Självständigt arbete (examensarbete), 7,5 hp, för
Högskoleexamen med inriktning VA-teknik
VT 2018

Konfigurering av omrörarna i flocknings-kamrarna på Källby avloppsreningsverk

Martin Hommel

Fakulteten för naturvetenskap

Högskolan Kristianstad | www.hkr.se

Författare
Martin Hommel

Svensk titel
Konfigurering av omrörarna i flockningskamrarna på Källby avloppreningsverk

Engelsk titel
Configuration of mixers in coagulation/flocculation-chambers at Källby wastewater treatment plant

Handledare
Marcus Petersson, driftteknikker, VA SYD
Elin Ossiansson, processingenjör, VA SYD
Stefan Trobro, universitetslektor i miljö- och vattenteknik, Högskolan Kristianstad

Examinator
Lennart Mårtensson, professor i miljöteknik, Högskolan Kristanstad

Sammanfattning
Denna studie har undersökt omrörningen i flockningsbassängerna på Källby avloppsreningsverk (ARV). Med hjälp av frekvensomriktning går hastigheten på omrörarna att ställa individuellt med målet att uppnå en bättre flockbildning och högre fosforreduktion. Brister i de nu valda omrörningshastigheterna upptäcktes och förändrades till enligt litteraturens korrekta värden. Det gick dock inte dra några slutsatser om hur de nya inställningarna påverkar fosforreduktionen men en onödigt hög kemikaliedosering kan ha legat bakom de låga och inte korrelerande värdena.

Ämnesord
Kemisk fällning, flockning, omrörning, fosfor reduktion, omrörnings hastighet, frekvensomriktning.

Förord

Detta examensarbete i VA-teknik från Högskolan Kristianstad har utförts på Källby avloppsreningsverk i Lund. Jag vill tacka alla på verket som varit både behjälpliga och tillmötesgående. Det har underlättat mitt arbete mycket att ha sådana trevliga människor runt mig. Ett speciellt tack till Elin Ossiansson och Marcus Petersson som varit mina handledare under dessa veckor och stått ut med mina frågor.

Innehållsförteckning

1. Inledning 8
1.1 Syfte 8
1.2 Avgränsningar 8
1.3 Bakgrund 9
1.4 Källby ARV 9
2. Teori 11
2.1 Kemisk fällning 11
2.2 Omrörning i flockningskamrar 12
2.3 Uppehållstider i flockningskamrar 13
2.4 Frekvensomvandlare och utväxling vid omrörning 14
3. Metod och material 15
4. Resultat 16
4.1 Beräkning av uppehållstid 16
4.2 Beräkning av Gt-värden 16
4.3 Frekvensens inverkan på RPM och periferihastigheten 16
4.4 Reduktion av PO_4-P vid förändring av varvtal 17
5. Diskussion 19
6. Slutsatser 21
Referenser 22
Bilaga 1 1

1. Inledning

Kemisk fällning har sedan det introducerades i början på 1900-talet blivit både en vital och grundläggande reningsteknik för såväl avloppsvatten som för dricksvatten. I avloppsvattenrenings sammanhang har metoden framförallt haft betydelse för reduktionen av fosfor och syreförbrukande material (BOD_7) i det inkommande vattnet (Svenskt vatten, 2013a). Just fosfor är essentiellt näringsämne som när det finns ett överskott på kan leda till övergödning av sjöar, hav och vattendrag genom ökad primärproduktion (HaV, 2017). Därför är det av stor vikt att vattnet renas från fosforn innan det kan släppas ut i ett mottagande vatten, en s.k. recipient, utan att störa den ekologiska balansen i denna. Hur mycket fosfor det utgående vattnet får innehålla beror på verkets storlek och lokalisering, och regleras av utsläppskravet i tillståndet givet i enlighet med förordningen för miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (SFS 1998:899).

Som namnet antyder används kemikalier vid kemisk fällning. Målet är att skapa svårlösliga föreningar mellan fällningskemikalien, fosforn och andra partiklar som då bildar större aggregat (flockar). Förloppet går att liknas vid ”snöbolls-effekten” där många mindre partiklar bildar en större. Dessa kan sedan lättare avskiljas i efterföljande seperationssteg (Svenskt vatten, 2013b).

För en tillfredställande och ändamålsenlig flockning är man beroende av bl.a. själva fällningskemikalien, doseringsmängden och vattnets pH-värde, men också rent fysikaliska aspekter så som iblandningsförfarandet och omrörningen (James, 2016). Flera studier har påpekat just omrörningen som starkt avgörande för flockningens utfall (Yu, Gregory, Campos & Li, 2011). Det är under omrörningen som fällningskemikalien får kontakt med partiklarna och de lösta ämnena som sedan kan växa till och bilda stabila flockar.

1.1 Syfte

Denna studie syftar till att undersöka varvtalen på omrörarna i flockningskamrarna på Källby avloppsreningsverk (ARV). Ansatsen är att vara ett hjälpmedel vid konfigurationen av omrörarnas hastighet för att finna optimala varvtal för de olika kamrarna, och på så sätt bidra till en bättre flockning. Mer finkalibrerade varvtal kan förutom leda till ett bättre flockningsförfarande även bidra till en minskad kemikaliedosering om stora brister upptäcks. Även om fosforreningen på Källby ARV fungerar väl och klarar utsläppskraven finns det alltid rum för förbättringar. För inte lång tid sedan installerades frekvensomformare till omrörarna i den kemiska fällningen vilket tillåter en individuell justering dess varvtal. En utvärdering av dess inställningar har dessvärre inte gjorts vilket studien ämnar göra genom att fosfathalten analyseras efter separation vid olika varvtal under flockningen.

