



CHALMERS

Inverkan av vattenverksslam på Ryaverkets reningsprocess

Kandidatarbete BMTX01-15-62

Handledare Britt-Marie Wilén

Av Filip Klint, Elin Tunander och Tove Udd

Sammandrag

Avloppsreningsverket Ryaverket i Göteborg drivs av Gryaab och tar bland annat emot slam från Göteborgs två vattenverk – Alelyckan och Lackarebäck. Vid dricksvattenrening tillsätts aluminiumsulfat för att fälla ut humusämnen vilket gör att vattenverksslamm har ett högt aluminiuminnehåll. Den höga aluminiumhalten gör att slammets är hårt bundet och svårt att avvattna. Det här försvårar hanteringen av slammets på Ryaverket och det är kostsamt att ta hand om den stora volym som slammets utgör. Tidigare uppskattning säger att vattenverksslamm utgör ca 10 % av torrsubstansen i Ryaverkets röt-kammare.

Syftet med projektet är att undersöka andelen torrsubstans från vattenverken i Ryaverkets röt-kammare genom att göra en massbalans av aluminium i olika strömmar. Eventuell negativ påverkan av sedimentation och avvattning av aktivslam på Ryaverket undersöks också genom laborationer.

Resultatet av den experimentella massbalansen visar att 5,1 % av torrsubstansen i röt-kammaren kommer från vattenverksslamm. Balansen baserades både på värden från egen analys och på insamlade värden från vattenverken och Gryaab. De egenanalyserade proverna visade viss osäkerhet då balanser med de uppmätta aluminiumhalterna över olika strömmar inte stämde. Sedimentationsförsöken visade inget tydligt resultat om att valda halter av vattenverksslamm påverkade sedimentationen av aktivslam. Avvattningsförsöken resulterade i lite spridda värden, men en viss trend mot längre avvattningstid vid mer tillsats kunde ses.

Eftersom många antaganden gjorts vid beräkningar i projektet och eftersom laborationerna gett otydliga eller osäkra resultat var det svårt att dra några slutsatser. Den tidigare uppskattningen om att 10 % av TS i röt-kammaren kommer från vattenverken kunde inte bekräftats eftersom resultatet av massbalansen endast visade på 5,1 %. Projektet hade kunnat förbättras genom att bland annat göra analyser av aluminiumhalt tidigare då laborationerna tog längre tid än väntat.

Abstract

The wastewater treatment plant Ryaverket in Gothenburg, operated by Gryaab, takes care of sludge from Gothenburg's two drinking water treatment plants - Alelyckan and Lackarebäck. In the treatment of drinking water aluminum sulfate is added to help particles in the water settle. This entails that the sludge has high aluminum content. The high aluminum content makes the sludge difficult to manage and hard to dewater. This complicates the management of sludge at Ryaverket and it is costly to take care of the extra volume the sludge gives. Previous approximations say sludge from the drinking water treatment plants takes up about 10 % of the total solids in the digesters at Ryaverket.

The aim of this project is to examine the proportion of total solids from the drinking water treatment plants in the digesters at Ryaverket by making a theoretical and an experimental mass balance of aluminum in different streams. Possible negative effects of settleability and dewatering of activated sludge from Ryaverket are also being investigated by experiments.

The result of the experimental mass balance was that 5.1% of total solids in the digester was sludge from drinking water treatment plants. The balance was based both on the values of experiments and the values given from the drinking water treatment plants and from Gryaab. The values from our analyzed samples showed some uncertainty because the mass balances of different flows in Ryaverket didn't add up. The experiments of settleability indicated no clear results that it was affected by the selected levels of sludge from drinking water treatment plants and solution of aluminum sulphate. The dewatering experiments resulted in scattered values, but a weak trend pointed towards longer time for dewatering with the additives added.

Because many assumptions were made in the calculations in the project and because the experiments gave unclear or uncertain results, it was difficult to draw any conclusions. The earlier approximation that 10% of total solids in the digester come from the drinking water treatment plants could not be confirmed because the result of the mass balance showed only 5.1%. The project could have been improved for instance by making the experiments earlier.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte.....	6
1.3	Problemställning.....	6
1.4	Avgränsningar.....	7
2	Teori.....	8
2.1	Sedimentering	8
2.2	Rötning	8
2.3	Teori om aluminium	8
2.4	Dricksvattenrening	8
2.4.1	Reningsprocess	9
2.4.2	Slamhantering	9
2.5	Ryaverket.....	10
2.5.1	Reningsprocess.....	10
3	Metod.....	13
3.1	Insamling av data.....	13
3.1.1	Vattenverkens mätdata.....	13
3.1.2	Ryaverkets mätdata.....	13
3.2	Analys av vattenverksslam	14
3.2.1	Torrsubstans (TS) och dess innehåll	14
3.2.2	Aluminiumhalt	14
3.2.3	Total Organic Carbon (TOC).....	14
3.3	Analys av aktivslam	14
3.3.1	Suspended solids (SS) och dess innehåll	14
3.3.2	Aluminiumhalt	15
3.4	Massbalans av aluminium	15
3.4.1	Teoretisk massbalans	15
3.4.2	Experimentell massbalans.....	15
3.5	Sedimentationsförsök	17
3.6	Capillary Suction Time (CST).....	17
4	Resultat.....	19
4.1	Analys av vattenverksslam	19

4.2	Analys av aktivslam	19
4.3	Massbalans av aluminium	20
4.3.1	Vattenverkens mätdata.....	20
4.3.2	Ryaverkets mätdata.....	20
4.3.3	Teoretisk massbalans	22
4.3.4	Experimentell massbalans.....	22
4.4	Sedimentationsförsök	26
4.5	Capillary Suction Time (CST).....	29
5	Diskussion.....	31
	Massbalanser.....	31
	Sedimentering och CST.....	32
	Förslag på förbättringar.....	33
6	Slutsats	35
	Referenser	36
Bilaga A.	Insamling av data.....	38
Bilaga B.	Analys av vattenverksslam	40
Bilaga C.	Analys av aktivslam.....	42
Bilaga D.	Massbalans av aluminium	43
Bilaga E.	Sedimentationsförsök	47
Bilaga F.	Risicanalys kemikaliehantering	49

Figurförteckning

Figur 1. Processchema Ryaverket.....	11
Figur 2. Blockdiagram över aluminiums väg.....	15
Figur 3. Mättningsplan för experimentell massbalans	16
Figur 4. Blockdiagram för teoretisk massbalans.	22
Figur 5. Aktuella volymsflöden vid provtagning	23
Figur 6. Resultat av analys av aluminiumhalt samt volymflöden i Ryaverkets strömmar	25
Figur 7. Sedimentationsförsök där vattenverksslam tillsatts till aktivslam	27
Figur 8. Sedimentationsförsök där aluminium tillsatts till aktivslam.....	27
Figur 9. Beräknade SVI-medelvärden vid olika mängd tillsatt vattenverksslam	28
Figur 10. Beräknade SVI-medelvärden vid olika mängd tillsatt aluminiumsulfat.....	28
Figur 11. Avvattningstiden beroende på mängd tillsatt vattenverksslam.....	30
Figur 12. Avvattningstiden beroende på mängd tillsatt aluminiumsulfat.....	30

Tabellförteckning

Tabell 1. Resultat av analys av vattenverksslam.	19
Tabell 2. Resultat från TOC-analys	19
Tabell 3. Resultat av analys av aktivslam från Ryaverket.....	20
Tabell 4. Totala mängder vattenverksslam samt aluminiumhalter från vattenverken.....	20
Tabell 5. Mängder aluminium som släpptes ut till Göta älv 2013 från Alelyckans vattenverk.....	20
Tabell 6. Mätvärden tagna av Ryaverket på flöden samt massflöde Al	21
Tabell 7. Mängd torrs substans, aluminiumhalt och massflöde Al i Ryaverkets avvattnade slam.....	21
Tabell 8. Flöden av aluminium per år, teoretisk massbalans.	22
Tabell 9. Resultat från inhämtade prov på Ryaverket.....	23
Tabell 10. Resultat av mätning av aluminium i Ryaverkets strömmar.....	24
Tabell 11. Experimentell massbalans av aluminium till röt-kammaren	26
Tabell 12. Beräknade SVI-värden vid olika mängd tillsatt vattenverksslam eller aluminium.	28
Tabell 13. Andel tillsatt aluminium i förhållande till aktivslams aluminiuminnehåll.	29
Tabell 14. Resultat CST med tre försök för varje prov.	30

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Ryaverket på Hisingen i Göteborg drivs av Gryaab och ansvarar för rening av avloppsvatten från kommunerna Ale, Göteborg, Härryda, Kungälv, Lerum, Mölndal och Partille (Gryaab, u.å.a). Till avloppsreningsverket kommer vatten från dagvatten, industrier, hushåll med mera. Bland annat kommer slam från Göteborgs två vattenverk – Alelyckan och Lackarebäck (Göteborgs Stad, u.å.a).

Vid dricksvattenproduktion används aluminiumsulfat för att fälla ut humusämnen vilket gör att vattenverksslam som kommer till Ryaverket har ett högt aluminiuminnehåll (Norrwater, u.å.). Slammet från dricksvattenproduktionen är mycket tjockt på grund av det bundna aluminiumet och har lätt för att binda vatten vilket leder till att slammet är svårt att avvattna (Graham-Jones, 2014). Detta försvårar hanteringen av slammet och tros även påverka processen på Ryaverket och det är kostsamt att ta hand om den stora volym som slammet utgör. Varje år har Gryaab en beräknad extra kostnad på ca 4 miljoner för att ta hand om slammet från vattenverken, och då även inräknat de missade intäkterna av biogasproduktionen som vattenverksslammet hämmar (Tumlin, 2014). Enligt enklare beräkningar har det kommit fram till att vattenverkens slam utgör ca 10 % av torrsubstansen i Ryaverkets röt-kammare.

Förutom att vattenverkens slam tar upp mycket plats på Ryaverket och är svåravvattnat kan det samtidigt ha flera andra negativa effekter på avloppsreningsprocessen vilket gör att Gryaab är kritiska till att ta emot och rena vattenverksslammet (D. l'Ons, personlig kommunikation, 5 februari 2015). Det pågår en diskussion och studier ifall vattenverken istället bör ta hand om och rena sitt egna slam. I ett examensarbete har Graham-Jones (2014) undersökt hur aktivslammet på Ryaverket påverkas av vattenverksslammet. Resultatet visade att avskiljningsförmågan hos slammet på Ryaverket då vattenverksslam tillförts försämrades. Avvattningsförmågan har stor inverkan på processen på Ryaverket då mycket vatten som hade kunnat renas och skickas ut i havet istället följer med slammet till röt-kammarna och tar upp plats där samt gör rötningsprocessen mindre effektiv. Sedimenteringskapacitet är också en viktig egenskap hos slammet. Ju högre sedimenteringshastigheten är desto mer avloppsvatten kan Ryaverket ta emot eftersom tiden i sedimenteringsbassängerna då kan bli kortare. I Graham-Jones examensarbete påvisades detta dock med en högre dos tillfört vattenverksslam än vad vattenverken i verkligheten tillför. Därför behövde en studie göras där en lägre, mer realistisk, dos vattenverksslam tillsattes för att se hur det påverkar aktivslammet.

1.2 Syfte

I detta projekt undersöks hur vattenverksslam påverkar sedimenterings- och avvattningsegenskaperna hos det aktiva slammet på Ryaverket. Eventuella negativa aspekter av att vattenverksslam, och framförallt aluminiumet i det, tas om hand på Ryaverket ska analyseras och utvärderas.

1.3 Problemställning

Uppgiften med projektet är att få en förståelse hur Ryaverkets reningsprocess av avloppsvatten fungerar. Även vattenverken Alelyckan och Lackarebäckrensningens process av dricksvatten samt hantering av vattenverksslam skall behandlas i studien.

I projektet skall det bland annat kontrolleras om vattenverksslam utgör 10 % av torrsubstansen i röt-kammaren på Ryaverket. För att undersöka detta skall det mätas hur mycket aluminium från vattenverken Alelyckan och Lackarebäck som kommer in till Ryaverket och hur mycket av detta som hamnar i röt-kammaren. Den totala mängden aluminium som går genom Ryaverkets reningsprocess skall förutom att mätas vid inloppet även mätas i andra punkter genom Ryaverket för att se hur mycket det är i de olika delströmmarna och i vilken fraktion det befinner sig. Genom massbalanser över strömmarna ska andelen vattenverksslam i röt-kammaren sedan räknas ut.

Två olika effekter av att vattenverksslam tillsätts till Ryaverkets aktivslam ska studeras. En uppgift är att se hur vattenverksslam påverkar aktivslammets sedimentationshastighet. Då vattenverksslammet innehåller mycket aluminium ska det även studeras hur rent aluminium påverkar sedimenteringshastigheten. Dessutom skall det studeras hur avvattningsförmågan hos aktivslammet påverkas av tillsatserna. Sedimentationsförsöken samt avvattningsförsöket kommer undersökas med en mindre mängd tillsatt vattenverksslam än vad som testats i tidigare projekt för att ta reda på effekten under mer realistiska förhållanden.

1.4 Avgränsningar

I projektet studeras hur sedimenteringsegenskaperna och avvattningsförmågan hos aktivslam påverkas av olika halter av vattenverksslam. För att projektet ska bli hanterbart kommer inte de bakomliggande detaljerade kemiska orsakerna till varför resultatet faller ut som det gör studeras närmre. För att göra projektet mer förståeligt kommer vissa kemiska samband endast förklaras mycket kortfattat.

Påverkan av sedimentering och avvattning är de enda egenskaper av vattenverksslam som kommer att undersökas. Till exempel har tidigare försök gjorts för att påvisa att aluminiumet i slammet skulle kunna öka reduktionen av fosfor, detta kommer inte tas med i detta projekt.

2 Teori

Göteborgs två vattenverk Lackarebäck och Alelyckan tar upp vatten från Göta älv samt Delsjöarna. Detta vatten renas genom olika processer för att tillslut distribueras till invånarna i Göteborg med omnejd. Slammet som bildas vid den kemiska reningen spolats ner i avloppet och hamnar sedan på Ryaverket på Hisingen. Där genomgår slammet Ryaverkets reningsprocess med tillhörande mekanismer för att sedan släppas ut i havet vid Göta älvs mynning.

2.1 Sedimentering

Sedimentering innebär att partiklar som är tyngre än vatten i en suspension sjunker till botten med gravitation som drivande kraft (Seader, Henley & Roper, 2011). Hastigheten på sedimentationen beror på intermolekylära krafter, partiklarnas massa och diameter samt viskositeten på vätskan. När laddade partiklar tillsätts binder de till suspenderade partiklar och gör att de samlas till större partiklar, de flockulerar. Större diameter gör att partiklarna sjunker snabbare och därmed ökas sedimentationshastigheten. Det här är anledningen till att aluminiumsulfat tillsätts på vattenverken.

2.2 Rötning

På Ryaverket används slam bland annat till produktion av biogas. Biogas består mestadels av metan och koldioxid och bildas genom anaerob (syrefri) rötning av biologiskt nedbrytbara material (Energigas Sverige, 2014). Rötningen sker i rötkammare där avvattnat slam från reningsprocessen skickas in. Mikroorganismer i slammet bryter ner det organiska materialet i en syrefri miljö under cirka 20 dagar. Vid nedbrytningen bildas bland annat metangas och koldioxid som sedan kan användas som bränsle i form av biogas. Resterna vid rötningen blir biogödsel. På grund av att allt innehåll i slammet på Ryaverket inte är organiskt kan inte allt omvandlas till biogas utan rötslammet som kommer ut ur rötkamrarna innehåller även oorganiska delar. Detta gör att kapaciteten i rötkamrarna sjunker.

2.3 Teori om aluminium

Aluminium är positivt laddade joner i lösning, eftersom de har tre elektroner i sitt yttersta atomskal blir laddningen +3 (Atkins & Jones, 2010). Anledningen till att aluminium tillsätts vid rening av dricksvatten är som sagt för att det gör att slammet sedimenterar fortare. Aluminium renar dessutom vattnet från fosfor eftersom det binder till fosfatjoner och bildar aluminiumfosfat. Detta innebär att mycket av aluminiumet på Ryaverket finns bundet till fosfor. Graham-Jones (2014) undersökte om vattenverksslammet gör att mer fosfor avskiljs från avloppsvattnet, vilket i så fall skulle kunna vara en fördel med att Ryaverket tar hand om vattenverkens slam. Rapporten visade dock att de mängder vattenverksslam som finns i Göteborg är för lite för att ge någon större påverkan. Fosfor är en bidragande orsak till övergödning, varför det är bra om så mycket som möjligt avskiljs från vatten som släpps ut.

