analys över denna data skulle dock behövas för att undersöka om något sådant samband kan bekräftas.

## 6 Slutsats

De försök som kunde genomföras inom tidsramen av detta projekt kan ses som otillräckliga och ytterligare försök krävs. Jämförelsen av kemfällningslinjerna blir irrelevant då  $t_{\text{öppen}}$  beräknats med missvisande värden för TS %. Det bedöms mest troligt att slamuttaget var väl anpassat under den perioden som försöken genomfördes, vilket bör ha lett till att ingen förändring av mängden restflock syntes i resultaten. Av den anledningen kan det inte säkerställas om någon förbättring sker med avseende på restflock genom att optimera slamuttaget och inte heller bestämma hur stor en eventuell förbättring skulle vara.

De metoder som använts under detta projekt skulle kunna förbättras inför en eventuell vidare utredning. I försöken som gjordes beräknades slamuttaget utifrån ett varierande värde för TS % vilket i efterhand ansågs suboptimalt. Istället bör ett konstant värde för TS % uppskattas och användas till beräkningarna. Till följd av det felaktiga TS %-värdet finns risk att båda öppningstiderna i de två kemfällningslinjer som jämfördes var lång nog för att allt slam skulle hinna avlägsnas. Detta kan ha orsakat att ingen skillnad i mängd restflock kunde detekteras. I framtida försök bör ena uttaget vara under det optimala och det andra optimeras för att ta reda på om restflock orsakas av ett icke optimalt slamuttag. Detta kan göras antingen genom att försök utförs under en period då  $t_{\text{öppen}} > 20$  sekunder eller genom att sänka  $t_{\text{öppen}}$  i den kemfällningslinje som inte optimeras.

Slamuttaget tycks enligt de övriga resultaten vara relativt väl anpassat till slamproduktionen i nuläget. För ytterligare förbättring bör dock slamuttaget varieras beroende på tid på året och eventuellt även tid på dygnet.

Om det kan säkerställas att orsaken till problemet med restflock är ett icke optimalt slamuttag skulle detta kunna optimeras med hjälp av de framtagna beräkningsmodellerna.

Oavsett om problemet med restflock beror på slamuttaget eller inte skulle det troligtvis finnas fördelar med att optimera slamuttaget. När uttaget är större än nödvändigt tas en onödig mängd vatten ut tillsammans med slammet vilket sannolikt leder till en onödigt låg TS % för det uttagna slammet. Detta i sin tur leder till en högre energiförbrukning vid avvattning av slammet. Om uttaget istället är för litet finns risk att restflock som bärs med till sandfiltreringen. Det sistnämnda behövs undersökas närmare.

## Referenser

- [1] Livsmedelsverket, "Dricksvatten," 2019. [Online]. Besöktes: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten/>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [2] Norrvatten, "Om Norrvatten." [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/-Om-Norrvatten/>. [Accessed: 28-Nov-2019].
- [3] P. O. Persson, *Miljöskyddsteknik - Strategier & teknik för miljöskydd*. Stockholm: Inst. för ingenjörspedagogik, KTH, 2018.
- [4] Svenskt vatten, *Dricksvattenteknik 3 Ytvatten*, 1st ed. Stockholm: Svenskt Vatten AB, 2010.
- [5] Kemira Kemi AB Kemwater, *Produktinformation ALG*. Kemira Kemi AB, Kemwater, 2004.
- [6] T. Johansson, "Muntlig källa," *Norrvatten*, 2019. .
- [7] Norrvatten, "Reningsprocessen - norrvatten." [Online]. Available: <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Produktion-av-vatten/Reningsprocessen/>. [Accessed: 18-Dec-2019].
- [8] Norrvatten, "Muntlig källa," 2019.
- [9] R. Nr and J. Blomberg, "Metoder för omhändertag-anade av vattenverksslam," 1999.
- [10] VAV Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, "Vattenverksslam," 1990.
- [11] J. Blomberg, "Metallinnehåll i vattenverksslam," Stockholm, 1997.
- [12] P. Rivinoja and S. Larsson, "(PDF) Effekter av grumling och sedimentation på fauna i strömmande vatten - En litteratursammanställning," Umeå, 2001.
- [13] J. Bratby, *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment - John Bratby - Google Böcker*, 3rd ed. London: IWA Publishing, 2016.
- [14] L. Johansson, "Utvärdering av långsiktiga trender i Mälaren," Stockholm, 2003.