1.2 Avgränsningar

Studien omfattar endast Källby ARVs flockningskammare och har utförts under en begränsad tid. Eftersom den kemiska fällningen är avhängig flera olika faktorer kommer de framtagna varvtalen endast vara brukliga för just Källby ARV. Dessa kan också komma att behöva justeras under året p.g.a. variationer i pH, temperatur och inkommande flöde. Studien ges bara rättvisa om den ses som en ögonblicksbild av de förhållanden som råder under provtagningen. Fokus har lagts på flockningskamrarnas omrörare och inte omrörningen som sker vid fällningen. Endast en flockningslinje, av två möjliga, på Källby ARV har studerats. Avskiljningsförfarandet av kemslammet kommer utgå från sedimentation.

1.3 Bakgrund

Stora delar av södra Sverige och Östersjön är drabbat av övergödning. Riksdagens miljökvalitetsmål om varken ”Ingen övergödning” eller ”Levande sjöar och vattendrag” kommer inte att kunna uppnås till år 2020 med nu gällande utsläppstakt (HaV, 2018). Fosfor är ett av de näringsämnen som verkar som tillväxtbegränsande i många akvatiska ekosystem och ställer därför krav om en begränsad tillförsel av ämnet till sjöar och hav. Urlakning och läckage från jordbruket och skogsindustrin är de stora utsläppskällorna av fosfor men även vår avloppsvattenhantering är med och bidrar (SMHI, 2017).

Källby ARV, beläget i södra Lund, drivs och ägs av kommunförbundet VA SYD. Det kan beskrivas som ett konventionellt tre-stegs-reningsverk med mekanisk-, biologisk- och kemiskrening, men med en efterföljande polering i sex stycken seriekopplade bio-dammar. Verket tar emot och behandlar avloppsvatten från drygt 100 000 personer, samt dagvatten från Lunds centralort. Den industriella belastningen är relativt liten och uppskattas motsvara ca 2000 person ekvivalenter (VA SYD, 2017). Recipienten är Höje å vilken mynnar ut i Lomma bukten ca 4 mil väster om verket.

Höje å är kraftigt påverkat av näringsämnen från flera håll, bl.a. intilliggande jordbruksmark. En recipientkontroll utförd år 2016 visade på dålig ekologisk status av näringsämnen på 10 av 16 kontrollpunkter enligt Havs- och vattenmyndighetens författningssamlings statusklassning (HVMFS 2013:19). Övriga kontrollpunkter ansågs måttliga eller otillfredsställande. Av den totala fosfortransporten i Höje å beräknas Källby ARV stå för 16 % (Ekologgruppen, 2017).

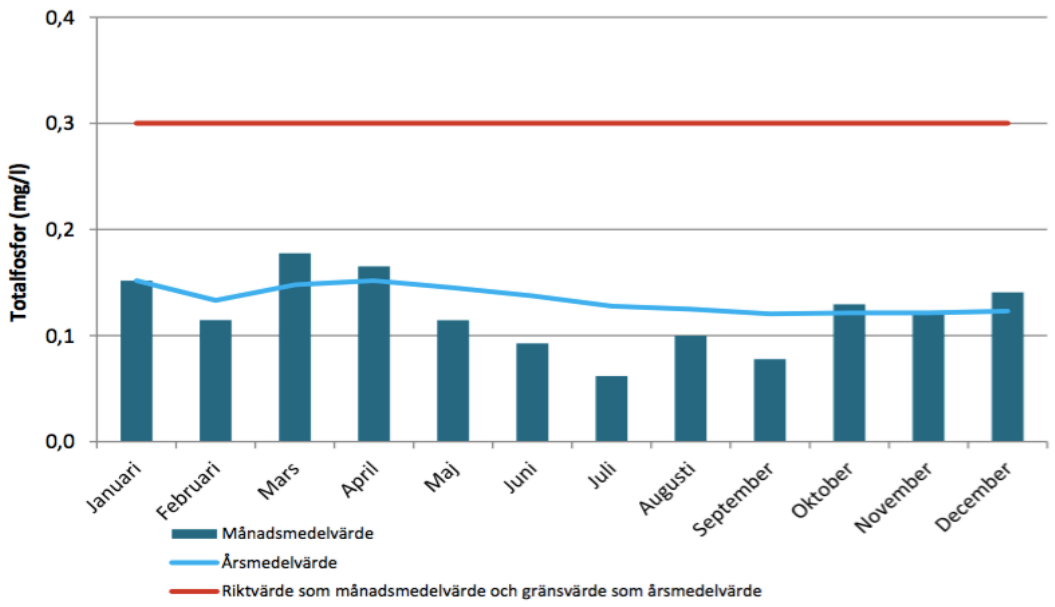
Samtidigt har de svenska avloppsreningsverken minskat sina fosforutsläpp avsevärt med åren och har nu inte sällan en reduktion på mellan 95-99 % (Svenskt vatten, 2016). Detta har sannolikt till stor del den kemiska fällningen att tacka för.

1.4 Källby ARV

Fosforreningen på Källby ARV bedrivs huvudsakligen med kemisk fällning, men även genom bio-P metoden och efterpolering i de ovannämnda bio-dammarna. Bio-P är en metod där man utnyttjar en viss bakteriekultur som har förmågan att ackumulera mer fosfor än vad den kräver för sin egen celluppbyggnad. Av vikt är att man internt återcirkulerar både vatten och slam i den biologiska reningen så att växelvis anaeroba och aeroba zoner uppstår samt att kolkällan i vattnet utnyttjas maximalt. Detta eftersom det gynnar de fosforrenande bakterierna som annars är väldigt känsliga för störningar. En utslagen bio-P process kan ta flera veckor att återskapa (Svenskt vatten, u.å). Konfigurationen för bio-P man använder sig av Källby ARV är den s.k. UCT-processen.

Bio-dammarna i sin tur efterliknar de reningsprocesser som sker naturligt i sjöar där fosfor tas upp av växter och fastläggs i bottensediment. Reningsgraden är i stor utsträckning avhängig uppehållstiden och flödet i dammarna och ses därför endast som ett poleringssteg för ytterligare fosforavskiljning. Ett stort problem med bio-dammarnas avskiljningsgrad är att den minskar drastiskt vintertid då växterna inte längre binder samma mängd fosfor (Johansson, Haneus & Grönlund, 2005).