2.4 Dricksvattenrening

Boende i Göteborg med omnejd kan få sitt dricksvatten från antingen Lackarebäckens vattenverk, strax öster om staden eller från Alelyckans vattenverk som ligger i den norra delen av staden (Göteborgs stad, u.å.b). Lackarebäckens vattenverk tar sitt vatten från Delsjöarna. För att försäkra sig om att dessa sjöar inte skall riskera att tömmas på vatten under torra perioder då mycket vatten tas ut till vattenverket, pumpas vatten från Göta älv till Delsjöarna. Alelyckan tar sitt vatten direkt ur Göta älv. Vattnet i Göta älv är inte lika rent som Delsjöarna vilket betyder att Alelyckan behöver använda mer kemikalier för att rena sitt vatten.

Göteborg använder sig precis som många andra större städer av ytvatten istället för grundvatten (Svenskvatten, u.å.). Grundvatten är som regel av bättre kvalitet än ytvattnet, vars vatten innehåller större mängder partiklar, naturliga organiska ämnen och bakterier. Detta medför att de vattenverk som använder grundvatten ofta renar i färre steg än de med ytvatten.

Ytvatten innehåller humusämnen som består av organiskt material och olika mängd av detta sätter olika stora krav på reningen. Humushalten kan mätas genom TOC-analys (total organic carbon) som är ett mått på totalinnehåll av organiskt material i ett prov (Löfgren, Forsius & Andersen, 2003). Analysen visar hur många mg kol i organiska föreningar som finns per liter vatten. Detta brukar mätas på reningsverk för att bedöma kraven på reningen.

2.4.1 Reningsprocess

Råvattnet som pumpas in till reningsverket passerar först genom ett filter för att större partiklar som flyter runt i vattnet skall avskiljas och då inte riskera att fastna i pumpar eller rör (Norrvatten, u.å.). Aluminiumsulfat tillsätts sedan till vattnet under långsam omrörning, vilket får humusämnen och andra mindre partiklar som vanligtvis finns stora mängder av i ytvattentäkter, att binda till varandra och då bilda så kallade flockar (Norrvatten, u.å.).

Efter tillsättning av aluminiumsulfat leds vattnet ut i sedimentationstankar. Där sjunker flockarna långsamt till botten och det flockfria övre vattnet rinner sakta ut ur bassängen. Denna process är mycket effektiv och via omrörningen som sker under processen ges möjligheten för partiklarna att skapa stora flockar. Dessa sjunker snabbt i sedimentationstankarna vilket ökar mängden partiklar som fastnar i dem (Graham-Jones, 2014). Vid tillsättning av rätt mängd aluminiumsulfat vid rätt pH blir denna process även väldigt effektiv ur kemikaliesynpunkt, då så mycket som 99,98 % av allt aluminium som tillsätts blir kvar i slammet som sedimenterar. Nästan inget transporteras då vidare utan att ha bidragit till fällningen.

För att säkerställa att vattnet håller önskad kvalitet i avseende på bakterie- och virusinnehåll, desinfekteras sedan vattnet (Wallén, 1999). Detta kan göras på flertalet olika sätt, bland annat med hjälp av klor, UV-ljus eller ozon. För att minska vattnets korrosion på ledningsrören kontrolleras och regleras pH-värdet om det är möjligt.

2.4.2 Slamhantering

Reningsprocesserna på vattenverken är ungefär likadana, dock hanterar de sitt producerade slam på olika sätt.

2.4.2.1 Lackarebäck

På botten av sedimenteringsbassänger finns slamskrapor som skrapar upp slammet på botten. Detta slam skickas sedan till stora tankar (I. Kjellberg, personlig kommunikation, 1 april 2015). Verket har sex stycken tankar och slammet i tankarna skickas kontinuerligt vidare till Ryaverket. I samband med att sedimentationsbassänger spolras blir det en större mängd slam som skickas till Ryaverket.

2.4.2.2 Alelyckan

Alelyckan har sedan 1996 lett ut vattnet från filterspolningarna direkt ut i Göta älv (Lundgren, 2014). Vatten från tömning och spolning av sedimenterings- och flockningsbassänger avleds via ett utjämningsmagasin. I utjämningsmagasinet finns ett utlopp i överkant vilket gör att om mängden vatten som kommer in i magasinet överstiger den nivå där utloppet finns kommer vattnet ledas vidare genom utloppet. Vidare från utloppet leds vattnet direkt ut i Göta älv. Den renare delen av

vattnet ligger överst och därför blir det detta vatten som leds ut i Göta älv. Vattnet som inte hamnar i Göta älv kommer till Ryaverket. Anledningen till att en del av vattnet släpps ut till Göta älv är för att minska belastningen på Ryaverket genom att skicka dit mindre mängder.

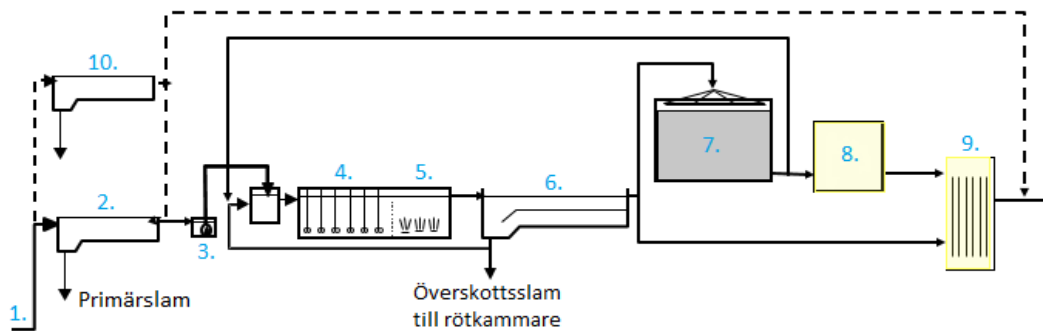
Sedimenteringsbassängerna är precis som hos Lackarebäck utrustade med slamskrapor i botten och dessa tar kontinuerligt ut slam ur bassängerna (Lundgren, 2014). Slammet som skrapats ut går till utjämningsmagasinet.

2.5 Ryaverket

Gryaab AB är ett kommunalt aktiebolag som bildades på 1960-talet och ägs av de sju kommunerna Göteborg, Ale, Härryda, Kungälv, Lerum, Mölndal och Partille och det är från dessa kommuner som Ryaverket tar emot och renar avloppsvatten (Gryaab, u.å.b). Bolaget har ett totalt tunnelsystem på 130 km och 2013 hade Gryaab en totalomsättning på 308 miljarder kr och 91 personer anställda (Gryaab, u.å.a). Gryaab äger reningsverket Ryaverket som byggdes 1972 och ligger på Hisingen i Göteborg. 2013 var det 705 715 personer anslutna till reningsverket. Gryaab har som uppgift att leda avloppsvatten från tätortsbefolkningen genom sitt tunnelsystem till Ryaverket samt att rena avloppsvattnet då det kommer fram till reningsverket. Efter att Ryaverket renat avloppsvattnet släpps det rena vattnet ut i Göta Älvs mynning (Matsson, 2014). Gryaab har som mål att havet inte skall påverkas negativt av vattnet som släpps ut i älven. Förutom att rena avloppsvatten tar Ryaverket hand om slammet som bildas vid reningsprocessen. Slammet kan i sin tur användas för att producera biogas med mera. Förutom Ryaverket äger Gryaab anläggningen Syrhåla, som också ligger på Hisingen (Gryaab, u.å.c). I Syrhåla finns möjlighet att lagra avvattnat slam i bergrum.

2.5.1 Reningsprocess

När avloppsvattnet anlant till Ryaverket genomgår det dryg tio steg (Gryaab, u.å.d). En överblick av reningsprocessen kan ses i Figur 1. Det finns tre olika sorters reningssteg för vattnet; mekanisk rening, kemisk rening och biologisk rening. De olika sorterna består av flera delar som beskrivs nedan. Efter reningsprocessen behandlas slammet för att bli biogas och avvattnat rötslam.



Figur 1. Processchema Ryaverket från 2010 med tillägg (Mattsson, A. u.å.).

1. Flöde som genomgått de första stegen av mekanisk rening.
2. Försedimentering
3. Kemisk fällning
4. Aktivslambassänger med biologisk rening, anox zon
5. Aktivslambassänger med biologisk rening, aerob zon
6. Eftersedimentering
7. Biobäddar
8. Efterdenitrifikation
9. Skivfilter
10. Försedimentering med direktfällning

2.5.1.1 Mekanisk rening, del 1

Stora föroreningar som följer med avloppsvattnet, såsom skräp i form av pappershanddukar och annat som felaktigt slängts i toaletten, sorteras bort i första steget, (Gryaab, u.å.d). Ett grovgaller med 20 mm mellan gallerstavarna fångar upp de större föroreningarna så att de avskiljs från avloppsvattnet.

Därefter finns ett sandfång där sand och grus sjunker ned till botten för att sedan avskiljas från flödet (Gryaab, u.å.d). Efter att ha tvättats kan sanden och gruset användas vid till exempel vägbyggen. Nästa steg i reningsprocessen är fingaller. Dessa har mindre öppningar än grovgallret, endast 2 mm, vilket gör att mindre skräp fastnar där. Renset kan bestå av till exempel snus och bomullspinnar och kommer efter tvättning att brännas för att generera el och fjärrvärme.

Efter fingallret går flödet in i den första sedimenteringsbassängen, försedimenteringen (Gryaab, u.å.d). Där rinner vattnet så pass långsamt att många av de partiklar som är tyngre än vatten sjunker till botten. Slammet som bildas på botten kallas primärslam. Detta kommer att innehålla en del av det vattenverksslam som kommer från vattenreningsverken.

2.5.1.2 Kemisk rening

För att förhindra bland annat övergödning i havet behöver ämnen som kväve och fosfor tas bort från avloppsvattnet (Gryaab, u.å.d). Fosfor finns i negativt laddade joner, och genom att tillsätta positivt laddade joner såsom järn eller aluminium fälls fosfor ut. Vid den kontinuerliga processen på Ryaverket tillsätts järnsulfat för att på så sätt fälla ut järnfosfat och bli av med fosfor från avloppsvattnet.

2.5.1.3 Direktfällning

Vid höga flöden, till exempel vid snösmältning eller kraftig nederbörd, klarar inte den ordinarie reningsprocessen av att ta hand om allt vatten (Gryaab, u.å.d). För att ändå få bort tillräckligt mycket

fosfor tillämpas en direktfällning. Detta innebär att polyaluminiumklorid tillsätts vattnet i försedimenteringsbassängen för att binda fosfat. På de bildade flockarna binds även organiskt bundet fosfor samt nitrat. Vid dessa höga flöden finns det alltså extra aluminium i flödena på Ryaverket som sedan fastnar i slammet.

2.5.1.4 Biologisk rening

Efter den kemiska reningen går vattnet in i aktivslambassänger där den biologiska reningen sker (Gryaab, u.å.d). Slammet som följer med vattnet innehåller bakterier som kan bryta ner organiskt material. Vid den första delen av bassängerna, kallad anoxzonen, finns det inget syre vilket gör att bakterierna använder nitraterna i vattnet till nedbrytningen. Detta gör att nitraterna omvandlas till kvävgas och kan släppas ut i luften. I nästa del av bassängerna, den aeroba zonen, har det mesta av kvävet försvunnit och istället används syre från luften till resten av nedbrytningen.

2.5.1.5 Mekanisk rening, del 2

Slammet som är kvar efter alla reningsprocesserna separeras bort från vattnet i eftersedimenteringsbassänger (Gryaab, u.å.d). Dessa är dubbelbottnade för att öka kapaciteten och sedimenteringshastigheten. Vattnet rinner förbi bassängen så långsamt att slammet hinner sjunka ner till botten. Det pumpas sedan ut och förs antingen tillbaka till aktivslambassängerna som returslam eller vidare till slamhanteringen tillsammans med slam från försedimenteringen.

Vattnet skickas vidare antingen direkt till det sista reningssteget: skivfilter, eller genom ytterligare ett par biologiska reningssteg: biobäddar och efterdenitrifikation (Gryaab, u.å.d). Skivfiltren silar bort små partiklar, som bland annat kan innehålla fosfor, och sedan släpps vattnet ut i Göta Älvs mynning ut till havet.

2.5.1.6 Slamhantering

Primärslam från försedimenteringen och överskottsslam från eftersedimenteringen går vidare till en bandgravitationsförtjockare för att ta bort en del av vattnet från slammet (Gryaab, u.å.d). Slammet innehåller här 95 % vatten. För att få ut biogas av slammet förs det in i rötkastrar där bakterier bryter ner slammet och bildar biogas. Rötningen pågår i cirka 20 dagar och sedan pumpas slammet vidare för att genomgå avvattning. För att slammet ska kunna användas behöver det avvattnas och eventuellt hygieniseras. Avvattningen sker genom att slammet centrifugeras tills det innehåller 68-75 % vatten.

Användningsområdena för det avvattnade slammet är till exempel utfyllningsjord vid anläggning av bland annat vägar och gödningsmedel på åkermark (Gryaab, u.å.d). För användning till det sistnämnda måste slammet vara hygieniserat genom långtidslagring.

3 Metod

Projektet har bestått av en litteraturstudie om hur avloppsvattenreningen på Ryaverket samt dricksvattenproduktion på vattenverken fungerar. I rapporten "Evaluating Reuse of Sludge from Water Treatment for Wastewater Treatment" (2014) av Andrew Graham-Jones har liknade laborationer genomförts, vilket har gjort att mycket har hämtats därifrån. Information har också inhämtats direkt från personer som arbetar på Gryaab, Lackarebäck och Alelyckan samt från diverse internetbaserade och tryckta publikationer inom ämnet.

Laborationerna i projektet har innefattat en analys av vattenverksslam där aluminiumhalt, total organic carbon, TOC, samt mängd torrsubstans, TS, mätts. Aktivslam har analyserats för att få fram dess aluminiumhalt samt andel suspenderat material (suspended solids, SS). Två andra experiment har utförts för att se hur vattenverksslammet påverkar det aktiva slammet på Ryaverket; sedimentationsförsök för att mäta sedimentationshastighet samt CST (capillary suction time)-försök för att mäta avvattningsförmåga. Dessutom har prov hämtats i 13 olika strömmar på Ryaverket för att analysera dessa med avseende på aluminiumhalt, TS och SS.

De inhämtade prov som varit svårfiltrerade på grund av bland annat sitt stora partikelinnehåll har TS mätts på. Proven som gått att filtrera har analyserats med avseende på SS. Skillnaden på TS och SS är att vid SS filtreras salter som finns lösta i proven bort. I de partikelrika proverna blir saltmängden försumbar i förhållande till andra partiklar.

Med hjälp av mätvärden som fås av Gryaab, vattenverken, samt egna mätvärden, har två massbalanser beräknats på aluminiumet i de olika delströmmarna till och inne på Ryaverket. Resultatet har gett en bild hur det inkommande aluminiumet rör sig och tar vägen igenom Ryaverket samt i vilken fraktion, slam eller vatten, det finns i. Mängden aluminium i röt-kammaren togs fram för att i sin tur ge en bild av hur mycket plats vattenverksslammet tar upp i röt-kammaren.

För laborationerna har en riskanalys gjorts med avseende på hantering av kemikalier och slam, se *Bilaga F*.

3.1 Insamling av data

De data som använts i detta arbete har insamlats genom flertalet olika tillvägagångssätt. Genom samarbete med Ryaverket och vattenverken i stadens närhet har möjlighet getts att ta del av deras egna mätningar. Som komplettering till detta har även en rad egna tester och mätningar gjorts.

3.1.1 Vattenverkens mätdata

Både Lackarebäck och Alelyckan, som är de två vattenverk som detta projekt omfattas av, gör mätningar på avloppsvattnet och förbrukade mängder kemikalier de släpper ut. De data som de kontinuerligt mäter och som de bidragit med omfattar de viktiga aspekterna i detta arbete och därför har inga ytterligare mätningar krävts. De data som fås från vattenverken är medelvärden för åren 2011 - 2013.