## Bilaga 1 – Flödesfördelning KF 1-5

[/d]	KF1	KF2	KF3	KF4	KF5
Timestamp	Integral	Integral	Integral	Integral	Integral
2017-01-01 00:00:00	13553947,88	13532274,57	13544680,55	12918260,62	13554104,92
2017-01-02 00:00:00	12586548,39	12564375,21	12571645,62	12594670,80	12583641,20
2017-01-03 00:00:00	14045699,44	14023152,09	14031248,41	14047145,08	14039670,23
2017-01-04 00:00:00	12464613,85	13151178,33	13157131,99	13180920,04	13172911,97
2017-01-05 00:00:00	13157404,10	12914038,83	13146577,01	13166473,95	13157303,10
2017-01-06 00:00:00	12675859,63	12041065,34	12668254,88	12681775,04	12672806,98
2017-01-07 00:00:00	13096159,82	13076550,24	12328623,48	13103548,72	13094443,94
2017-01-08 00:00:00	13905830,03	13884601,77	13899766,32	13910191,66	13903604,40
2017-01-09 00:00:00	14693067,88	14672146,47	14689718,36	14697522,84	13773293,14
2017-01-10 00:00:00	14206956,18	14184530,06	14200347,67	14214654,07	14208584,67
2017-01-11 00:00:00	13823845,68	13807233,98	13823856,53	13836133,75	13828748,66
2017-01-12 00:00:00	14348874,18	14324021,74	14340480,03	14353116,77	14344113,80
2017-01-13 00:00:00	13409946,02	13386908,20	13397112,14	13419543,90	13406547,22
2017-01-14 00:00:00	13474935,27	13452957,77	13462550,68	13486407,22	13471999,46
2017-01-15 00:00:00	14441819,47	14422264,39	14432716,41	13754418,01	14442951,69
2017-01-16 00:00:00	14166170,29	14163609,78	14125849,31	14129443,72	14187073,04
2017-01-17 00:00:00	13613797,48	13590760,30	13595385,53	13622570,87	13612892,73
2017-01-18 00:00:00	13312593,04	14147055,23	14154685,36	14175151,11	14168719,60
2017-01-19 00:00:00	14053262,14	13632863,92	14042272,41	14060327,19	14049440,15
2017-01-20 00:00:00	13878166,96	13444685,41	13869068,95	13887218,04	13874763,94
2017-01-21 00:00:00	13892485,74	13872802,15	13160882,61	13897708,43	13891369,88
2017-01-22 00:00:00	14504469,50	14485243,89	14504088,30	14510058,49	14504612,33
2017-01-23 00:00:00	14393600,45	14372103,70	14384389,63	14396061,14	14258260,10
2017-01-24 00:00:00	14521546,32	14500493,08	14511650,25	14527165,17	13704267,42
2017-01-25 00:00:00	14179631,63	14140223,95	14187327,88	14213379,59	14176895,59
2017-01-26 00:00:00	14519751,07	14498956,96	14508591,99	14521696,07	14515803,72
2017-01-27 00:00:00	14146727,75	14126940,41	14136820,29	14152401,66	14145021,84
2017-01-28 00:00:00	13952571,28	13931718,06	13941837,20	13957541,52	13952582,86
2017-01-29 00:00:00	14225431,32	14203541,63	14213499,01	13554029,25	14226653,69
2017-01-30 00:00:00	13990346,02	13966794,47	13977467,73	13998823,76	13985616,42
2017-01-31 00:00:00	14524509,22	14501454,05	14511242,59	14524288,22	14520339,81
2017-02-01 00:00:00	13173186,43	13989747,69	13999126,00	14018320,15	14010966,48

## Bilaga 2 – Vikts % aluminium i aluminiumhydroxid

$$M_{Al} = 27 \frac{g}{mol}$$

$$M_{Al(OH)_3} = 78 \frac{g}{mol}$$

$$\text{Vikts\% Al i Al(OH)}_3 = \frac{M_{Al}}{M_{Al(OH)_3}} * 100\% = \frac{27}{78} * 100\% \approx 35\%$$

## Bilaga 3 – Slamanalys Görvålverket

Ordernumber: L1002193 (; )				
Report created: 2010-02-16 by LU_APP1				
ELEMENT	SAMPLE	Vattenverksslam 20100208		
TS	%	1,9		
GF	% av TS	48,2		
Aska 550°C	%	51,8		
Al	mg/kg TS	190000		
As	mg/kg TS	<20		
B	mg/kg TS	6,84		
Ba	mg/kg TS	45,1		
Be	mg/kg TS	0,64		
Ca	mg/kg TS	7110		
Cd	mg/kg TS	<3		
Co	mg/kg TS	<3		
Cr	mg/kg TS	6,29		
Cu	mg/kg TS	74,9		
Fe	mg/kg TS	3260		
K	mg/kg TS	1540		
Li	mg/kg TS	3,52		
Mg	mg/kg TS	1050		
Mn	mg/kg TS	202		
Mo	mg/kg TS	<3		
Ni	mg/kg TS	34,8		
P	mg/kg TS	1360		
Pb	mg/kg TS	<20		
S	mg/kg TS	6300		
Sn	mg/kg TS	<8		
Sr	mg/kg TS	31,1		
V	mg/kg TS	10,4		
Zn	mg/kg TS	21		
Please note: This report is preliminary and does not contain all relevant information. For the definitive and complete reporting of the results, reference is made to the corresponding written and signed report from ALS Scandinavia.				