Utsläppskravet för Källby ARV för totalfosfor är 0,3 mg/l som årsmedelvärde. Figur 1 visar utsläppen under 2016 och det går att avläsa att man underskred detta med relativt god marginal under samtliga månader.

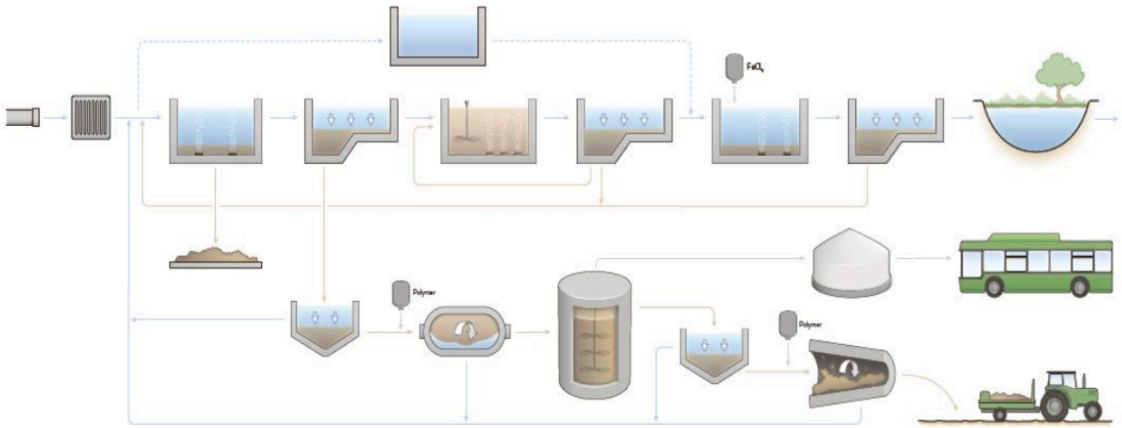


Figur 1. Månad- och årsmedelvärde för totalfosfor i utgående vatten från Källby ARV under år 2016 (VA SYD, 2017). Används med tillstånd.

Emellertid sker den största reduktionen av fosfor i den kemiska reningen. Den kemiska reningsmetoden på Källby ARV är s.k. efterfällning, d.v.s. att fällningen sker efter det biologiska reningssteget. Fällningskemikalien man använder sig av är järn(III)klorid av märket Plusjärn S 314 från producenten Feralco.

Vid efterfällning tillsätts fällningskemikalien vattnet under hög turbulens i en fällningskammare. Vattnet får sedan passera en eller flera flockningskammare där flockbildning sker under omrörning. Flockarna som bildas avskiljs sedan vanligast genom antingen sedimentation, flotation eller filtrering (Svenskt vatten, 2013a). På Källby ARV sker en sedimentation av kemslammet i eftersedimenteringsbassänger innan vattnet får rinna vidare ut i biodammarna. Kemslammet som bildas pumpas sedan i retur till inkommande vatten för att skapa ett blandslam som är lättare att förtjocka och avvattna än rent kemslam. Dessutom kan en viss reduktion av fosforn uppnås redan i försedimenteringen, annat än det som redan avskiljs partikulärt (Svenskt vatten, 2013a).

I figur 2 presenteras ett förenklat processchema över Källby ARV med alla ingående reningssteg.



Figur 2. Förenklat processchema över Källby ARV. Fällningssteget är markerat med $FeCl_3$ (VASYD, 2017). Används med tillstånd.

2. Teori

I teoridelen kommer kemisk fällning som fenomen avhandlas för att ge en djupare förståelse för vad som påverkar reaktionen och dess förlopp. Även litteratur inom omrörning med inriktning på flockning kommer att presenteras för att skapa en uppfattning kring tidigare studier och resultat, samt för att få en teoretisk grund att stå på.

2.1 Kemisk fällning

Avloppsvattenrening kan till stor del beskrivas som en separation av ämnen. Vissa av de ämnen man önskar att avlägsna ur vattnet är så pass små att de inte påverkas av gravitationen i någon större utsträckning, utan istället till största del styrs av ytkemiska krafter och slumpmässiga rörelser, s.k. Browniska rörelser (Persson, 2002). Fosforn som tillförs avloppsreningsverken består både av organisk och oorganisk fosfor. Den organiska delen är huvudsakligen bunden till partiklar i form av kolloider och suspenderad substans. De kolloidala partiklarna har en storlek från 1 nm till 1 µm och är därför så pass små att de inte kan sedimentera av egen kraft (NE, 2018). De har också ofta en starkt negativt laddad yta vilket gör att de repellerar varandra (Adin, 1999). Den oorganiska delen av fosforn är i sin tur löst i vattnet i form av joner, och då vanligast som ortofosfat (PO_4^{3-}). För att kunna avskilja fosforn som finns i dessa former krävs det att man påverkar dess elektrostatiska krafter och får dem att integrerar med varandra och på så sätt bilda större aggregat som kan sedimentera.

Kemisk fällning kan beskrivas som ett paraplybegrepp för en rad processer som äger rum. De två huvuddelarna är koagulering och flockning. Koagulering är synonymt med det som också kort och gott kallas fällning men det verkar inte råda någon konsensus på området vilket begrepp som ska användas (Kemira Kemwater, 2003).