3.1.2 Ryaverkets mätdata

Gryaab gör själva kontinuerligt omfattande mätningar och analyser i de olika delarna av anläggningen, och dessa mätvärden har de delat med sig av. Aluminiumhalt mäts dock inte regelbundet, då detta inte är ansett som ett farligt ämne som behövs kontrolleras noggrant. Gryaab har därför bidragit med att göra extra mätningar utöver deras vanliga, där aluminiumhalt i

inkommande och utgående vatten till anläggningen har mätts. Dessutom har siffror på aluminiumhalt i rötslam efter avvattning sammanställts. Mätningarna i inkommande och utgående slam har utförts: 2015-02-16 till 2015-04-06 och aluminiumhalten efter röt-kammaren är ett medelvärde per år på mätningar som gjorts från 2011-2014.

3.2 Analys av vattenverksslam

Analyser av vattenverksslam har gjorts för att se om det finns andra faktorer i slammet, förutom aluminium, som kan påverka reningsprocessen på Ryaverket.

Vattenverksslam hämtades på Lackarebäcks vattenverk 2015-04-01. Två dunkar slam fylldes med 10 liter slam från två olika sedimentationstankar (prov 1 och 2). Proven placerades i kylskåp i väntan på analys. Från dessa gjordes sedan tre prov per dunk i ordning för att kunna användas till att undersöka innehållet i slammet. Inget prov hämtades från Alelyckan då slammet där måste hämtas nere på botten av en sedimentationsbassäng vilket gör det svårt att komma åt. Vid Lackarebäck tappas slammet direkt ur en kran. Utförlig metod och resultat av analyserna finns i *Bilaga B*.

3.2.1 Torrsubstans (TS) och dess innehåll

De sex proven med vattenverksslam fick torka i ugn vid 105°C några dagar, därefter vägdes proven och mängd torrsubstans, TS, räknades ut i g/l slam. För att undersöka andelen organiskt respektive oorganiskt material i TS brändes den organiska delen bort i ugn vid 550°C.

3.2.2 Aluminiumhalt

För mätning av aluminiumhalt användes ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry) som är en analysmetod som undersöker olika joner i ett prov (Harris, D. 2011). Masspektrometri innebär att ett prov med många olika ämnen i undersöks med avseende på hur stor massa varje jon har. Ett masspektrum fås då ut där antal joner av varje massa kan utläsas. På detta vis kan det utläsas hur mycket aluminium som finns i proven. Aluminiumhalt fås ut i enheten µg/l.

Proven förbereddes innan analysen genom att uppsluta dem i salpetersyra i mikrovågsugnen CEM MARS 5, för att provet ska bli så pass varmt att bindningar bryts och slammet löses upp. På så sätt frigörs aluminium och det går sedan att mäta halten.

3.2.3 Total Organic Carbon (TOC)

För att se hur mycket av torrsubstansen som är kol i organiska bindningar gjordes en TOC-analys. Ett nytt prov gjordes i ordning från dunk 1. Provet torkades, mortlades och blandades ut i vatten innan analys i total organic analyzer. Resultat fås ut i mg kol per liter prov. Exakt metod finns i *Bilaga B*.

3.3 Analys av aktivslam

Aktivslam hämtades på Ryaverket ute på Hisingen, 2015-04-08. Slammet placerades i ett kylskåp för att användas vid senare laborationer. Aktivslammet analyserades med avseende på suspended solids, SS, och aluminiumhalt. Utförlig metod och resultat av analyserna finns i *Bilaga C*.

3.3.1 Suspended solids (SS) och dess innehåll

Suspended solids, SS, alltså andelen fasta partiklar i slammet, mättes. För att mäta SS filtrerades slammet genom vakuumfiltrering. Filtren lades i ugn vid 105°C och vägdes sedan. Andel organiskt respektive oorganiskt mättes på samma sätt som för vattenverksslam.

3.3.2 Aluminiumhalt

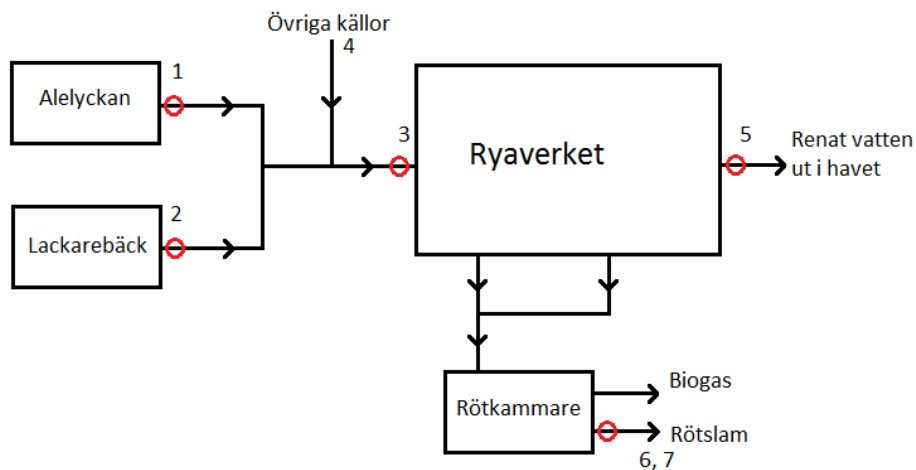
Aluminiumhalt i aktivslammet mättes tillsammans med vattenverksslamprov och förbereds på samma sätt, se stycke 3.2.2 samt *Bilaga C*.

3.4 Massbalans av aluminium

Två massbalanser har gjorts; teoretisk samt experimentell. Teoretisk massbalans har beräknats med mätvärden som tillhandahållits genom personlig kontakt med vattenverken Alelyckan och Lackarebäck samt Gryaab. Den experimentella massbalansen har beräknats med mätvärden som inhämtats på Ryaverket.

3.4.1 Teoretisk massbalans

En beräkning av aluminiums väg till och genom Ryaverket samt av hur mycket av det som hamnar i röttkammaren gjordes genom en teoretisk massbalans. Den är grundad på insamlade värden från vattenverken och Ryaverket. I Figur 2 visas bland annat vilka punkter det finns insamlad data om.

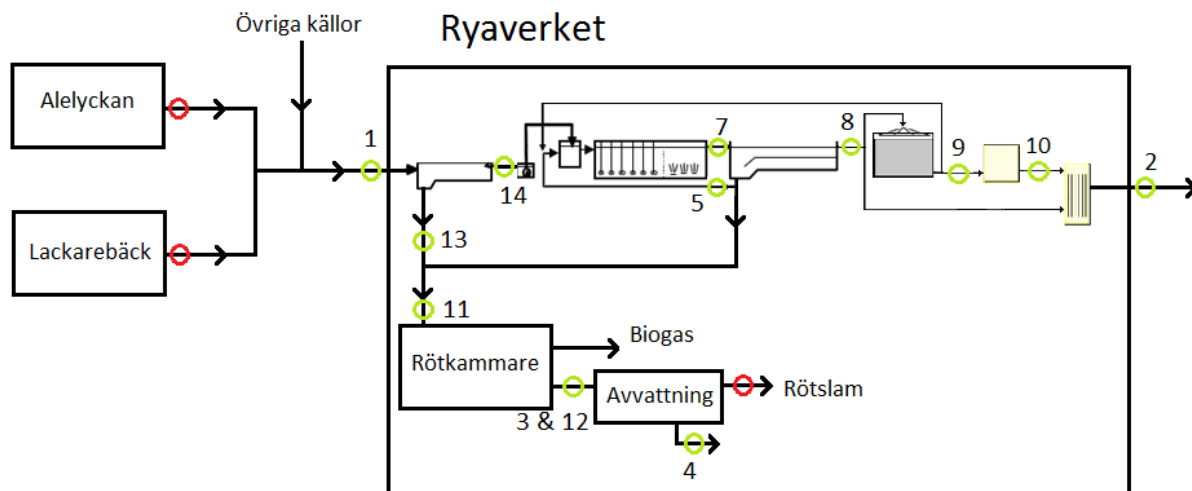


Figur 2. Blockdiagram över aluminiums väg. Mätpunkter med insamlad data från Ryaverket samt vattenverken markerade med röda cirklar.

Beräkningen gjordes genom att anta att allt som går in till Ryaverket kommer ut i utflödet, det vill säga att inget ackumuleras i processen. En förväntad mängd aluminium i det avvattnade röttslammet räknades ut och jämfördes sedan med de snittvärden per år som fåtts av Gryaab.

3.4.2 Experimentell massbalans

För att komplettera de mätningar av aluminiumhalt som tillhandahållits av Gryaab togs egna prover på utvalda punkter längs med reningsprocessen. Figur 3 visar var proven togs. Samtliga prov togs 2015-04-29. Förutom utmärkta punkter togs även prov in till skivfilter, men då dessa var avstängda dagen då proven togs kasserades detta prov. Proverna togs under en period så ingen direktfällning var tillsatt (se avsnitt 2.5.1.3). Proven samlades i 1000 ml plastflaskor som togs med till Chalmers för analys. För att kunna räkna ut aluminiumhalter i de olika delströmmarna behövdes aktuella volymsflödet i strömmarna. Volymsflödena mäts kontinuerligt av Gryaab och erhöles genom kontakt med dem. Andel vattenverksslam i röttkammarna räknas ut med hjälp av dessa siffror, se stycke 4.3.4.



Figur 3. Mättningsplan för experimentell massbalans. Gröna ringar innebär punkter där eget prov tagits och röda ringar är insamlad data.

1. Inkommande
2. Utgående
3. Ut från rötkammare 1
4. Rejekt, centrifugvatten från avvattningen
5. Returslam
7. Utgående aktivslam
8. Vatten ut från eftersedimentering
9. In till efterdenitrifikation
10. Ut från efterdenitrifikation
11. In till rötkammare
12. Ut från rötkammare 2
13. Primärslam

3.4.2.1 *Suspended solids (SS)/ torrsustans (TS)*

De prov som gick att filtrera genom ett filterpapper filtrerades med olika mängd prov. Provmängden varierade mellan de olika proverna, då den behövde anpassas efter mängden partiklar som provet innehöll. Proven filtrerades med en så stor mängd som möjligt då utfallet blir mer korrekt ju mer partiklar som är på filterpapperet. För att få fram SS torkades filterpappren i ugn vid 105°C och vägdes därefter.

På de fyra prov som på grund av sin konsistens inte gick att filtrera (punkt 3, 11, 12 & 13) mättes istället TS. Proven fick torka i ugn i deglar vid 105°C några dagar, därefter vägdes proven och mängd torrsustans, TS, räknades ut i g/l.

3.4.2.2 *Aluminiumhalt*

Två 50 ml provvialer per prov fylldes, det ena för att analyseras med avseende på aluminiumhalt i vattenfas och det andra med avseende på hela provets aluminiumhalt. Vattenfas-proven centrifugerades och filtrerades innan spädning och de andra proven uppslötts i syra i mikro vid hög temperatur och tryck. Exakt metod finns beskriven i *Bilaga D*.

Samtliga prov späddes i olika koncentrationer till 10 ml för att sedan analyseras i ICP-MS på samma sätt som vattenverksslam och aktivslam, se stycke 3.2.2.

3.5 Sedimentationsförsök

För att se hur vattenverksslammet påverkar sedimenteringshastigheten för aktivslammet på Ryaverket gjordes tester på detta 2015-04-08. Försöken utfördes på plats på Ryaverket för att aktivslammet skulle hålla sig färskt. Dels testades hur sedimenteringshastigheten påverkades vid tillsats av vattenverksslam och dels med tillsats av motsvarande mängd aluminiumsulfatlösning. Detta gjordes för att se om det är aluminium som påverkar sedimenteringshastigheten mest eller om det beror på de andra komponenterna som finns i vattenverksslammet.

Då aluminiuminnehållet i vattenverksslam inte hade analyserats vid denna tidpunkt användes istället de värden som Graham-Jones (2014) fått fram i sin rapport vilket var 0,2197 mg Al/g vattenverksslam. Dessa värden användes för att kunna blanda en aluminiumsulfatlösning med motsvarande mängd aluminiumkoncentration som vattenverksslammet. I efterhand jämfördes aluminiumhalten med halten i de egenanalyserade proven för att se om de överensstämde. I samma rapport gjordes liknande sedimentationsförsök, vilka visade tydlig påverkan då stora mängder vattenverksslam tillsattes. Därför valdes det att istället tillsätta mindre mängder, vilket i större utsträckning speglar verkliga variationer av aluminiumkoncentrationen i det aktiva slammet, för att se om det även då skulle visa någon påverkan. Tidigare försök (Graham-Jones, 2014) gjordes med 10-50 ml/l aktivslam. Nu tillsattes 10-40 ml till 3,18 l aktivslam (vilket var sedimentationstankarnas volym) vilket gav 3,14–12,58 ml/l aktivslam.

Försöken utfördes i sedimentationscylindrar (cirka 3 l, Triton) där höjden på det komprimerade slammet mäts dels med en minuts mellanrum och sedan efter 30 min sedimentering. Vattenverksslam från dunk 1 som hämtades på Lackarebäck togs med till Ryaverket och aluminiumsulfatlösning förbereddes innan på Chalmers. Aktivslam hämtades på Ryaverket och sedimentationsförsöken utfördes i lab på plats. Utförlig metod finns i *Bilaga E*.

För att se hur sedimentationen påverkas av de tillsatta mängderna vattenverksslam och aluminiumsulfatlösning beräknades slamvolymindex (Sludge Volume Index, SVI) (Graham-Jones, 2014). SVI beräknades med avseende på den volym som slammet upptog efter 30 minuter. Indexet mäter volymen slammet upptar i förhållande till hur mycket partiklar slammet innehåller, dvs. ett mått på hur komprimerat slammet är, se ekvation 1.

$$SVI = \frac{\text{settled sludge volume} \left(\frac{ml}{l}\right) * 1000}{\text{Suspended solids} \left(\frac{mg}{l}\right)} \quad (1)$$

3.6 Capillary Suction Time (CST)

Samma dag som sedimentationsförsöken utfördes på Ryaverket (2015-04-08) gjordes CST-tester för att undersöka hur avvattningsförmågan hos aktivslammet förändrades av olika tillsats av vattenverksslam och aluminium. Capillary suction time, CST, är en vanlig metod för att mäta avvattnings samt filtrerbarhet av slam (Sawalha & Scholz, 2007). Metoden är enkel och innebär att en liten cylinder med prov placeras på ett specifikt filterpapper (Triton). Till detta kopplas en apparat (Triton) som mäter tiden det tar för vattnet att transporteras mellan två olika punkter på filtret. I

cylindern hålls några ml slam och på så vis får man ut hur snabbt vattnet rinner ut ur slammet. En nackdel med metoden är att då prov med högt vatteninnehåll analyseras blir det korta tider och därmed blir noggrannheten mindre och avvikelserna större.

Först gjordes tre tester med endast vatten för att ha ett jämförelsevärde och testa CST-apparaten. Efter varje sedimentationstest hölls en del av proven över i en bägare. Därifrån gjordes sedan tre tester per prov.

4 Resultat

Resultatet på den teoretiska samt den experimentella massbalansen visar hur aluminiumet rör sig genom reningsprocessen samt hur stor del av det som hamnar i rötkammaren. Resultat från sedimentationsförsök och CST-försök har ritats upp i grafer. Samtliga resultat från laborationer och mätdata som inhämtats finns i bilagor.

4.1 Analys av vattenverksslam

Ett medelvärde för de tre mätningarna som gjordes för varje prov vattenverksslam i samtliga analyser har räknats ut. Resultaten med avseende på TS, andel organiskt/oorganiskt av TS samt aluminiumhalter visas i Tabell 1. De tre mätningar som gjorts för varje prov skiljer sig inte åt avsevärt. Resultatet från analyserna av aluminiumhalt av TS blev 26,5 % respektive 29,7 % för de olika proven av vattenverksslam från Lackarebäck. Enligt värden som fåtts från Lackarebäck är snitthalten aluminium av TS 21,5 % över ett år (se Tabell 4).

Tabell 1. Resultat av analys av vattenverksslam. Samtliga värden är medelvärden från de tre olika försök som gjorts med varje prov.

Vattenverksslamprov	TS [g/l]	Oorganiskt [g/l]	Oorganiskt av TS, %	Organiskt av TS, %	Al halt [mg/l]	Al av TS [g/g]	Al av oorganiskt, %
Prov 1 _{medel}	4,861	2,488	51,2	48,8	1 289,12	0,265	51,8
Prov 2 _{medel}	5,436	3,108	57,6	42,4	1 613,10	0,297	51,9

Total organic carbon, TOC, visar hur stor mängd organiskt bundet kol som finns in provet. Då proven var utspädda i vatten räknades halten om till TOC per gram TS och per liter vattenverksslam. Se Tabell 2.