Vid kemisk fällning tillsätts ett fällningsmedel vattnet, vanligast är järn- eller aluminiumsalter innehållande trevärda aluminium- (Al^{3+}) eller järnjoner (Fe^{3+}). Ortofosfatet reagerar med dessa ämnen och bildar då svårlösliga aluminium- eller järnfosfater i form av fosfatpartiklar. Dessutom bildas även metallhydroxider vid reaktionen med vatten vilket fosfatpartiklarna kan fästa vid och tillsammans bildar de flockar. Även de kolloidala partiklarna adsorberas av metallhydroxiden, s.k. svepkaogulering, vilket fungerar som ett nät vilket sveper in partiklarna (Svenskt vatten, 2013a). Fällningskemikaliens positiva nettoladdning neutralisera de negativt laddade fosfatet och partiklarna vilket tillåter en attraktion av ämnena (Kemira Kemwater, 2003).

Reaktionsförloppet vid fällning med järn(III)joner för fosfatfällningen kan beskrivas genom formeln:

$$Fe^{3+} + HPO_4^{2-} \leftrightarrow FePO_4 + H^+ \quad (1)$$

Medan hydroxidfällningen kan beskrivas:

$$Fe^{3+} + 3\,H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3\,H^+ \quad (2)$$

Koaguleringen blir då själva neutraliseringen av partiklarna och fosforn medan flockningen syftar till ansamlingen och bildandet av flockar (Kemira Kemwater, 2003). Båda stegen är viktiga att de fungerar som de ska för en fullgod fosforavskiljning. Koaguleringens resultat är kraftigt beroende av den fällningskemikalie man använder och dess löslighet i förhållande till vattnets pH-värde. Har vattnet för högt eller för lågt

pH-värde riskerar de bildade metallfällningarna att lösas upp igen (Svenskt vatten, 2013a). Som formeln (1) och (2) visar sker en pH-sänkning genom frigörandet av vätejoner vid tillsatsen av metallsaltet vilket kräver en viss buffertkapacitet i vattnet. Även själva tillsatsen av fällningskemikalien har en påverkan då det är under iblandningen som metalljonerna ska binda till de föroreningarna man vill bli av med. Är denna undermålig riskeras att för mycket metallhydroxid bildas vilket har sämre effekt på att fälla ut ortofosfatet. Reaktionen sker inom 1-7 sekunder och har man då en turbulent iblandningszon är det större sannolikhet att metallsalterna finner ortofosfat att binda till än enbart vattenmolekyler (Kemira Kemwater, 2003).

När koaguleringen är avklarad gäller det sedan att de bildade flockarna får chans att växa till sig och bli så pass stora att de kan avskiljas genom sedimentering. Denna aggregering av flockar benämns då flockning och kräver en mer varsam behandling än koaguleringssteget. För att flockarna ska kunna stöta på varandra krävs omrörning i flockningsbassängen. Denna får emellertid inte vara för stark då det riskerar att lösa upp och slå i sönder flockarna, snarare än att föra samman och stabilisera dem (Oregon Health Authority, u.å). Sönderdelade flockar har mycket svårt för att återfå sin forna storlek (Yu, Gregory, Campos & Li, 2011).

2.2 Omrörning i flockningskamrar

Det är i flockningskamrarna som bindandet av flockarna till större aggregat ska ske. Vilken typ av flockar som önskas är avhängigt det separationssteg som man använder sig av men här kommer fokus ligga på sedimentation.

Eftersom sedimentation är en fråga om densitetsskillnader mellan vattnet och de ämnen man vill avlägsna är det fördelaktigt med stora och täta flockar då det ökar sedimentationshastigheten. Empirin talar för att detta bäst uppnås genom flera i seriekopplade flockningskamrar med en avtagande omrörningshastigheten i varje (Svensk vatten, 2013a). De flesta reningsverk använder sig av 2-4 flockningskamrar, ofta försedda med bafflar för att minska turbulensen och förhindra att vattnet tar ”genvägar” i kamrarna (Alemayehu, 2010).

Omrörningen kan vara utformad på olika sätt. Vanligast är med hjälp av grind-, paddel- eller propelleromrörare, men även luftinblåsning kan användas. Huvudsaken är att omrörningen är tillräckligt stark för att skapa god kontaktyta mellan flockarna, utan att för den delen slå sönder dem. Enligt litteraturen bör omrörningen i den första kammaren ha en periferihastighet av 0,4-1,0 m/s medan den sista omröraren högst ska uppnå 0,2 m/s. För låga omrörningshastigheter kan dock medföra att flockarna börjar sedimentera redan i flockningsbassängen och därmed inte avskiljs (Svenskt vatten, 2013a)

Den perifera hastigheten beräknas enligt:

$$\frac{O \cdot RPM}{60} = v \qquad (3)$$

Där: O = Omkrets av omröraren (m) RPM = Varv per minut (RPM)

v = Periferihastighet (m/s)

En alternativ metod för beräkning av erforderlig omrörningskapacitet är den s.k. hastighetsgradienten, även kallat G-värdet. G-värdet beskriver det mått på den energi som tillförs ett system vid omrörning (Persson, 2002). Det går att ses som den mängd skjuvning som pågår i vattnet, där ett högre G-värde ger en mer turbulent omrörning med fler kollisioner mellan flockarna. Kritik mot metoden har dock riktats då den inte tar i beaktning omrörarens utformning och bör endast ses som rent approximativ (Persson, 2002).

G-värdet vid flockning av avloppsvatten anses ska ligga mellan 20-100 s^{-1} (Alemayehu, 2010., James, 2013). Grundekvationen ser ut som följer:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \tag{4}$$

Där: G = Hastighetsgradienten (s^{-1}) P = Omrörarens kraft (W)

μ = Vattnets viskositet (kg/ms) V = Kammarens volym (m^3)

Genom att strukturera om ekvation (4) går det om man vet vilka G-värden som önskas beräkna omrörarens kraft uttryckt i watt istället:

$$P = G^2 \cdot \mu \cdot V \tag{5}$$

G-värdet bör avta för varje kammare och kan bestämmas med hjälp av s.k. ”*jar-tests*” i laboratorieskala där man simulerar flockningen under kontrollerad omrörning.

2.3 Uppehållstider i flockningskamrar

Förutom parametrar som fällningskemikalier och omrörning krävs även en viss uppehållstid i flockningskamrarna för att flockarna ska hinna växa sig stora. Ju längre tid flockarna har chans att kollidera med varandra, desto större chans är det att tillräckligt många kollisioner sker. På samma sätt som med omrörningen är detta dock en avvägning då för många ”krockar” när flockarna är tillräckligt stora kan medföra att de går i sönder (Svenskt vatten, 2013a).

Uppehållstiden i en bassäng kan beräknas relativt enkelt om man vet bassängens volym och det inkommande flödets storlek genom formlen:

$$t = \frac{V}{q} \tag{6}$$

Där: t = Uppehållstiden (min) V = Kammarens volym (m^3)

q = Flödet in i kammaren (m^3/min)

Litteraturen går lite isär om hur lång uppehållstid man bör ha i flockningskamrarna. Svenskt vatten (2013a) anger 10-20 minuter medan Alemayehu (2010) förespråkar 20-30 minuter.

Även hastighetsgradienten (G) går att kombinera med uppehållstiden (t) för att få fram det dimensionslösa Gt-värdet. Även detta värde har kritiserats för att vara allt för grovt och ge ett allt för stort spann för att vara fullt använtbart (Persson, 2002). Genom att räkna fram en medelhastighetsgradient (G_m) för flockningskamrarna och multiplicera detta med uppehållstiden får man fram Gt-värdet vilket bör ligga mellan 20 000 och 150 000 för avloppsvatten (Wang, Hung & Shammas, 2005).

Medelhastighetsgradienten räknas ut genom att addera de olika hastighetsgradienterna och sedan dela med antalet:

$$\frac{G1+G2+G2}{3} = G_{\mathrm{m}} \tag{7}$$

Kombineras sedan ekvation (6) och (7) får man:

$$Gt = G_m \cdot t \cdot 60 \tag{8}$$

Gt-värdet ger en större inblick i antalet kollisioner mellan flockarna man faktiskt får eftersom det även beaktar tiden flockarna uppehåller sig i kamrarna. Eftersom många parametrar på ett redan designat avloppsreningsverk är statiska blir denna beräkning i denna studie enbart för att belysa eventuella begränsningar i flockningen.

2.4 Frekvensomvandlare och utväxling vid omrörning

Frekvensomvandlare används när man vill kunna variera flöden vid t.ex. pumpning och omrörning (Pump Portalen, 2018). Genom att förändra frekvensen (Hz) på en växelspänning till en annan frekvens påverkar man omrörarens prestanda, och därmed sänks varvtalet. Varvtalet påverkar i sin tur flödet som omröraren ger upphov till. Sambandet förklaras av första affinitetslagen som gör gällande att:

$$\frac{n1}{n2} = \frac{q1}{q2} \tag{9}$$

Där: n = Varvtalet (RPM) q = Flödet (m^3/s)

Vid förändring av frekvensen av växelspänningen till omrörarna är det därför möjligt att påverka den perifera hastigheten enligt ekvation (3).

Det är inte heller ovanligt att en omrörares motor är kopplad till en växellåda för att minska varvtalet på axeln som styr propellern. Växellådan bestämmer då utväxlingen av motorns varvtal till själva omröraren. Minskat varvtal ökar dragkraften, medan ökat varvtal minskar den. Då växeln endast har ett läge bestämmer motorns varvtal därmed också växelns varvtal proportionellt.

3. Metod och material

Projektet har bedrivits dels som en litteraturstudie i ämnet kemisk fällning, och dels genom provtagningar på Källby ARV. Litteraturstudien har lagt emfas vid flockningen vid kemisk fällning samt omrörningens påverkan av flockbildningen och fosforreningen. Beräkningarna bygger på vedertagna metoder med beprövad empiri. Här har dock även intervjuer med branschfolk och sakkunniga inom området varit behjälpliga.

Provtagningen har skett i linje 2 (KAK2) av den kemiska fällningen på Källby ARV då omrörarna i denna hade tillgängliga frekvensomvandlare att ställa in. Provtagningen skedde i både fällningskammaren samt de tre efterliggande flockningskamrarna enligt bilaga 1. 100 ml vatten togs från varje punkt med ett kort intervall och lämnandes till Källby ARVs interna laboratorium som analyserade PO_4-P (fosfatfosfor) koncentrationen genom filtrering och spektrofotometer. Spektrofotometri är en metod där man belyser provet med ljus vid olika våglängder och sedan mäts hur mycket ljus som absorberas av provet. Alla ämnen har en unik våglängd där mest ljus absorberas och genom att analysera denna absorbans kan man sedan beräkna ämnets koncentration (Solunetti, 2018).

Genom att testa olika hastigheter på omrörarna och därefter mäta PO_4-P i de olika kamrarna var ansatsen att se hur omrörningen påverkade upptaget av löst fosfor och bindandet av detta till flockar. Då proverna filtrerades är det endast den fortfarande lösta mängden PO_4-P som mäts och där med även reduktionen i varje kammare. Hade totalfosforn undersökts hade det krävts att man tagit prover på vattnet efter sedimenteringen då denna inte påverkas av själva flockbildningen utan reduktionen syns snarare efter separationssteget, d.v.s. sedimenteringen.

Omrörarna som finns i kammarna är av propellertyp och har en diameter på 1,8 m. Motorn ger ett varvtal på 1380 RPM vid 50 Hz. Vid utväxling motsvarar detta 19 RPM på axeln till omrörana enligt specifikationer från tillverkarna. Detta kontrollerades även ute på plats genom mätning av antal varv under en minut som axeln roterade. En skiss över omröraren går att se i bilaga 2. Motorn är dock inte densamma men övriga dimensioner stämmer.