Tabell 2. Resultat från TOC-analys, där TOC=TC-IC. Mängd TS i proven var 0,05 g per 200 ml vatten. Laborationen utfördes 2015-04-20.

Analyt	TC [mg/l]	IC [mg/l]	TOC [mg/l]	TOC av TS [mg/g]	TOC av TS %	TOC i slam [mg/l]
Vv-slam 1	9,318	0,6119	8,7061	34,8244	3,4824	169,28
Vv-slam 2	10,32	0,6119	9,7081	38,8324	3,8832	211,09
Vatten	0,543	0,3545	0,1885			
Vatten	1,043	0,3207	0,7223			

Medelvärdet av TOC i vattenverksslammet blev 190,19 mg/l. På Ryaverket var halten TOC 70,6 mg/l i det inkommande vattnet 2013 och 61,0 mg/l 2014 (Mattsson, J. 2014) (Mattsson, J. 2015). Halten är alltså mycket högre i vattenverksslammet än i totalflödet in till Ryaverket.

4.2 Analys av aktivslam

Samtliga resultat för analysen av innehållet i aktivslam visas i Tabell 3. Ett medelvärde för samtliga prov som tagits i de olika analyserna har räknats fram. Värdet för SS är ett medelvärde på två prov som tagits där de två provresultaten inte skiljde mycket åt. Resultatet från ICP:n som mäter

aluminiumhalt är ett medelvärde gjort på sex stycken prov där skillnaden på det högsta respektive lägsta aluminiumhalten var 16 mg/l.

Tabell 3. Resultat av analys av aktivslam från Ryaverket. Samtliga värden är medelvärden från 6 olika försök.

Aktivslam	SS [g/l]	Oorganiskt [g/l]	Oorganiskt av SS, %	Organiskt av SS, %	Al halt [mg/l]	Al av SS, %	Al av oorganiskt, %
Medelvärde	2,250	1,570	69,8	30,2	52,217	2,3	3,3

4.3 Massbalans av aluminium

Resultaten visar data som inhämtats och som sedan har använts till att utföra en massbalans. Två massbalanser har gjorts där den teoretiska massbalansen är med data som fått av Gryaab samt vattenverken. Den andra är gjord på värden som tagits fram genom analyser av prover som inhämtats på Ryaverket.

4.3.1 Vattenverkens mätdata

Från vattenverken har data om aluminiummängd samlats in. Data från både Lackarebäck och Alelyckan har sammanställts i Tabell 4. En sammanställning av samtliga insamlade mätdata finns i *Bilaga A*.

Tabell 4. Värden på totala mängder vattenverksslam, Vv-slam, samt aluminiumhalter från Lackarebäck och Alelyckan till Ryaverket. Al-halter är enbart beräknad på förbrukad mängd fällningskemikalie. Mätvärden är tagna för år 2013 (I. Kjellberg, personlig kommunikation, 4 mars 2015)

	Mängd Al [ton/år]	Mängd TS [ton/år]	Halt Al av TS %	Halt TS i slam %	Mängd Vv-slam [ton/år]
Lackarebäck	106,0	492,0	21,5	0,30	164000
Alelyckan	127,0	763,0	16,6	1,47	51905
Totalt	233,0	1 255,0	18,6	0,58	215905

Alelyckan skickar som sagt inte allt sitt förbrukade aluminium till Ryaverket utan en del släpps även ut i Göta Älv. Denna mängd redovisas i Tabell 5 och har senare tagits hänsyn till i den teoretiska massbalansen.

Tabell 5. Mängder aluminium som släpptes ut till Göta älv 2013 från Alelyckans vattenverk (Lundgren, 2014, s. 2).

Mängder utsläpp räknat år 2013	Aluminium till Göta Älv [ton/år]
Från sedimenteringsbassänger	0,2
Från filterspolningar	9,5
Totala mängder från Alelyckans vattenverk	9,7

4.3.2 Ryaverkets mätdata

Tabell 6 innehåller resultatet av de mätningar Gryaab gjorde extra på aluminiumhalt i februari till april 2015. Mätningarna skedde på inkommande och utgående ström till och från Ryaverket. Utgående ström syftar på det renade vattnet som Ryaverket släpper ut i Göta älv, och då inte

inräknat de rester som tas ut från röt kamrarna. Ett medelvärde av massflödet i strömmarna har räknats ut och visas nederst i tabellen. De ursprungliga tabellerna från Gryaab finns i *Bilaga A*.

Tabell 6. Mätvärden tagna av Ryaverket på flöden samt massflöde Al (D. l'Ons, personlig kommunikation, 13 april 2015).

	Provtagningsperiod (samlingsprov)		Halt Al	Medelflöde under perioden	Massflöde Al			
	start	stopp	mg/l	Q (m ³ /s)	g/s	kg/h	kg/d	ton/år
Utgående	2015-02-16	2015-02-23	0,03	5,04	0,15	0,54	13,1	4,8
Utgående	2015-02-23	2015-03-02	0,04	5,56	0,22	0,80	19,2	7,0
Inkommande	2015-02-26	2015-03-02	2,7	4,87	13,14	47,31	1 135,5	414,5
Inkommande	2015-03-02	2015-03-05	3,7	5,51	20,40	73,45	1 762,8	643,4
Utgående	2015-03-02	2015-03-09	0,04	4,74	0,19	0,68	16,4	6,0
Inkommande	2015-03-05	2015-03-09	3,0	4,16	12,28	44,21	1 061,1	387,3
Inkommande	2015-03-09	2015-03-12	4,4	4,08	17,75	63,90	1 533,7	559,8
Inkommande	2015-03-12	2015-03-16	3,1	3,29	10,21	36,77	882,4	322,1
Inkommande	2015-03-16	2015-03-19	4,4	3,34	14,69	52,87	1 268,8	463,1
Utgående	2015-03-16	2015-03-23	0,03	3,49	0,10	0,38	9,1	3,3
Inkommande	2015-03-19	2015-03-23	3,3	3,61	12,09	43,51	1 044,2	381,1
Utgående	2015-03-30	2015-04-06	0,035	4,59	0,16	0,58	13,9	5,1
Inkommande	2015-04-02	2015-04-06	3,6	3,62	13,04	46,93	1 126,3	411,1
Utgående	2015-02-16	2015-02-23	0,03	5,04	0,15	0,54	13,1	4,8
					g/s	kg/h	kg/d	ton/år
medel Inkommande					14,2	51,1	1 226,9	447,8
medel utgående					0,17	0,60	14,32	5,23

Tabell 7 innehåller värden för utgående avvattnat slam från röt kamrarna som mätts årligen av Gryaab. Ett medelvärde på massflödet aluminium i ton per år har räknats ut för att kunna jämföras med värden som fås ut i massbalansen.

Tabell 7. Mängd torrs substans, aluminiumhalt och massflöde Al i Ryaverkets avvattnade slam de senaste fyra åren. (D. l'Ons, personlig kommunikation, 24 april 2015)

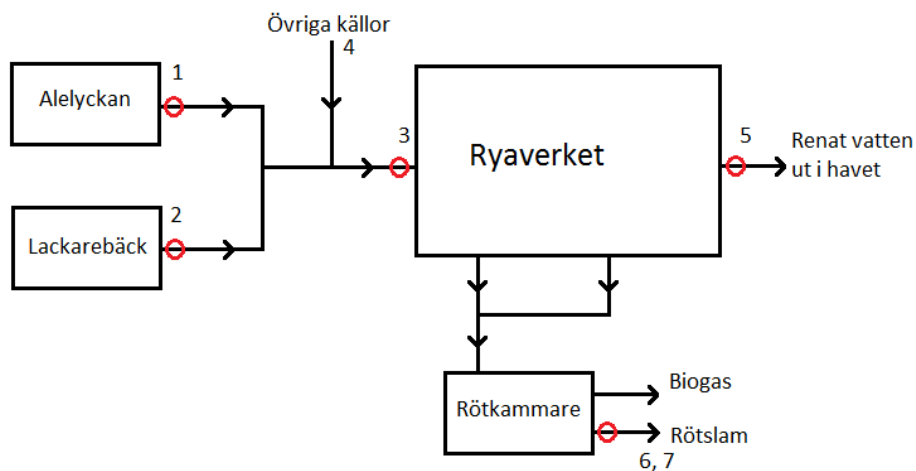
År	TS [ton]	Al [%] av TS	Massflöde Al [ton/år]
2014	14526	4,1	595,6
2013	13689	3,9	533,9
2012	15933	4,2	669,2
2011	14170	4,5	637,7
Medelvärde:			609,1

4.3.3 Teoretisk massbalans

Massbalansen räknades ut från halter, flöden och mängder som samlats in från vattenverken och Ryaverket. Resultatet av beräkningarna finns i Tabell 8. Förklaring av mätpunkterna finns i stycke 3.4.1. I *Bilaga D* finns en tabell med samtliga värden för balansen.

Tabell 8. Flöden av aluminium per år, teoretisk massbalans. Förklarande bild finns i Figur 4.

	Al ton/år
1. Utgående från Alelyckan till Rya	117,3
2. Utgående från Lackarebäck	106
3. Inkommande till Ryaverket	447,8
4. Övriga källor inkommande (uträknat)	224,5
5. Utgående vatten från Ryaverket	5,23
6. Utgående rötslam (uträknat)	442,6
7. Utgående rötslam (medel tidigare år)	609,1



Figur 4. Blockdiagram för teoretisk massbalans. Punkter med insamlad data från Ryaverket samt vattenverken markerade med röda cirklar.

Punkt 1 och 2 kommer från vattenverken och gäller för år 2013. Bortdraget från Alelyckans utsläpp är den mängd de släpper direkt ut i Göta älv, 9,7 ton/år. Punkt 3 och 5 har mätts av Gryaab under perioden februari till april 2015 och punkt 7 är medelvärdet mellan åren 2011-2014. Punkt 4 och 6 har räknats ut med hjälp av balanser av de övriga värdena.

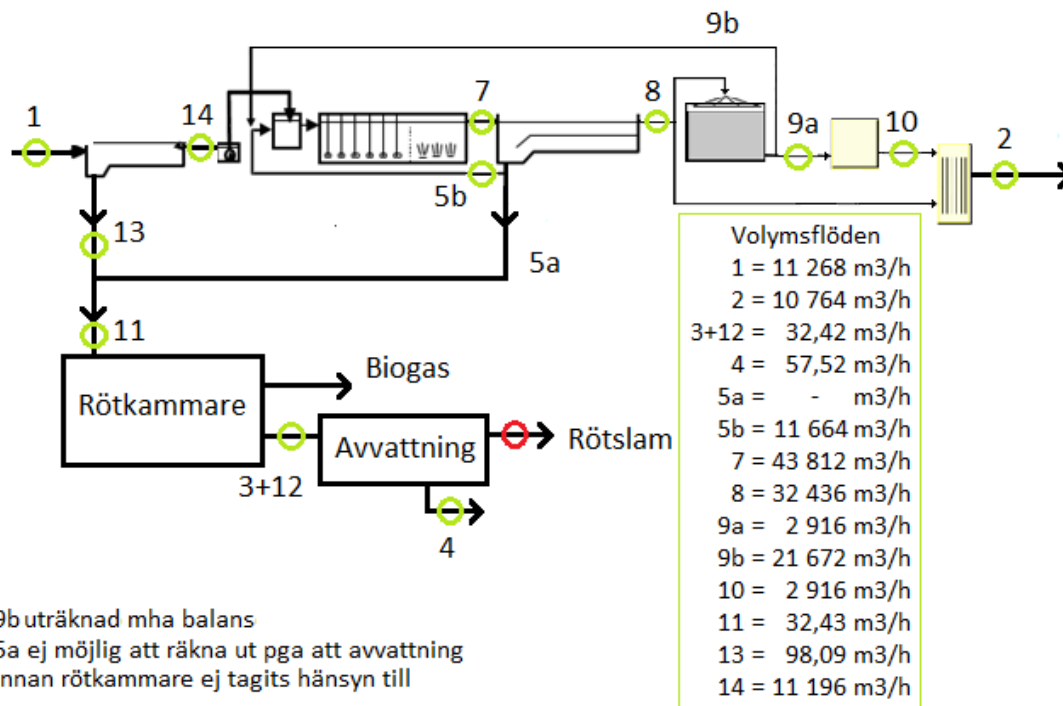
4.3.4 Experimentell massbalans

Den experimentella massbalansen har utvärderats med värden som fåtts genom analys av prover som inhämtats på Ryaverket i olika punkter i reningsprocessen. I Tabell 9 visas en sammanställning av samtliga resultat som gjorts på inhämtade prov från Ryaverket. Prov från punkt 2, 8, 9 och 10 hade för låg aluminiumhalt för att ett resultat från ICP:n skulle kunna fås fram.

Tabell 9. Resultat från inhämtade prov på Ryaverket.

	SS [g/l]	Al [mg/l]	Al [g/l]	Al av SS, %
1. Inkommande	0,136	12,117	0,012	8,9
2. Utgående	0,061	-	-	-
4. Rejekt, vatten från avvattningen	1	4,671	0,005	0,5
5. Returslam	9,130	170,521	0,171	1,9
7. Utgående aktivslam	3,230	36,356	0,036	1,1
8. Ut från eftersedimentering	0,056	-	-	-
9. In till ED	0,057	-	-	-
10. Ut från ED	0,065	-	-	-
14. Ut från försedimentering	0,188	0,369	0,0004	0,2
	TS [g/l]	Al [mg/l]	Al [g/l]	Al av TS, %
3. Ut från röt-kammare 1	34,304	1291,830	1,292	3,8
11. In till röt-kamrarna	61,172	1689,870	1,690	2,8
12. Ut från röt-kammare 2	31,850	1252,984	1,253	3,9
13. Primärslam	30,110	657,183	0,657	2,2

I Figur 5 visas de volymsflöden som var aktuella vid tidpunkten då proverna för den experimentella massbalansen inhämtades. Samtliga volymsflöden är givna av Gryaab, förutom vid 9b som räknats fram genom en volymbalans.



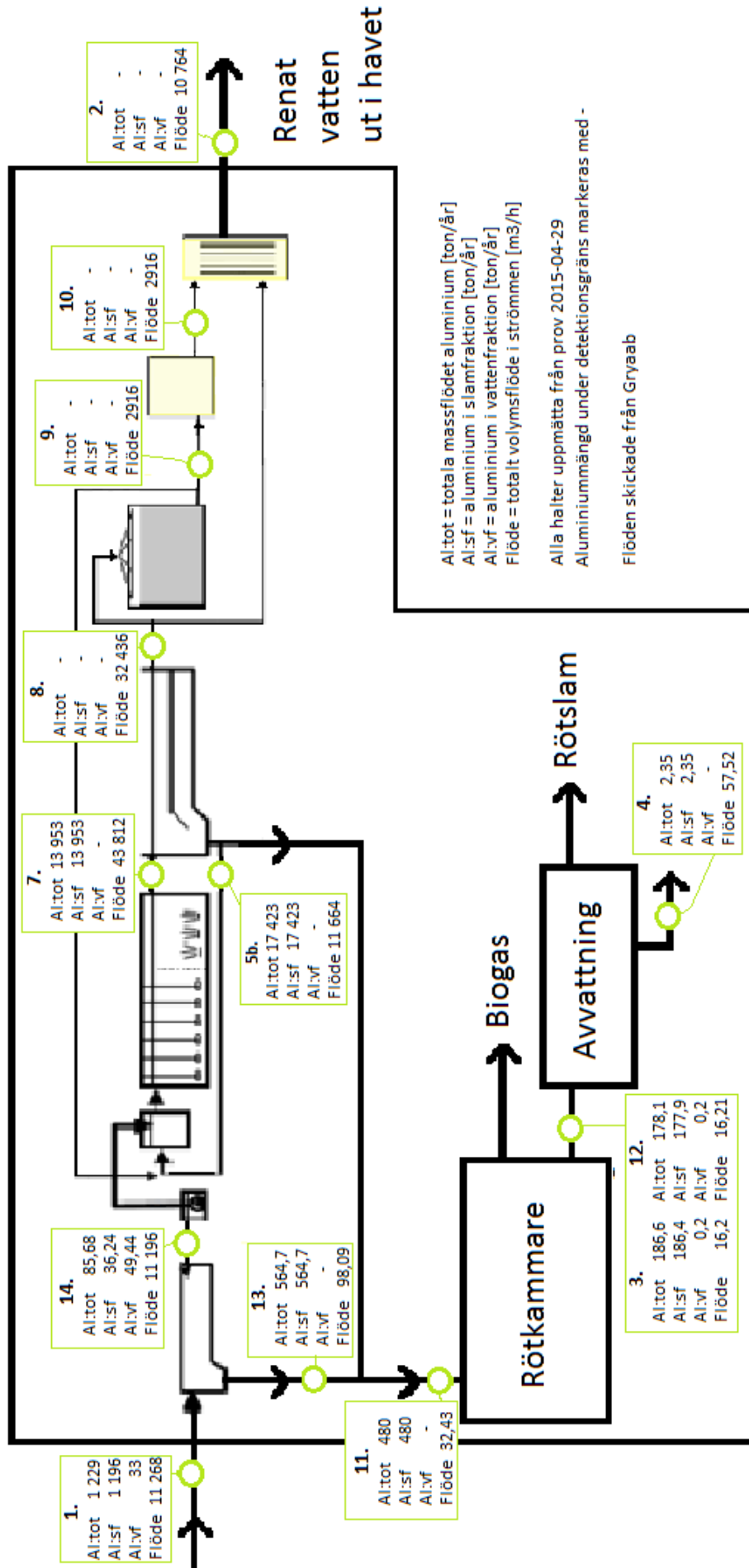
Figur 5. Aktuella volymsflöden vid provtagning för experimentell massbalans.