Provtagningen genomfördes under 4 dagar v. 20, 2018, och flöden samt pH-värden kontrollerades genom Källby ARVs processtyrningsprogram Uniview. Provtagningspunkterna och de olika varvtals ändringarna har valts att kallas:

- Flockningskammare 1 K1
- Flockningskammare 2 K2
- Flockningskammare 3 K3
- Förinställt varvtal (Default) D
- Varvtals ändring 1 V1
- Varvtals ändring 2 V2
- Varvtals ändring 3 V3

4. Resultat

Resultatdelen är uppdelad efter de olika parametrarna som studien undersökt. Detta kommer sedan mynna ut i en diskussion om vad resultaten visar och hur omrörningen bör ställas.

4.1 Beräkning av uppehållstid

Bygger på ekvation (6) och flödet är uppmätt i Uniview som dygnsmedelvärde för inkommande avloppsvatten till KAK2 under perioden 2018-05 till 2017-12. Volymen är beräknad utifrån angivna mått och gäller för alla tre flockningskamrarna:

q = 0,175 m^3/s = 630 m^3/h v = (5,3 · 5,3 · 4,35) · 3 = 366,6 m^3

$$t = \frac{v}{q} = \frac{366{,}6}{630} = 0{,}582\ h \qquad t = 0{,}582\ h \cdot 60 = 35\ min \qquad (6)$$

4.2 Beräkning av Gt-värden

Hastighetsgradienten har inte kunnat undersökas utan beräkningen är till för att påvisa omrörningens påverkan av flockningen i förhållande till uppehållstiden. Uppehållstiden är svårare att modifiera då det inte går att styra inkommande flöde eller kamrarnas storlek. G-värdena är hämtade ifrån litteraturen och är satta efter medelvärden för tre flockningskamrar:

Kammare 1 (G1): 90 s^{-1} Kammare 2 (G2): 60 s^{-1} Kammare 3 (G3): 30 s^{-1}

$$G_m = \frac{90+60+30}{3} = 60\ s^{-1} \qquad (7)$$

$$Gt = 60 \cdot 35 \cdot 60 = 126\ 000 \qquad (8)$$

Gt-värdet faller inom intervallet 20 000 – 150 000.

4.3 Frekvensens inverkan på RPM och periferihastigheten

Vid full frekvens (50 Hz) på motorn ges varvtalet 19 RPM på omrörningen i varje kammare:

50 Hz ⇔ 19 RPM

Detta betyder att för varje Hz som sänks minskas RPM med 0,38:

1 Hz = 0,38 RPM

Varvtalet är då beroende av Hz enligt:

$$\frac{x(RPM)}{0{,}38} = Y(Hz)$$

Periferihastigheten beräknas enligt formeln (3) och är avhängig omkretsen av omrörarens propeller:

Omkretsen (O) $= 2 \cdot \pi \cdot r$

Radien (r) $= \frac{D}{2}$ Diametern (D) = 1,8 m

Omkretsen blir då:

$$O = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} = 5{,}652\ m$$

Tabell 1 visar beräknat varvtal efter olika val av periferihastigheter med en omkrets på 6,652 m.

Tabell 1. Visar periferihastigheten för olika varvtal av omrörningen enligt ekvation (3).

	K1	K2	K3
D	10,6 RPM (1 m/s)	10,5 RPM (0,99 m/s)	6,6 RPM (0,62 m/s)
V1	8,5 RPM (0,8 m/s)	5,4 RPM (0,5 m/s)	2.2 RPM (0,2 m/s)
V2	8,0 RPM (0,75 m/s)	4,3 RPM (0,4 m/s)	1,6 RPM(0,15 m/s)
V3	5,4 RPM (0,5 m/s)	3,2 RPM (0,3 m/s)	1,1 RPM (0,1 m/s)

Då frekvensen inverkan på varvtalet är känt kan man välja olika frekvenser för önskad periferihastighet. Tabell 2 bygger på värdena från tabell 1 och visar inställningarna på frekvensomriktarna för att uppnå dessa värden.

Tabell 2. Visar omräknad frekvens för frekvensomriktarna vid (50Hz = 19RPM) för att uppnå periferihastigheterna enligt tabell 1.

	K1	K2	K3
D	28 Hz	27,5 Hz	17,5 Hz
V1	22,4 Hz	14,2 Hz	5,8 Hz
V2	21,0 Hz	11,3 Hz	4,2 Hz
V3	14,2 Hz	8,4 Hz	2,9 Hz

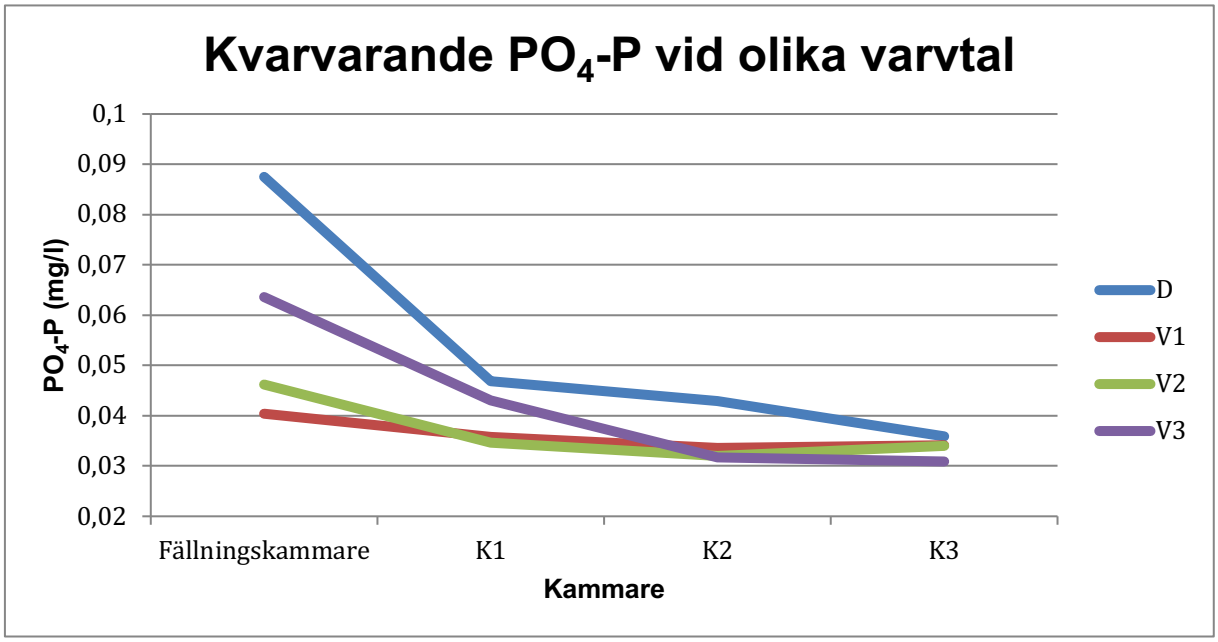
4.4 Reduktion av PO_4-P vid förändring av varvtal

Tabell 3 visar resultaten från provtagningarna vid de olika varvtalsändringarna. Eftersom inkommande fosforhalt varierar togs ett referensprov i fällningskammaren för att kunna påvisa själva reduktionen i varje steg. Fällningskammarens värde benämns därför alltid med 100 % för att vara en jämförelse.

Tabell 3. Visar uppmätt PO_4-P vid provtagningen i de olika kamrarna samt kvarvarande halt i procent efter varje steg.

	Fällningskammare	K1	K2	K3
D	0,0875 mg/l – 100 %	0,0469 mg/l – 53,6 %	0,0439 mg/l – 50,2 %	0,0359 mg/l – 41,0 %
V1	0,0404 mg/l – 100 %	0,0358 mg/l – 88,6 %	0,0336 mg/l – 83,2 %	0,0341 mg/l – 84,4 %
V2	0,0462 mg/l – 100 %	0,0347 mg/l – 75,1 %	0,0320 mg/l – 69,2 %	0,0340 mg/l – 73,6 %
V3	0,0636 mg/l – 100 %	0,0431 mg/l – 67,7 %	0,0317 mg/l – 49,8 %	0,0309 mg/l – 48,6 %

Figur 3 ger en mer överskådlig bild av reduktionen utifrån tabell 3. Den största reduktion fås redan mellan fällningskammaren och den första flockningskammaren. Resultatet från provtagningen visar att den största reduktionen skedde vid både de högsta varvtalen (D) och vid de lägsta (V3), från 100 % ned till 41,0 % respektive 48,6 %. I den sista kammaren (K3) är koncentrationen av PO_4-P relativt lika, med ett spann från 0,0359 mg/l till 0,0309 mg/l.



Figur 3. Visar förändringen av PO_4-P i de olika kamrarna efter resultatet vid provtagningen.

5. Diskussion

Något överraskande visade provtagningen av fosfathalter vid de olika varvtalsjusteringarna inga samband mellan hastigheterna och reduktionen av fosfat. Hypotesen var att vid lägre varvtal skulle bättre flockbildning öka upptaget av fosfat som då skulle minska det fria fosfatet i vattnet. Tilläggas bör dock att fosfathalterna redan i fällningskammaren är mycket låga, mellan 0,0875 mg/l och 0,0404 mg/l. Svenskt vatten (2013a) anger att normalvärdena för PO_4-P för kemiskt renat vatten efter sedimenteringssteget är 0,1-0,2 mg/l. Detta uppnås alltså med god marginal redan i flockningsbassängerna som vid provtagningen låg på utgående värden runt 0,0340 mg/l. En fråga man bör ställa sig är då om järnkloridsdoseringen är för hög och då blir omrörningshastigheterna inte lika viktiga. Oavsett varvtal på omrörarna och koncentration i flockningskammaren uppnås utgående halter mellan 0,0359 och 0,0309 mg/l, d.v.s. en skillnad på endast 0,005 mg/l. Ofta kan man kompensera en dålig flockbildning med en ökad kemikaliedosering (Svenskt vatten, 2013a). Detta medför då istället onödiga kostnader för kemikalier och även högre metallhalt i kemslammet.

Kritik måste dock riktas mot provtagningsfrekvensen. För att kunna säkerställa reduktionen och omrörningshastighetens inverkan hade fler prover behövts analyserats. Detta begränsades p.g.a. Källby ARVs laboratorium som inte hade varken tid eller möjlighet att ta emot fler prover vilket sänker tillförlitligheten av studien. Ett ”*jar-test*” hade varit intressant att utföra för att kunna utvärdera omrörnings inverkan på flockbildningen. I detta hade man kunna ställa omrörningen olika under kontrollerade former och även styra kemikaliedoseringen i förhållande till omrörningshastigheten. Hade mer tid och möjlighet funnits hade även flockstorleken kunnat undersökas genom mikroskoperingen för att jämföra dess storlek vid varvtalsjusteringar. Eftersom man använder sig av sedimentation som separationssteg är det än mer viktigt att flockarna är tillräckligt stora och att de inte slås sönder i den sista flockningskammaren.

Om man bortser från resultaten vid provtagningen och tittar på vad litteraturen säger så har Källby ARV använt sig av högre varvtal än vad som anges. Vid varvtal D låg K1 och K2 på hastigheter nära 1 m/s vilket anges vara maxvärdet i första kammaren. Likaså var K3 vid D tre gånger så högt än vad som borde tolereras. För att nå de hastigheter som anses ligga inom spannet för omrörningen bör V3 användas. Dessvärre ställer detta högre krav på växellådorna. Eftersom växellådornas kylning styrs av en fläkt som är beroende av axelns rotation riskerar dessa att bli överhettade vid så låga varvtal. I samtal med el-ansvarig på Källby ARV (L-E. Svensson, personlig kommunikation, 21 maj, 2018) bör inte frekvensen på frekvensomriktarna ställas lägre än 7-8 Hz under en längre tid för att inte riskera överhettning. Det lägsta varvtalet skulle med denna vetskap i beaktning då bli 2,7 RPM, vilket motsvarar 0,25 m/s i periferihastighet. Svenskt vatten (2013a) anger att den högsta hastigheten i sista kammaren bör vara 0,2 m/s vilket är något lägre än det som är praktiskt möjligt att uppnå.