Genom mätning av aluminiumhalt och insamling av data på flöden har Tabell 10 tagits fram. Utgångsvärdena finns i *Bilaga D*. Resultatet visas även genom ett förklarande schema i Figur 6.

Tabell 10. Resultat av mätning av aluminium i Ryaverkets strömmar. Strömmarna med halt under detektionsgränsen har satts till 0. Resultaten togs emot 2015-04-12.

		Al-halt vattenfas [mg/l]	Al-halt totalt [mg/l]	Al-halt slamfas [mg/l]	Volym- flöde [m ³ /h]	Flöde Al vattenfas [ton/år]	Flöde Al slamfas [ton/år]	Totalt flöde Al [ton/år]	Andel SS eller TS	%Al i TS/SS
1	Inkommande	0,336	12,453	12,12	11268	33,172	1 196,07	1 229,24	0,136	8,91
2	Utgående	0	0	0	10764	0	0	0	0,0605	0
3	Ut från röt-kammare 1	1,395	1 293,2	1 291,8	16,21	0,198	183,44	183,64	34,304	3,77
4	Rejekt från avvattning	0	4,671	4,671	57,52	0	2,35	2,35	1	0,47
5	Returslam	0	170,52	170,52	11644	0	17 423,2	17 423,2	9,13	1,87
7	Aktivslam ut	0	36,36	36,36	43812	0	13 953,2	13 953,2	3,23	1,13
8	Ut eftersedimentering	0	0	0	32436	0	0	0	0,0565	0
9	In till efterdenitrifikation	0	0	0	2916	0	0	0	0,0575	0
10	Ut från efterdenitrifikation	0	0	0	2916	0	0	0	0,065	0
11	In till röt-kammare	0	1 689,9	1 689,9	32,43	0	480,07	480,07	61,172	2,76
12	Ut från röt-kammare 2	1,441	1 254,4	1 253,0	16,21	0,205	177,92	178,13	31,85	3,93
13	Primärslam	0	657,18	657,18	98,09	0	564,70	564,70	30,11	2,18
14	Efter försedimentering	0,504	0,874	0,369	11196	49,439	36,24	85,68	0,188	0,20

Ryaverket



Figur 5. Resultat av analys av aluminiumhalt samt volymflöden i Ryaverkets strömmar

4.3.4.1 Andel vattenverksslam i rötammare

Enligt egen analys av Ryaverkets strömmar kommer det 1 229 ton aluminium per år i inflödet vilket skiljer sig mycket från årsmedelvärdet som Gryaab uppgivit: 447,8 ton. En balans över försedimenteringen i Figur 6, visar också att värdet verkar högt då 1229 ton går in och 650,4 ton går ut. Även andra punkter i figuren stämmer dåligt överens med varandra. På grund av detta görs mycket förenklingar vid balansen för att komma fram till andel TS från vattenverksslam i rötammaren.

Antaganden som görs är följande:

- Allt aluminium i inflödet hamnar i rötammaren, vilket gör att aluminiumflödet i punkt 11 kan anses vara det totala aluminiumflödet.
- All ackumulation i processen försummas
- Kvoten av allt ingående aluminium som kommer in i processen antas vara densamma som räknats ut i den teoretiska massbalansen. Det vill säga att 52 % av det totala aluminiumflödet kommer från vattenverken.
- Sammansättningen på vattenverksslammet antas vara samma som analyserat vattenverksslam.

Tabell 11. Experimentell massbalans av aluminium till rötammaren enligt ovanstående antaganden. Inflödet till rötammaren är punkt 11 från mätningarna.

Flöde Al in i rötammare (punkt 11)	480,07	ton/år
Andel Al från vattenverken in till Ryaverket enligt teoretisk balans	52 %	
⇒ Al från vattenverksslam	249,79	ton/år
Halt Al i oorganiskt i vattenverksslam enligt analys	52 %	
⇒ Oorganiskt från vattenverken in i rötammare	481,75	ton/år
Halt oorganiskt av TS i vattenverksslam enligt analys	54 %	
⇒ TS från vattenverk in i rötammare	885,58	ton/år
Totalt flöde in i rötammare (punkt 11) vid aktuell tidpunkt enligt Gryaab	32,43	m ³ /h
	284 086,8	m ³ /år
	284086800	l/år
varav andel TS i ström 11 enligt analys	61,172	g/l
⇒ Mängd TS in i rötammare	17 378,2	ton/år
Andel TS från vattenverk av all TS i rötammaren	5,10 %	
Varav oorganiskt av all TS i rötammaren, d.v.s. ej rötbart	2,77 %	

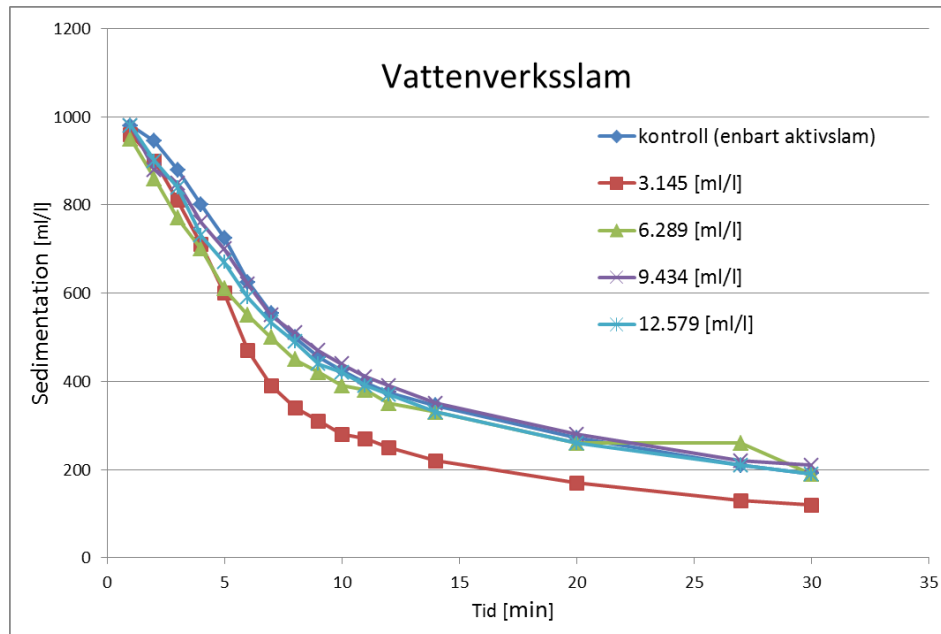
Enligt beräkning upptar vattenverksslammet 5,1 % av totala TS som finns i rötammaren. Studeras den oorganiska delen som är den del som inte går att röta bidrar vattenverksslammet med 2,77 % oorganiskt material av den totala TS i rötammaren.

4.4 Sedimentationsförsök

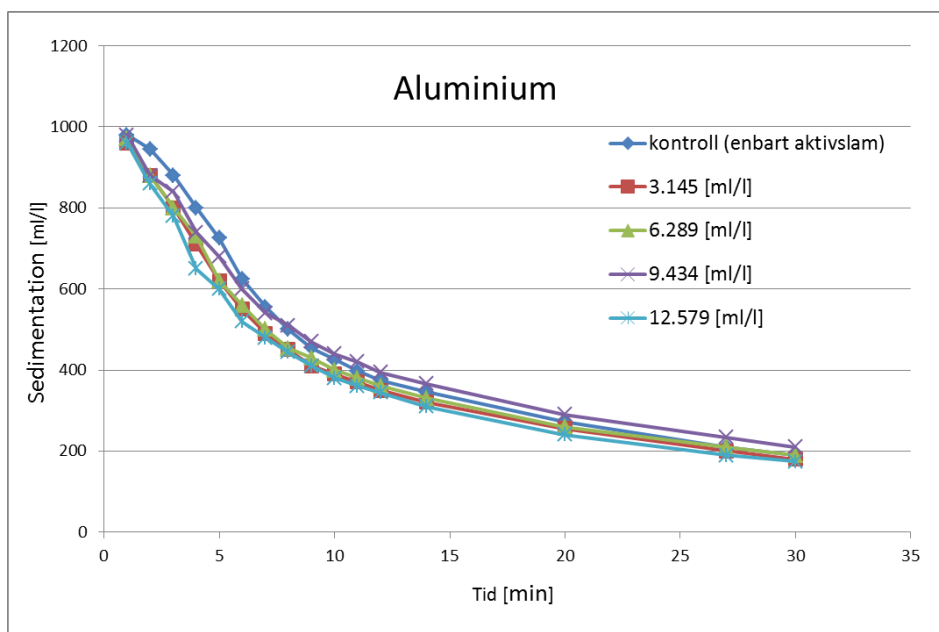
Resultatet från sedimentationsförsöken skiljde sig inte åt nämnvärt beroende på om det var vattenverksslam eller aluminium som tillsattes till aktivslammet. Värdena med tillsatt vattenverksslam eller aluminium ligger nära värdena från kontrollförsöket med bara aktivslam, och

gör så även om mängderna vattenverksslam och aluminium ändrats. Försöket där 3,145 ml vattenverksslam per liter aktivslam tillsattes skiljer sig dock från resterande försök.

Figur 7 och 8 visar hur komprimerat slammet i proven är efter valda tidpunkter. En sammanställning av samtliga mätvärden från laborationsförsöket finns under *Bilaga E*.

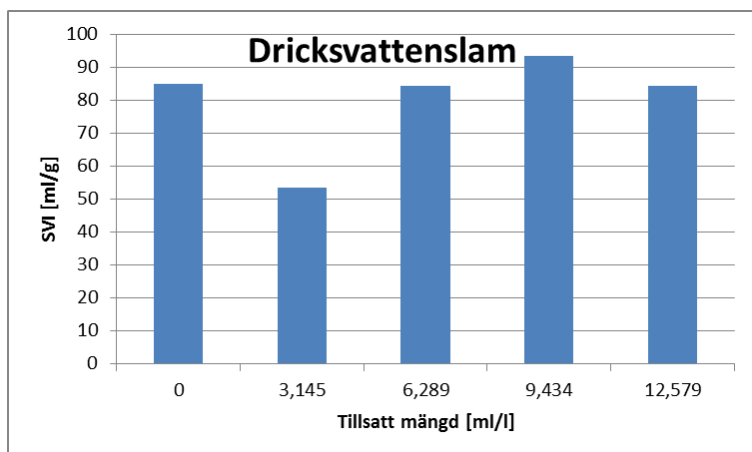


Figur 7. Sedimentationsförsök där vattenverksslam tillsatts till aktivslam. Laboration utförd 2015-04-08.

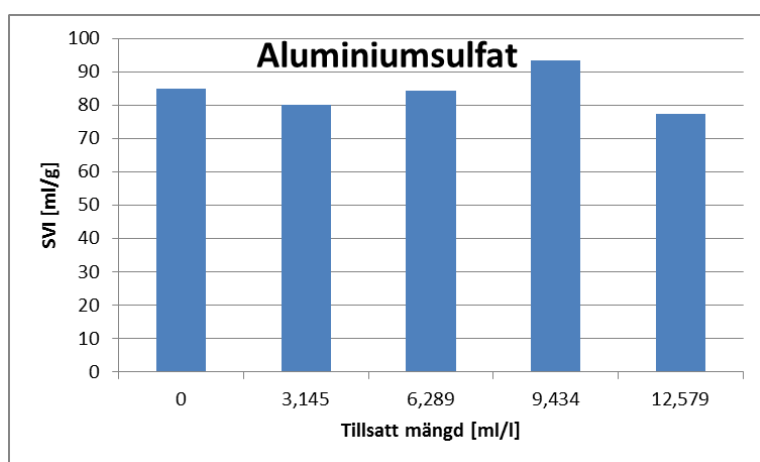


Figur 8. Sedimentationsförsök där aluminium tillsatts till aktivslam. Laboration utförd 2015-04-08

För att kunna jämföra resultatet med andra mätningar räknas Sludge Volume Index, SVI, ut enligt ekvation 1. Resultatet visas i Figur 9 och 10. SVI mäter hur stor volym som 1 g av slammet i provet tar upp efter 30 minuter. Ingen tydlig trend kan utläsas från mätningarna. Värdet på SVI då 3,145 ml/l vattenverksslam tillsattes till aktivslam är lägre än resterande värden, vilket även tydligt visades i Figur 7.



Figur 9. Beräknade SVI-medelvärden vid olika mängd tillsatt vattenverksslam per liter aktivslam.



Figur 10. Beräknade SVI-medelvärden vid olika mängd tillsatt aluminiumsulfat per liter aktivslam.

Värdena som figurerna ovan baseras på redovisas i Tabell 12.

Tabell 12. Beräknade SVI-värden vid olika mängd tillsatt vattenverksslam eller aluminium per liter aktivslam.

	Sedimentation 30 min [ml/l]	SVI [ml/g]
Kontroll	190	84,44
Kontroll	192	85,33
Medelvärde	191	84,89
Vv-slam		
3,145	120	53,33
6,289	190	84,44
9,434	210	93,33
12,579	190	84,44
Aluminium		
3,145	180	80
6,289	190	84,44
9,434	210	93,33
12,579	174	77,33

Efter att aluminiumhalt mätts i vattenverksslammet som hämtats på Lackarebäck jämfördes dessa värden med halten som tagits ur Graham-Jones (2014). Det visade sig vara cirka 6 gånger högre aluminiumhalt i aktuellt vattenverksslam jämfört med Graham-Jones slam. Därför räknades skillnaden ut i hur mycket aluminiumhalten i aktivslammet ökades av vattenverksslam jämfört med aluminiumsulfatlösning som tillsats. Detta visas i Tabell 13.

Tabell 13. Andel tillsatt aluminium i förhållande till aktivslams aluminiuminnehåll.

Tillsats	Volym tillsats [ml/l aktivslam]	Al-halt i aktivslam [mg/l]	Al-halt i tillsats [mg/l]	Mängd Al som tillsätts [mg/l]	Ökning av mängd Al i aktivslam
Al-sulfatlösning	3,145	52,217	219,7	0,69	1,32 %
	6,289			1,38	2,65 %
	9,434			2,07	3,97 %
	12,579			2,76	5,29 %
Vattenverksslam	3,145	52,217	1 289,12	4,05	7,76 %
	6,289			8,11	15,53 %
	9,434			12,16	23,29 %
	12,579			16,22	31,05 %

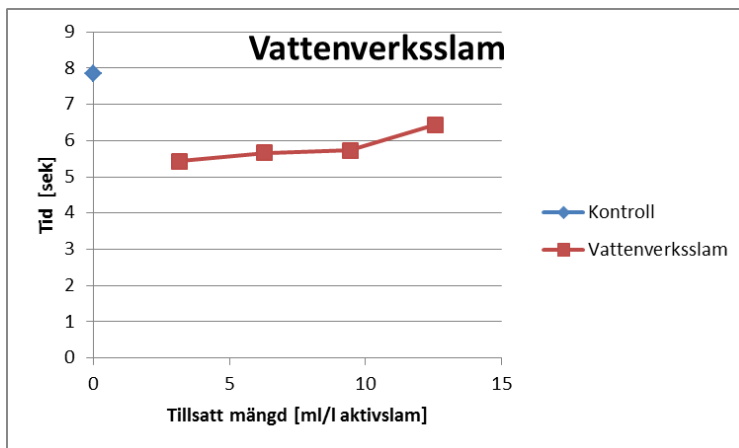
Aluminiumsulfatlösningen ger alltså inte så står procentuell ökning av aluminiumhalten, endast 1-5 % medan vattenverksslammet ökar den med 7-31 %.

4.5 Capillary Suction Time (CST)

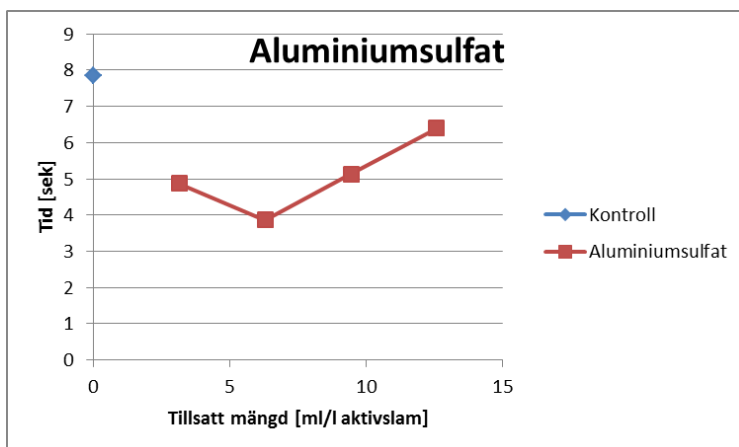
Tre CST-försök gjordes på varje prov och resultatet skiljde sig åt enligt Tabell 14. I Figur 11 och 12 visas medelvärdena av de tre mätningar som utfördes för varje enskild tillsatt mängd vattenverksslam och aluminium. Resultatet visar att avvattningstiden är kortare då aluminium eller vattenverksslam tillsatts i förhållande till försöken på enbart aktivslam. De testerna som gjorts på proverna med aluminium visar att avvattningstiden på dessa är något kortare än på proverna med vattenverksslam. Dock visar kurvorna en liknande trend, att avvattningstiden ökar när en större mängd vattenverksslam eller aluminium tillsätts.

Tabell 14. Resultat CST med tre försök för varje prov. Laborationen utförd 2015-04-08.

Analyt	Mängd tillsats [ml/liter aktivslam]	Provresultat för de olika försöken [s]			
		1	2	3	medelvärde
Vatten	-	5,4	4,5	3,4	4,433
Kontroll (enbart aktivslam)	-	7,4	7,2	8,9	7,833
	Vv-slamm				
	3,1447	7,5	3,5	5,3	5,433
	6,2893	4,9	6,7	5,4	5,667
	9,4340	6,4	4,3	6,5	5,733
	12,5786	6,4	6,2	6,7	6,433
	Aluminium				
	3,1447	5,3	3,4	5,9	4,867
	6,2893	3,4	3,7	4,5	3,867
	9,4340	5,8	5,7	3,9	5,133
	12,5786	6,2	6,3	6,7	6,400



Figur 11. Avvattningstiden beroende på mängd tillsatt vattenverksslamm per liter aktivslam. Laborationen utförd 2015-04-08.



Figur 12. Avvattningstiden beroende på mängd tillsatt aluminiumsulfat per liter aktivslam. Laborationen utförd 2015-04-08.

5 Diskussion

Laborationerna och beräkningarna som gjorts i projektet har inte gett tydliga resultat. Det har gjorts många antaganden och det finns många möjliga felkällor vilket gör att det finns flera potentiella förbättringar av projektet som skulle ha kunnat göras.

En del förenklingar har gjorts under projektets gång för att göra arbetet hanterbart. Förenklingarna har antagligen gjort att utfallet inte speglar det verkligheten till fullo. En förenkling som gjorts är till exempel att anta att värden på flöden m.m. som tagits från olika år överensstämmer. Anledningen till att olika år använts är att det var de värden som gick att få tag på från vattenverken och Gryaab. Att slammängderna med sitt innehåll och sammansättning är från olika år kan ha haft inverkan på utfallet av beräkningarna.

Då flera olika analyser genomfördes på samma prov fanns det ingen möjlighet att genomföra alla laborationer på samma dag som proven hämtades. Det här har gjort att analyser av samma slam inte har gjorts vid samma tidpunkt vilket kan ha påverkat resultatet då det inte med säkerhet går att säga att det inte skett någon kemisk reaktion i slammet då det stått i en kyl i väntan på att analyseras. Eftersom det är små halter aluminium i stora totalflöden kan detta ge en stor felmarginal när aluminiumflöden räknas ut.

Proven med slam som hämtades från Lackarebäck och Ryaverket var svårhanterliga utifrån olika perspektiv vilket kan ha påverkat laborationernas resultat. Många av proven som hämtades sedimenterade snabbt i sina behållare. När prov skulle förflyttas från en behållare till en annan antingen genom upphällning eller genom pipettering kan förflyttningen ha gått för långsamt. Detta kan ha lett till att en för liten koncentration partiklar i slammet följt med då slammet hunnit sedimentera i sin behållare.

När slam pipetterades klipptes ibland en liten bit av spetsen av för att kunna hantera de tjockare slamproven. Det här kan ha påverkat noggrannheten hos pipetterna och gjort att fel mängd prov tagits upp, vilket i så fall inneburit att fel koncentration hamnat i provet som skulle analyseras.

Massbalanser

För att kunna utföra beräkningarna i massbalanserna har mätdata behövt göras om till samma enhet (mängder per år) då mätdata som inhämtats från Gryaab, vattenverken eller som tagits själva har tagits vid olika tidpunkter och i olika långa perioder. Det här kan ha påverkat beräkningarna en del då exempelvis Gryaab har gjort mätningar under några månader under 2015, vattenverkens mätdata är ett medelvärde på mängder under 2013 och egna mätdata är tagna under ett enskilt tillfälle under 2015. Då mätvärdena från Gryaab och vattenverken inte är tagna samtidigt gör detta att kvoten som beskriver hur stor andel av det totala massflödet aluminium som kommer in till Ryaverket som använts vid den teoretiska och experimentella massbalansen inte nödvändigtvis stämmer.

Jämförs de olika massflödena av aluminium i de olika delströmmarna i den experimentella massbalansen finns det uppenbara fel. Värden tagna av Gryaab på inkommande flöde på aluminium har ett medelvärde på 447 ton/år och eget prov på inkommande vatten visar en aluminiumflöde på 1229 ton/år, vilket betyder att det är en differens på 782 ton/år. Det verkar orimligt att det skulle vara en så pass stor skillnad på inkommande aluminiumflöde. Dessutom överensstämmer inte mängden ingående aluminium med det som kommer ut från försedimenteringen (86+565 ton). Det kommer in 1229 ton/år men det kommer bara ut 365 ton/år från röt-kammaren och för lite utsläpp

till Göta Älv för att det skall gå att mäta enligt analysen. Kontentan blir att det antagligen är fel uppmätt aluminiumflöde in till Ryaverket. Även på andra punkter i processen stämmer inte halterna överens, se Figur 6. Felen antas bero på ovanstående felkällor och tyvärr fanns det inte tid att göra om analysen då osäkerheterna upptäcktes.

Att den inkommande strömmen inte överensstämmer med Gryaabs siffror kan bero på fler saker. Resultatet på samtliga aluminiumhalter i de olika delströmmarna kan ha påverkats mycket av vid vilken tidpunkt på året som proven togs eftersom flödet in till Ryaverket varierar på grund av bland annat vilken årstid samt på vilken tid på dygnet det är. Hade proven tagits en annan dag hade resultatet kanske visat ett helt annat aluminiumflöde. Hade mer tid funnits till projektet borde flera provtagningar från samma ställe tagits och under en längre tidsperiod för att få fram ett medelvärde och minska felmarginalen.

Om värden fått fram från samma tidsperiod och som överensstämde hade det varit möjligt att göra en massbalans som stämde mycket bättre. Den enda förenklingen som hade behövt göras då hade varit att göra något antagande om hur mycket av aluminiumet som går ut i Göta Älv som kommer från vattenverken.

I den experimentella massbalansen har det tagits fram hur stor andel av TS i röt-kammaren som vattenverken bidrar med. Resultatet av beräkningarna blev att 5,1 % av TS i röt-kammaren kommer från vattenverken vilket är mindre än de 10 % som tidigare uppgetts hamna där. 2,77 % av TS är oorganiskt material som vattenverken bidragit med och som inte kommer gå att röta. För att räkna ut detta har som sagt flertalet antaganden gjorts. Det har gjort att resultatet inte med säkerhet speglar de verkliga värdena.

Enligt Figur 6 verkar det som att aluminiumet som kommer in till Ryaverket sedan hamnar i röt-kammaren då uppmätta värden från prover som tagits efter aktivslambassängerna (punkt 7) är alla under detektionsgränsen, alltså för små för att de skall kunna mätas i ICP:n. Det här gör att antagandet i den experimentella massbalansen om att allt aluminium som kommer in till Ryaverket går till röt-kammaren verkar stämma bra. Innan aktivslambassängerna är aluminiumet i både slamfas och i vattenfas, men efter är aluminiumet bara i slamfas. Aluminiumet har alltså bundits till andra partiklar i denna process då det hamnat i slamfas. Enligt teori binder aluminium till t.ex. fosfor och humuspartiklar vilket bör ha hänt i denna process.

Sedimentering och CST

Diagrammen över SVI, Figur 9 och 10, visar att sedimentationen av aktivslam inte påverkades särskilt mycket av tillsatserna. Den enda stapeln som avviker är den med en tillsatt av 3,145 ml vattenverksslam per liter aktivslam. Då den avviker så pass mycket från de andra staplarna och ingen annan följer samma trend gör detta att resultatet från det försöket inte känns pålitligt. Den mest troliga anledningen till avvikelsen är att slammet börjat sedimentera i dunken innan provet hölls upp, och att omrörningen av slammet varit otillräcklig, alternativt att upphällningen av provet skedde för långsamt så att det började sedimentera på nytt. Det här kan då ha lett till att partikelmängden i provet med aktivslam blivit väldigt låg. Resterande försök avviker inte på samma sätt, vilket kan betyda att rutinen med omskakning och snabb upphällning för att minska sedimenteringen blev bättre.

Eftersom aluminiumhalten i vattenverksslamm inte hade analyserats då sedimentationsförsök samt CST-försök skulle utföras användes aluminiumhalter i vattenverksslamm från Graham-Jones (2014). Analysen som senare gjordes av vattenverksslamm visade att det innehöll ca sex gånger högre halt aluminium än vad Graham-Jones hade i sitt slam. Båda slamproven är tagna från Lackarebäck men med ungefär ett års skillnad i tid. Det är svårt att veta om aluminiumhalten kan variera så pass mycket i slamm. Det kan vara så att analysen i ICP-MS gett felaktigt resultat på aluminiumhalten, men om halten aluminium i TS jämförs med data från Lackarebäck liknar de varandra. Analysen visade en halt på 26,5 % och Lackarebäck hade ett medelvärde på 21,5 % 2013, vilket gör att värdet verkar rimligt.

Eftersom halten aluminium inte var samma i aktuellt vattenverksslamm som i referensvärde från Graham-Jones (2014) är det svårt att göra en jämförelse mellan aluminiumsulfat och vattenverksslamm. Aluminium i ren form borde förbättra sedimentationshastigheten, det är en av anledningarna till att det används som fällningskemikalie vid vattenrening, men det har inte försöken visat. Aluminiumsulfatlösningen ökade endast halten aluminium i aktivslamm med 1-5 % vilket kan vara en anledning till att inget resultat syntes. Om halten i aluminiumsulfatlösningen hade varit lika hög som i vattenverksslamm skulle resultatet ha kunnat bli annorlunda. Eventuellt skulle det då ha lett till snabbare sedimentering.

Resultaten från CST-testerna var svåra att analysera på grund av den stora spridningen på resultaten mellan de tre mätningarna. Spridningen gör att resultatet inte känns fullt trovärdigt. De korta avvattningstiderna gjorde att CST-apparaten hade svårt att ge exakta resultat. Vid mer tid hade det varit möjligt att genomföra fler försök med varje prov, vilket hade givit säkrare medelvärden och därmed ett mer pålitligt resultat. Anmärkningsvärt är dock att alla prov med tillsats har kortare tid än enbart aktivslamm och att det i testerna syns en trend av att avvattningstiderna blir längre då mer aluminium eller vattenverksslamm tillsätts. Med fler försök hade eventuellt denna trend kunnat styrkas.

CST-försök och sedimentationsförsök gjordes som sagt innan analys av eget prov av vattenverksslamm gjorts. Detta betyder att mängden aluminium som tillsattes till aktivslamm inte motsvarade samma mängd aluminium i vattenverksslamm som tillsattes. Det här gör att det är svårt att dra en slutsats utifrån resultatet om det är aluminiumet i vattenverksslamm eller något annat som påverkar avvattningstiden och sedimentationshastigheten.

Förslag på förbättringar

Om projektet gjorts om hade det varit bra att göra analysen av aluminiumhalter i vattenverksslamm samt i samtliga punkter på Ryaverket först. Att veta halten i vattenverksslamm hade gjort att det hade varit lättare att jämföra resultaten som fått fram från sedimentationsförsöken och CST-försöken direkt. Det hade även varit bra att börja med laborationerna tidigare än vad som gjordes då de tog längre tid än väntat. Att resultat kom in sent gjorde att det blev svårt att hinna med att analysera dem i detalj. Hade laborationer gjorts tidigare hade även de kunnat göras om då ett uppenbart fel registrerats, exempelvis det uppmätta värdet i inkommande vatten till Ryaverket som inte alls stämde överens med Gryaabs uppmätta värden. Det hade även varit bra att göra analysen av strömmarna på Ryaverket tidigare för att tidigare få en riktigt bra förståelse för aluminiums väg i processen. Eftersom detta gjordes genom att hämta prov runt om på Ryaverket gav det en inblick i

hur alla strömmar hängde ihop vilket hade varit bra vid beräkningar m.m. som nu skedde innan analysen.

6 Slutsats

Massbalanserna som beräknats i projektet visar att nästan allt inkommande aluminium hamnar i rötkammaren. Enligt beräkningarna upptar TS från vattenverken Alelyckan och Lackarebäck 5,1 % av TS i rötkammaren på Ryaverket vilket är mindre än de 10 % som uppskattats tidigare. Med hänsyn till de antaganden som gjorts och att vissa uppmätta halter av aluminium i de olika delströmmarna inte stämmer överens är det inget pålitligt resultat.

Tillsatserna visade ingen stor påverkan på sedimentationstesterna vilket gör att inga slutsatser om vattenverksslammets påverkan av sedimenteringen kan dras. Med tanke på att spridningen mellan de olika mätresultaten på samma prov i CST-försöken varierade så pass stort och att inga tydliga trender kunde utläsas, utöver att avvattningstiden minskade något mot kontrollprovet, kan inte några slutsatser med säkerhet dras från dessa tester heller.

Referenser

Arbetsmiljöverket. (u.å) *Avloppsvatten, slam och latrin*. Hämtad 9 mars, 2015, från Arbetsmiljöverket, <http://www.av.se/teman/mikrobiologiska/Dokument/avloppsvatten.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

Atkins, P., Jones, L. (2010). *Chemical Principles: The Quest for Insight*. 5th edition. UK: W.H. Freeman Co Ltd.

Energigas Sverige (2014). *Produktion*. Hämtad 27 februari, 2015, från Biogasportalen, <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/Produktion.aspx>

Graham-Jones, A. (2014). *Water treatment for wastewater treatment: An assessment of effects of spent alum sludges on wastewater treatment in Gothenburg, Sweden* (Examensarbete, University of Aberdeen, Bygg och miljöteknik på Chalmers tekniska högskola)

Gryaab. (u.å.a). *Gryaab jobbar för ett renare hav*. Hämtad 27 februari, 2015, från Gryaab, <http://www.gryaab.se/default.asp?lid=1&ulid=1&show=1>

Gryaab. (u.å.b). *Rena fakta om Gryaab och ditt avloppsvatten* [Broschyr]. Göteborg: Gryaab. Från http://gryaab.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Broschyrer/Allmanbroschyr_sv_klar.pdf

Gryaab. (u.å.c). *Säkerhetsinformation till allmänheten*. Hämtad 27 februari, 2015, från Gryaab, <http://gryaab.se/default.asp?ulid=63&lid=1&show=1>

Gryaab. (u.å.d). *Reningsprocessen*. Hämtad 10 februari, 2015, från Gryaab, <http://gryaab.se/default.asp?lid=3&ulid=3&show=1>

Göteborgs Stad. (u.å.a). *Varifrån kommer ditt dricksvatten?* Hämtad 6 maj, 2015, från Göteborgs Stad, http://goteborg.se/wps/portal/invanare/bygga-o-bo/vatten-och-avlopp/dricksvatten/varifran-kommer-ditt-dricksvatten!/ut/p/b1/04_Sj9Q1NDEzMTIzMDEx1I_Qj8pLLMtMTyzJzM9LzAHxo8ziAwy9Ai2cDB0N_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffxN3M2BCiKBCgxAecDQvr9PPJzU_Vzo3IsAB0qj94!/dl4/d5/L2dBISevZ0FBIS9nQS9nQSEh/

Göteborgs stad. (u.å.b) *Dricksvattnets kvalitet*. Hämtad 15 februari, 2015, från Göteborgs stad, http://goteborg.se/wps/portal/invanare/bygga-o-bo/vatten-och-avlopp/dricksvatten/dricksvattnets-kvalitet!/ut/p/b1/jYtLCslwFADP4gHsezGfJssopL_QtKLQZiNRpBSadiN6fesBRGc3MAMe-i2RQhBUKBh04OfwHifwGJc5TB_34tKQspV7otFlymBxqhpTV9YxR9agX4NDpnOWWkRpM46Fzs9H1VKKmv734xc0_vpL8OM1Jq9bTDDhXDCy40hTxVJFFdT5Eu8Q_WTkoDdvSjr6dg!!/dl4/d5/L2dBISevZ0FBIS9nQSEh/

Harris, D. (2011). *Quantitative Chemical Analysis: 8th Edition*. China Lake, Kalifornien: W.H. Freeman & Company

KLARA, Chalmers kemikaliehanteringssystem. (2015a) *Salpetersyra 65 %*. Hämtad från KLARA – Produkter, sökord: salpetersyra https://vgrgu.port.se/alphaquest/app_cth/inc.cfm?fil=../aqpublic/kemreg/kemreg_frame&pv=0&pf=&menid=2

KLARA, Chalmers kemikaliehanteringssystem. (2015b) *Aluminiumsulfat 18-hydrat*. Hämtad från KLARA – Produkter, sökord: aluminiumsulfat
https://vgrgu.port.se/alphaquest/app_cth/inc.cfm?fil=../aqppublic/kemreg/kemreg_frame&pv=0&pf=&menid=2

Lundgren, J. (2014). [Utan titel] [Diagram]. I Lundgren, J, *Utsläpp till Göta Älv i samband med filterspolning och tömning av sedimenteringsbassänger vid Alelyckans vattenverk: Sammanfattning* (s. 2). Göteborg: Kretslopp och vatten.

Lundgren, J. (2014). *Utsläpp till Göta Älv i samband med filterspolning och tömning av sedimenteringsbassänger vid Alelyckans vattenverk* (rapportnr 2014-03). Göteborg: Kretslopp och vatten.

Löfgren, S., Forsius, M., Andersen, T. (2003) *Vattnens färg: Klimatbetingad ökning av vattnens färg och humushalt i nordiska sjöar och vattendrag*. Sverige, Finland och Norge: Arbetsgruppen för Miljöövervakning m.fl. Från http://info1.ma.slu.se/ima/publikationer/brochure/vattnens_farg.pdf

Matsson, J. (2014). *Miljörapport Ryaverket 2013* (Gryaab rapport 2014:1) Göteborg: Gryaab. Från http://www.gryaab.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Miljorapporter/Miljorapport_Ryaverket_2013.pdf

Matsson, J. (2015). *Miljörapport Ryaverket 2014* (Gryaab rapport 2015:4) Göteborg: Gryaab. Från http://gryaab.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Miljorapporter/Gryaab_rapport_2015-4.pdf

Mattsson, A. (u.å). *The Rya WWTP – 30+ years from Partial Biology to High Tech*. Göteborg: Gryaab Norrvatten. (u.å.) *Reningsprocessen*. Hämtad 15 februari, 2015, från Norrvatten, <http://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Produktion-av-vatten/Reningsprocessen/>

Sawalha, O. & Scholz, M. (2007). *Assessment of capillary suction time (CST) test methodologies*. Environmental Science and Technology. U.o: Taylor & Francis

Seader, J.D., Henley, E.J., Roper, K. (2011) *Separation Process Principles: 3rd Edition*. USA: John Wiley & Sons.

Svensktvatten. (u.å.) *Råvatten – källan till dricksvatten*. Hämtad 15 februari, 2015, från Svensktvatten <http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Dricksvatten/R%C3%A5vatten/B%C3%A5de%20grundvatten%20och%20ytvatten%20ger%20utm%C3%A4rkt%20dricksvatten%20med%20riktig%20behandling.pdf>

Tumlin, S. (2014). *Vattenverksslam i Gryaabs upptagningsområde - hur och var skall det hanteras?* Göteborg: Gryaab [Ej publicerad].

Wallèn, E. (1999) livscykelanalys av dricksvatten: en studie av ett dricksvattenverk i Göteborg. Examensarbete, Chalmers tekniska högskola, Teknisk miljöplanering. Från http://boffe.com/rapporter/Dricksvattnet/Diverse/tep_1999_3.pdf

Bilaga A. Insamling av data

Insamlade värden från vattenverken finns i Tabell A.1. Aluminiumhalten är enbart beräknad på förbrukad mängd fällningskemikalie.

Tabell A.1. Siffror från vattenverken Lackarebäck och Alelyckan. (I. Kjellberg, personlig kommunikation, 1 april 2015)

	Halt Lackarebäck		Mängd Lackarebäck		Halt Alelyckan		Mängd Alelyckan		Totalt massflöde vattenverks-slam	
TS	0,30	%	492	ton/år	1,47	%	763,00	ton/år	1 255,0	ton/år
GR	55,47	% av TS	272,9	ton/år	36,47	% av TS	278,24	ton/år	551,1	ton/år
P	353,33	mg/kgTS	173,84	kg/år	480,00	mg/kgTS	366,24	kg/år	540,1	kg/år
Cu	44,33	mg/kgTS	21,81	kg/år	32,67	mg/kgTS	24,92	kg/år	46,7	kg/år
Ag	5,50	mg/kgTS	2,71	kg/år	5,50	mg/kgTS	4,20	kg/år	6,9	kg/år
Hg	0,03	mg/kgTS	0,01	kg/år	0,03	mg/kgTS	0,01	kg/år	0,0	kg/år
Zn	38,00	mg/kgTS	18,7	kg/år	82,33	mg/kgTS	62,82	kg/år	81,5	kg/år
Sb	5,50	mg/kgTS	2,71	kg/år	5,50	mg/kgTS	4,20	kg/år	6,9	kg/år
Cd	0,55	mg/kgTS	0,27	kg/år	0,55	mg/kgTS	0,42	kg/år	0,7	kg/år
Pb	8,67	mg/kgTS	4,26	kg/år	7,00	mg/kgTS	5,34	kg/år	9,6	kg/år
Cr	2,87	mg/kgTS	1,41	kg/år	11,00	mg/kgTS	8,39	kg/år	9,8	kg/år
Ni	8,50	mg/kgTS	4,18	kg/år	10,67	mg/kgTS	8,14	kg/år	12,3	kg/år
Al		g/kgTS	106	ton/år		g/kgTS	127,00	ton/år	233,0	ton/år
	Medelvärde av tre				Medelvärde av tre					

Insamlade värden från Ryaverket finns i Tabell A.2. Aluminiumhalterna från mätningarna har lagts in i Tabell 6 (se stycke 4.3.2 Ryaverkets mätdata).

Tabell A.2. Mätningar utförda av Ryaverket mellan 2015-02-16 och 2015-04-06 för aluminium i inkommande respektive utgående strömmar (D. l'Ons, personlig kommunikation, 13 april 2015). Röda siffror innebär att halten är under analysgräns.

prov.dat	namn	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Cr µg/l	Hg µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l	Al mg/l
150216-23	Rya utg	0,06	0,00	5,6	0,2	0,04	2,6	13	0,03
150223-0302	Rya utg	0,08	0,00	6,4	0,2	0,02	2,6	12	0,04
150226-0302	Rya ink	2,3	0,09	54	2,3	0,08	2,9	79	2,7
		2,1	0,09	53	2,3	0,08	2,8	78	2,7
150302-05	Rya ink	2,0	0,07	46	2,1	0,09	2,8	66	3,7
		2,0	0,08	46	2,2	0,10	2,8	65	3,7
150305-09	Rya ink	1,8	0,08	52	1,9	0,06	2,6	68	3,0
		1,8	0,09	53	1,8	0,06	2,6	71	2,9
150302-09	Rya utg	0,09	0,00	6,9	0,2	0,02	2,1	13	0,04
150309-12	Rya ink	2,4	0,10	57	7,7	0,07	4,5	85	4,4
		2,4	0,10	56	7,9	0,08	4,5	87	4,3
150312-16	Rya ink	1,8	0,1	59	2,1	0,06	3	80	3,1
		1,8	0,10	61	2,2	0,06	2,9	77	3,1
150309-16	Rya utg	0,1	0	8,2	0,2	0,03	2,6	13	0,04
150316-19	Rya ink	2,2	0,11	70	2,3	0,09	3,4	87	4,4
		2,2	0,12	69	2,3	0,08	3,3	90	4,4
150316-23	Rya utg	0,11	0,00	10	0,3	0,01	2,6	10	0,03
150319-23	Rya ink	2,1	0,11	61	2,4	0,07	2,9	90	3,3
		2,2	0,1	62	2,6	0,07	2,9	89	3,4
150330-0406	Rya utg	0,09	0,00	6,8	0,2	0,02	2,8	11	0,035
150402-06	Rya ink	1,6	0,08	50	2,0	0,06	2,9	60	3,6
		1,6	0,08	51	1,9	0,08	2,7	64	3,6

Bilaga B. Analys av vattenverksslam

Dunkarna med inhämtat vattenverksslam fick stå och sedimentera över natten för att sedan kunna förtjockas genom att ta bort vatten med en hävert. 4 liter vatten togs bort från prov 1 och cirka 2,5 liter från prov 2. Efter omrörning hölls 1000 ml från varje prov upp i bägare. Därifrån hölls sedan tre prov vardera av prov 1 och 2 á 50 ml upp i deglar. Då slammet innehåller mycket partiklar gjordes inget försök att filtrerara proven utan TS mättes efter torkning i deglarna. Deglarna vägdes och numrerades innan proven hölls upp. Proven torkades i ugn vid 105°C i några dagar. Överblivet slam i bägarna hölls över i plastflaskor, numrerades och sparades i kylskåp.

Torrsubstans och dess innehåll

Efter torkning vägdes deglarna för att få fram hur mycket torrsubstans de olika proven innehöll. Resultat av vägningar och beräkningar redovisas i Tabell B.1.

Tabell B.1. Analys av sex olika prov vattenverksslam

Vv-slamsprov	Vikt endast degel [g]	Vikt med slam efter torkning i 105°C	Torrsubstans, TS [g/50 ml]	TS [g/l]
1.1	92,387	92,6312	0,2442	4,884
1.2	142,53	142,767	0,237	4,74
1.3	178,347	178,595	0,248	4,96
2.1	69,690	69,9290	0,239	4,78
2.2	62,889	63,1796	0,2906	5,812
2.3	67,893	68,1788	0,2858	5,716

För att se hur stor andel av TS som är organiskt respektive oorganiskt ställdes deglarna in i en varmare ugn vid 550°C där allt organiskt material bränns bort. Därefter vägdes proven igen och procentandel oorganiskt räknades ut. Se Tabell B.2.

Tabell B.2. Beräkning av andel oorganiskt i TS av vattenverksslam

Vv-slamsprov	Vikt med slam efter torkning i 550°C	Oorganiskt [g/50ml]	Oorganisk [g/l]	Oorganiskt av TS, %
1.1	92,5092	0,1222	2,444	50,041
1.2	142,652	0,122	2,44	51,477
1.3	178,476	0,129	2,58	52,016
2.1	69,844	0,154	3,08	64,435
2.2	63,0466	0,1576	3,152	54,233
2.3	68,0476	0,1546	3,092	54,094

Aluminiumhalt – både vattenverksslam och aktivslam

Proven förbereddes genom att uppsluta dem i salpetersyra, HNO₃. Fyra prov gjordes i ordning, 2 stycken med aktivslam och ett vardera från vattenverksslamprov 1 och 2. 2 ml från varje prov späddes ut i 8 ml färdigutspädd 1,12 M syra (65 % HNO₃, utspädd x10). Proven kördes sedan i mikrovågsugnen CEM MARS 5. I mikron användes specialvialer för proven, prov 1 hade en kork med temperaturgivare och de andra hade korkar som först låg i syrabad och sedan tänjdes ut för att de

skulle sluta helt tätt vid körningen. Små korkar med membran sätts på locken och sedan sattes vialerna in i mikron. Metoden som användes vid körning var "SED HI TEMP-HP500".

Innan körning i ICP-MS spädde proven i olika volymer med milli-Q-vatten. Tre vialer per prov gjordes i ordning med spädningarna x100, x500 och x1000.

Resultatet av körningen i ICP-MS finns i Tabell B.3. Eftersom proven var utspädda i syra och vatten räknades resultatet om till mg per liter slam.

Tabell B.3. Resultat av analys av aluminiumhalt i vattenverksslam och aktivslam

Prov	Spädning	Al [$\mu\text{g/l}$ prov]	Al [mg/l slam]
Aktivslam	100	121,688	60,844
Aktivslam	500	23,700	59,251
Aktivslam	1000	10,524	52,619
Aktivslam	100	100,875	50,438
Aktivslam	500	17,665	44,162
Aktivslam	1000	9,197	45,987
Vv-slam 1	100	2585,103	1292,552
Vv-slam 1	500	509,975	1274,937
Vv-slam 1	1000	259,975	1299,877
Vv-slam 2	100	3212,910	1606,455
Vv-slam 2	500	647,107	1617,768
Vv-slam 2	1000	323,019	1615,093

Total Organic Carbon (TOC)

Eftersom de tidigare proven vattenverksslam bränts gjordes ett till prov från tank 1, prov 1.4. Detta torkades i ugn vid 105°C mellan 2015-04-17 och 2015-04-20 och vägdes innan tillsatt prov och efter torkning. Vikterna blev 63,8356 g respektive 64,0734 g vilket ger en TS-vikt på 0,2378 g.

Provet tilläts svalna och mortlades därefter till ett fint pulver. 0,0501 g av provet mättes upp i ett tråg och hölls i en 200 ml mätkolv. Provet blandades ut i milli-Q-vatten och spädde till 200 ml.

För att mäta TOC m.m. användes TOC-VCPH, total organic analyzer. Fyra provvialer a 30 ml gjordes i ordning för att sättas in i maskinen. Vial 1 och 4 fylldes med vatten och vial 2 och 3 fylldes med det utspädda provet. I vialerna med prov i lades magnetomrörare i för att förhindra sedimentering under mätningen. Maskinen analyserar varje prov i cirka 20 min. Resultat av analys finns i Tabell 2 i stycke 4.1.

Bilaga C. Analys av aktivslam

En del av aktivslammet som hämtades på Ryaverket 2015-04-08 togs med till Chalmers för att analyseras med avseende på SS, Al-halt och TOC.

Suspended solids och dess innehåll

2015-04-09 förbereddes analys av TS i aktivslammet. Först vägdes tre filter, därefter vakuumfiltrerades två prov av aktivslam á 5 ml vardera och ett blankprov med enbart vatten. Filtrena med prov på lades i små deglar och ställdes in i ugn vid 105°C och fick torka där till nästa dag. Filtrena vägdes då på nytt och värdena korrigerades efter viktändringen på blankprovet. Mätvärden och beräkningar finns i Tabell C.1 och C.2.

Tabell C.1. Mätvärden och beräkning av TS i aktivslam

	Endast filter [g]	Filter med prov efter torkning i ugn [g]	Skillnad, SS-vikt	SS efter korrigering [g/5ml]	SS [g/l]
1 Aktivslam 1	0,0957	0,1065	0,0108	0,0113	2,26
2 Aktivslam 2	0,0954	0,1061	0,0107	0,0112	2,24
3 Blankprov, vatten	0,0959	0,0954	- 0,0005	-	-
				Medel:	2,25
				Andel i slam:	Ca 0,2 %

Tabell C.2. Mätning av andel oorganiskt material i TS

	Vikt efter torkning i 550°C	Skillnad innan och efter 550°C (organiskt)	Oorganiskt [g/5ml] (-0,008g)	Oorganiskt [g/l]
1	0,098	0,0085	0,0077	1,54
2	0,0973	0,0088	0,008	1,6
3	0,0946	0,0008	0	0

Aluminiumhalt

Samma metod som vid analys av vattenverksslam. För metod samt resultat se *Bilaga B*.

Bilaga D. Massbalans av aluminium

Teoretisk massbalans

Den teoretiska massbalansen gjordes i Excel i följande tabell.

Tabell D.1. Beräkningstabell för teoretisk massbalans med siffror från Ryaverket och vattenreningsverken. Punkt 1 och 2 är siffror från vattenverken, punkt 3 och 5 är från Gryaab och 4 och 6 är uträknade i balansen.

	1. Utgående från Alelyckan	2. Utgående från Lackarebäck	3. Inkommande till Ryaverket	4. Övriga källor	5. Utgående Ryaverket vatten	6. Utgående Ryaverket slam
Volymflöde vatten [m ³ /s]			4,847		4,89	
Massflöde slam [ton/år]	51 904,8	164000				
Volymflöde [m ³ /år]			152844480		154211040	
Andel TS i slam	0,0147	0,003				
Massflöde TS [ton/år]	763	492				
Andel aluminium i TS	0,166	0,215				
Massflöde aluminium [ton/år]	127	106	447,80	224,50	5,23	442,58
Utsläpp till Göta Älv [ton/år]	9,7			Andel Al i röt slam:		0,7726
Till Rya:	117,3					

Genom dessa siffror har det sedan räknats ut att andelen aluminium som bör komma från vattenverken är 52,03 %.

Experimentell massbalans

De 13 prov som hämtats på Ryaverket 2015-04-29 analyserades med avseende på SS, TS och aluminiumhalt i vattenfas respektive slamfas.

Suspended solids (SS) samt torrsbstans (TS)

I alla insamlade prov förutom i 4 punkter i processen (3, 11, 12 och 13) mättes SS (suspended solids). För att göra detta vägdes 20 filterpapper. Av varje prov gjordes dubletter för att minska felmarginalen. Olika mängd prov pipetterades och filtrerades med hjälp av vakuumfiltrering genom ett filterpapper, se Tabell D.2 för exakta mängder som filtrerades för varje prov. För att partiklar inte skulle sätta igen pipetten klipptes spetsen av lite. Mängden som filtrerades berodde på hur mycket det gick att filtrera genom filterpapperet innan det tog stopp. Ju mer prov som filtreras desto mindre blir felmarginalen. Efter filtreringen lades alla filterpapper i var sin bägare av aluminium. Bägarna ställdes in i en ugn med temperaturen 105°C. Proven stod i ugnen i 5 dygn (2015-04-30 till 2015-05-05) och därefter vägdes filterpappren med prov på, se Tabell D.2.

Tabell D.2. Resultat från SS-analys på slam som inhämtats på Ryaverket.

Prov	Vikt filter [g]	Mängd prov som filtrerats [ml]	Vikt filter +prov efter torkning i 105°C [g]	Skillnad SS-vikt [g]	Korrigerig av filterpapper (0,005 g)	SS [g/ml]	SS [g/l]
1.1	0,097	100	0,106	0,009	0,014	0,000	0,137
1.2	0,099	100	0,107	0,008	0,014	0,000	0,135
2.1	0,098	100	0,099	0,001	0,006	0,000	0,060
2.2	0,095	100	0,096	0,001	0,006	0,000	0,061
4.1	0,095	10	0,100	0,005	0,010	0,001	1,000
4.2	0,096	10	0,101	0,005	0,010	0,001	1,000
5.1	0,095	5	0,134	0,039	0,044	0,009	8,880
5.2	0,096	5	0,138	0,042	0,047	0,009	9,380
6.1	0,096	100	0,098	0,002	0,007	0,000	0,066
6.2	0,096	100	0,097	0,002	0,007	0,000	0,066
7.1	0,096	5	0,107	0,012	0,017	0,003	3,300
7.2	0,097	5	0,108	0,011	0,016	0,003	3,160
8.1	0,096	100	0,097	0,001	0,006	0,000	0,056
8.2	0,098	100	0,099	0,001	0,006	0,000	0,057
9.1	0,097	100	0,098	0,001	0,006	0,000	0,058
9.2	0,098	100	0,098	0,001	0,006	0,000	0,057
10.1	0,098	100	0,100	0,002	0,007	0,000	0,065
10.2	0,098	100	0,099	0,002	0,007	0,000	0,065
14.1	0,098	50	0,102	0,004	0,009	0,000	0,188
14.2	0,099	50	0,103	0,004	0,009	0,000	0,188

Insamlat prov från punkt 3, 11, 12 och 13 innehåller hög andel TS vilket gör att dessa inte kan filtreras genom filterpapper.. 4 deglar vägdes och markerades. 50 ml av proverna mättes upp i mätglas för att hållas ned i var sin degel. Deglarna sattes in i en ugn med temperaturen 105°C. Efter att ha varit i ugnen i 5 dygn (2015-04-30-2015-05-05) vägdes deglarna med prov i. Se resultat i Tabell D.3.

Tabell D.3. Resultat på TS-halt på de 4 prover som var för tjocka för att filtreras.

Degel	Vikt degel [g]	Vikt degel +prov efter torkning i 105°C [g]	Skillnad TS-vikt [g/50 ml]	TS [g/l]
3	92,3818	94,097	1,7152	34,30
11	62,8884	65,947	3,0586	61,17
12	142,5245	144,117	1,5925	31,85
13	178,3505	179,856	1,5055	30,11

Aluminiumhalt

Två 50 ml rör per prov fylldes, det ena för att analyseras med avseende på aluminiumhalt i vattenfas och det andra med avseende på hela provets aluminiumhalt.

De prov som skulle analyseras i vattenfas centrifugerades vid 4500 rpm i 4 minuter. Efter centrifugering filtrerades proven. 12 ml per prov av de klarare proven filtrerades till provrör med 0,45 µm sprutfilter. De mindre klara proven (4, 11, 12, 13 och 3) filtrerades först med 1,2 µm-filter för att sedan kunna använda de mindre filtrena. Ur prov 4 kunde 12 ml filtreras men av de andra blev det mindre volymer. Prov 3: 2 ml, prov 11: 2,5 ml, prov 12: 2 ml och prov 13: 2 ml. Till proven tillsattes sedan 1,5 µl 65 % HNO₃ per ml prov med hjälp av pipett innan proven sattes in i kylskåp för konservering.

För att konservera proven som skulle analyseras med avseende på total aluminiumhalt till senare användning tillsattes 75 µl 65 % HNO₃ per prov. Efter några dagar (2015-05-07) uppslötts proven med syra i mikron på liknande sätt som proven av vattenverksslam.

Proven delades upp på två körningar i mikron. Körning 1 innehöll ett rör av samtliga klara prov (1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 & 14) och körning 2 innehöll 2 rör vardera av prov 3, 11, 12 & 13. I varje rör pipetterades 2 ml prov och 8 ml 65 % HNO₃. Prov 11 (slam in till röt-kammare) var för tjockt för att kunna filtreras, därför vägdes motsvarande mängd upp istället.

För att göra körningen i mikron säkrare expanderades korkarna längre tid än gången innan. Dessutom tillsattes nya membran till samtliga korkar. Programmet "SED HI TEMP-HP500" användes även denna gång.

Innan körning i ICP-MS späddes samtliga prov med vatten. Proven med vattenfas späddes x10 och x100 och proven med slam i späddes x100, x500 och x1000. Ett av proven från prov nr 11 förstördes i mikron, så detta fanns inte med vid ICP:n.

Se Tabell D.4 för resultatet av analysen. De "tjockare" proven gjordes i två upplagor, därför redovisas resultaten av dem som ett medel av de två.

Tabell D.4. Analys av aluminium i strömmar från Ryaverket. Negativa värden är under detektionsgränsen och antas därför vara noll. Al i filtrat innebär att det är i vattenfasen.

	Al i filtrat					Al totalt					totalt volymflöde [m ³ /h]	Al i slam	
	Halt [mg/l]			Medel	Massflöde [ton/år]	Halt [mg/l]			Medel	Massflöde [ton/år]		Halt mg/l	Massflöde ton/år
	x10	x100	x1000			x100	x500	x1000					
1	0,336	-1,702	0,336	0,336	33,172	16,01	8,90	-5,19	12,45	1229,24	11268	12,12	1196,07
2	-0,171		0	0	0	-1,54	-8,34	-13,59	-	-	10764	0	0
3.1	1,395	-0,884	1,395	1,395		1202,16	1243,53	1259,37	1235,02	0			0
3.2						1378,01	1310,67	1365,61	1351,43	0			0
3 _{medel}			1,395	1,395	0,198				1293,23	183,64	16,21	1291,83	183,44
4	-0,078		0	0	0	6,36	2,99	-9,72	4,67	2,35	57,52	4,67	2,35
5	-0,156		0	0	0	177,65	169,86	164,05	170,52	17423,23	11664	170,52	17423,23
7	-0,181		0	0	0	41,91	33,88	33,27	36,36	13953,18	43812	36,36	13953,18
8	-0,170		0	0	0	-1,59	-3,37	-13,26	-	-	32436	0	0
9	-0,180		0	0	0	-1,28	-4,03	-13,70	-	-	2916	0	0
10	-0,089		0	0	0	-1,19	-7,02	-15,14	-	-	2916	0	0
11.2	-0,013		0	0	0	1735,33	1702,36	1631,92	1689,87	480,07	32,43	1689,87	480,07
12.1	1,441	-0,353	1,441	1,441		1298,49	1313,61	1313,49	1308,53	0			
12.2						1258,95	1157,90	1184,13	1200,32	0			
12 _{medel}			1,441	1,441	0,205				1254,43	178,13	16,21	1252,98	177,92
13.1	-0,068	-1,337	0	0		648,79	709,26	682,43	680,16	0			
13.2						642,11	596,88	663,63	634,21	0			
13 _{medel}			0	0	0				657,18	564,70	98,09	657,18	564,70
14	0,504		0,504	0,504	49,439	0,87	-6,52	-11,27	0,87	85,68	11196	0,37	36,24

Bilaga E. Sedimentationsförsök

Sedimentationsförsök utfördes den 8 april 2015 på Ryaverket.

Metod

Vattenverksslam från prov 1 och aluminiumsulfatlösning (enligt beredning nedan) togs med från Chalmers till Ryaverket. Där hämtades aktivslam från sedimentationstankarna i fyra 10-litersdunkar. Fem sedimentationsförsök utfördes med två prov per försök, ett med vattenverksslam som tillsats och ett med aluminiumsulfatlösning.

Sedimentationsförsöken gjordes genom att hålla 3,18 l aktivslam i sedimentationscylindrar, dunkarna vändes först några gånger försiktigt för att sedimentet skulle vara utblandat. Först testades hastigheten för rent aktivslam och sedan gjordes tester med olika mängder tillsats. Tillsatsen hölls i efter aktivslammet och sedan startades en omrörare i varje rör samtidigt som tidtagningen startade. Nivån på sedimentet lästes av varje minut de första 10-14 minuterna och sedan lästes några ytterligare värden av fram till och med 30 min.

De första testen utan tillsats var grumliga och hade en otydlig sedimenteringsnivå. De andra testen hade klarare klarfas och tydligare gräns. Provet med 10 ml tillsatt aluminiumsulfat var extra klart. Samtliga resultat visas i Tabell E.1.

Beredning av aluminiumsulfatlösning

En lösning av aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) med samma koncentration av aluminium som vattenverksslammet förbereddes. Eftersom aluminiumhalten i vattenverksproven ej hunnit mätas innan sedimentationsförsöken användes siffror från Graham-Jones (2014). Enligt den rapporten innehöll slammet från Lackarebäck 0,57 respektive 0,26 mg $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{g}$ vattenverksslam, vilket ger ett medel på 0,415 mg/g slam. Omräkningar med hjälp av molmassa ($M(\text{Al}_2\text{O}_3)=102$ g/mol och $M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})=666,42$ g/mol) visade att mängden aluminium i vattenverksslammet var 0,2197 mg/g slam. Detta gav att 1,3557 g aluminiumsulfat behövde tillsättas till 500 ml vatten för att få samma koncentration Al som vattenverksslammet. 1,358 g aluminiumsulfat mättes upp och löstes upp i 500 ml Milli-Q-vatten.

Eftersom siffror redan finns på hur större mängder Al påverkar enligt Graham-Jones (2014) testades nu mindre mängder tillsats. Tidigare finns siffror på 10-50 ml tillsats, nu testas tillsats på 10-40 ml/3,18 l aktivslam, alltså 3,14–12,58 ml/l.

Tabell E.1. Sedimentationsförsök som utfördes 2015-04-08 på Ryaverket.

		Avläsning efter antal minuter							
Mängd tillsats [ml/l]		1	2	3	4	5	6	7	8
Kontroll (enbart aktivslam)	-	980	930	870	790	710	620	550	490
Kontroll (enbart aktivslam)	-	980	960	890	810	740	630	560	510
	medel kontroll	980	945	880	800	725	625	555	500
	Vv-slam								
	3,145	960	900	810	710	600	470	390	340
	6,289	950	860	770	700	610	550	500	450
	9,434	980	880	850	760	700	620	550	510
	12,579	980	900	840	730	670	590	534	490
	Aluminium								
	3,145	960	880	800	710	620	550	490	450
	6,289	970	880	800	730	620	560	500	454
	9,434	980	880	840	740	680	600	540	510
	12,579	960	860	780	650	600	520	480	444

		Avläsning efter antal minuter							
Mängd tillsats [ml/l]		9	10	11	12	14	20	27	30
Kontroll (enbart aktivslam)	-	450	420	394	370	340	270	210	190
Kontroll (enbart aktivslam)	-	460	430	400	380	350	274	210	192
	medel kontroll	455	425	397	375	345	272	210	191
	Vv-slam								
	3,145	310	280	270	250	220	170	130	120
	6,289	420	390	380	350	330	260	260	190
	9,434	470	440	410	390	350	280	220	210
	12,579	440	420	390	370	330	260	210	190
	Aluminium								
	3,145	410	390	370	350	320	256	200	180
	6,289	430	400	380	360	330	260	210	190
	9,434	470	440	420	394	366	290	234	210
	12,579	410	380	360	344	310	240	190	174

Bilaga F. Riskanalys kemikaliehantering

Enligt Chalmers kemikaliehanteringsregler ska följande steg utföras innan laboration med kemikalier:

1. Ta reda på vilka kemiska riskkällor som finns, deras farliga egenskaper och vilka regler som gäller.
2. Identifiera farliga situationer.
3. Bestäm vilka åtgärder som behövs.

I laborationerna som utförts i detta projekt har kemikalierna salpetersyra (HNO_3 , 65 %) och aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) använts. Dessutom har slam från vattenverk samt Ryaverket hanterats. Nedan följer risker samt åtgärder för dessa ämnen.

Salpetersyra, HNO_3 , 65 % (KLARA, 2015a)

Faror:	Oxiderande vätska, korrosivt för metaller samt frätande på ögon och hud.
Risker vid laboration:	Få syra på hud eller i ögon, andas in ångor.
Åtgärder:	Använd skyddsrock, skyddshandskar samt skyddsglasögon och arbeta i dragskåp för att undvika kontakt med och inandning av syran. Vid inandning, flytta personen till frisk luft och underlätta andning. Vid kontakt med ögon, skölj försiktigt med vatten i flera minuter och ta ut eventuella kontaktlinser.

Aluminiumsulfat, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, pulver (KLARA, 2015b)

Faror:	Kan orsaka allvarliga ögonskador
Risker vid laboration:	Få ämnet i ögonen eller på händerna som sedan rör ögonen
Åtgärder:	Använd skyddsrock, skyddshandskar och skyddsglasögon. Vid kontakt med ögon, skölj försiktigt med vatten i flera minuter och ta ut eventuella kontaktlinser.

Prover från Ryaverket (Arbetsmiljöverket, u.å)

Faror:	Avloppsvatten och -slam kan innehålla smittämnen som kan orsaka t.ex. diarré, stelkramp eller polio
Risker vid laboration:	Få slam på kläder eller hud och sedan föra över bakterier till mun eller ögon.
Åtgärder:	Använd skyddsrock och skyddshandskar. Se till att vara vaccinerade mot Hepatit B innan laboration.