Använder man sig av Gt-värdet som en metod för att diskutera omrörningen så ställer det även krav på uppehållstiden i flockningskamrarna. Eftersom denna får anses hög (35 min) i förhållande till de 10-30 minuterna som det hänvisas till i litteraturen så blir lägre omrörningshastigheter av än större vikt. Då G-värdena inte gått att undersöka har det antagits att de värden som hastighetsgradienten borde ha (100-20 s^{-1}) motsvarar inom rimlighetens gränser samma värden som omrörningshastigheterna uppgetts till. Där 100 s^{-1} i G-värde så fall borde representera ca 1 m/s periferihastighet. Även om det inte är en helt rättvis jämförelse så ger den ändå en fingervisning om att har man en lång uppehållstid i flockningskamrarna, bör man ha en lägre hastighet på omrörarna. Då

flödet varierar över både tid på dygnet och veckodag ändras självklart också uppehållstiden. Detta medför då att omrörningen borde vara högre vid hög-flöden och lägre vid låg-flöden för att uppnå bästa resultat.

6. Slutsatser

Under studiens gång visade det sig att de förinställda varvtalen i KAK2 inte stämde överens med vad litteraturen anger som bör-värden. Fosfatmätningarna visade dock att man inte kunde dra någon slutsats av reduktionen PO_4-P och varvtalen. Metoden kan kritiseras för bristfällig men kemikaliedoseringen kan ha spelat roll för utfallet. De redan mycket låga fosfathalterna kan också gjort att omrörningens oprecisa hastighet haft för lite inverkan för att synas. Enligt litteraturen borde varvtalen sänkas både med tanke på Gt-värden och omrörarnas periferihastighet. Dessvärre är det praktiskt omöjligt att komma ner så lågt i varvtal som det erfordras utan att riskera att växellådorna blir överhettade. En diskussion om dessa bör bytas ut till nya växellådor kan vara på plats. En initial rekommendation om att sänka frekvensen kan dock ges där inställningarna förslagsvis bör ställas med tanke på avtagande omrörning, lång uppehållstid och växellådornas kylning, enligt:

- K1: 14 Hz – 0,5 m/s
- K2: 11 Hz – 0,4 m/s
- K3: 7,5 Hz – 0,27 m/s

I samband med denna varvtalsändring kan man också prova att sänka kemikaliedoseringen och utvärdera ifall man uppnår samma utgående värde av total-fosfor.

Referenser

Adin, A. 1999. Particle characteristics: A key factor in effluent treatment and reuse. *Water science and technology*, 40:4/5.

Alemayehu, A. 2010. *Coagulation and flocculation – Water treatment course*. Adis Adeba University. Tillgänglig: https://aaucivil.files.wordpress.com/2010/10/wt-chapter-5.pdf (2018-05-16).

Ekologgruppen. 2017. *Höje å – Recipientkontroll 2016.* Tillgänglig: http://www.hojea.se/rapporter/Hoje_aa_SRK_aarsrapport_2016.pdf (2015-05-07).

HaV. 2017. *Övergödning*. Tillgänglig: https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/overgodning.html (2018-05-07).

HaV. 2018. *Sveriges miljömål – Ingen övergödning*. Tillgänglig: http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/ (2015-05-07).

HVMFS 2013:19. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19) om klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.

James, B. 2013. *Selecting A Waste Water Mixer for Wastewater Treatment – Part 2.* Tillgänglig: http://www.dynamixinc.com/wastewater-treatment-mixers-part-2 (2018-05-16).

James, B. 2016. *Agitator design for wastewater clarification – Clarification on coagulation.* Tillgänglig: http://www.dynamixinc.com/waste-treatment-part-1 (2018-05-07).

Johansson, E., Haneus, J., & Grönlund, E. 2005. *Fällningsdamm och biodamm – fällningsdammar med avstängd dosering sommartid*. VA-Forsk rapport nr 2005-18. Stockholm: Svenskt vatten.

Kemira Kemwater. 2003. *Konsten att rena vatten.* Helsingborg: Kemira Kemwater.

NE. 2018. *Kolloid*. Tillgänglig: https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kolloid (2018-05-15).

Oregon Health Authority. U.å. *Flocculation*. Tillgänglig: http://www.oregon.gov/oha/PH/HEALTHYENVIRONMENTS/DRINKINGWATER/OPERATIONS/TREATMENT/Documents/Flocculation.pdf (2018-05-15).

Persson, E. 2002. *Laboratory method for evaluation of Aquaflock for wastewater treatment*. Examensarbete. Lund: Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för Vattenförsörjning- och avloppsteknik.

Pump Portalen. 2018. *Frekvensomvandlare*. Tillgänglig: http://www.pumpportalen.se/frekvensomvandlare/ (2018-05-16).

SFS 1998:899. *Förordningen (1998:899) om miljöfarligverksamhet och hälsoskydd. Stockholm*: Miljö- och energidepartementet.

SMHI. 2017. *Källor till övergödning*. Tillgänglig: https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/kallor-till-overgodning-1.6011 (2018-05-09).

Solunetti. 2018. *Spektrofotometer*. Tillgänglig: http://www.solunetti.fi/se/solubiologia/spektrofotometria/ (2018-05-17).

Svenskt vatten. U.å. *Vad är bio-P?* Tillgänglig: http://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/reningsverk-och-reningsprocesser/biologisk-fosforrening.pdf (2018-05-09)

Svenskt vatten. 2013a. *Avloppsteknik 2 – Reningsprocessen*. Publikation U2. Stockholm: Svenskt vatten.

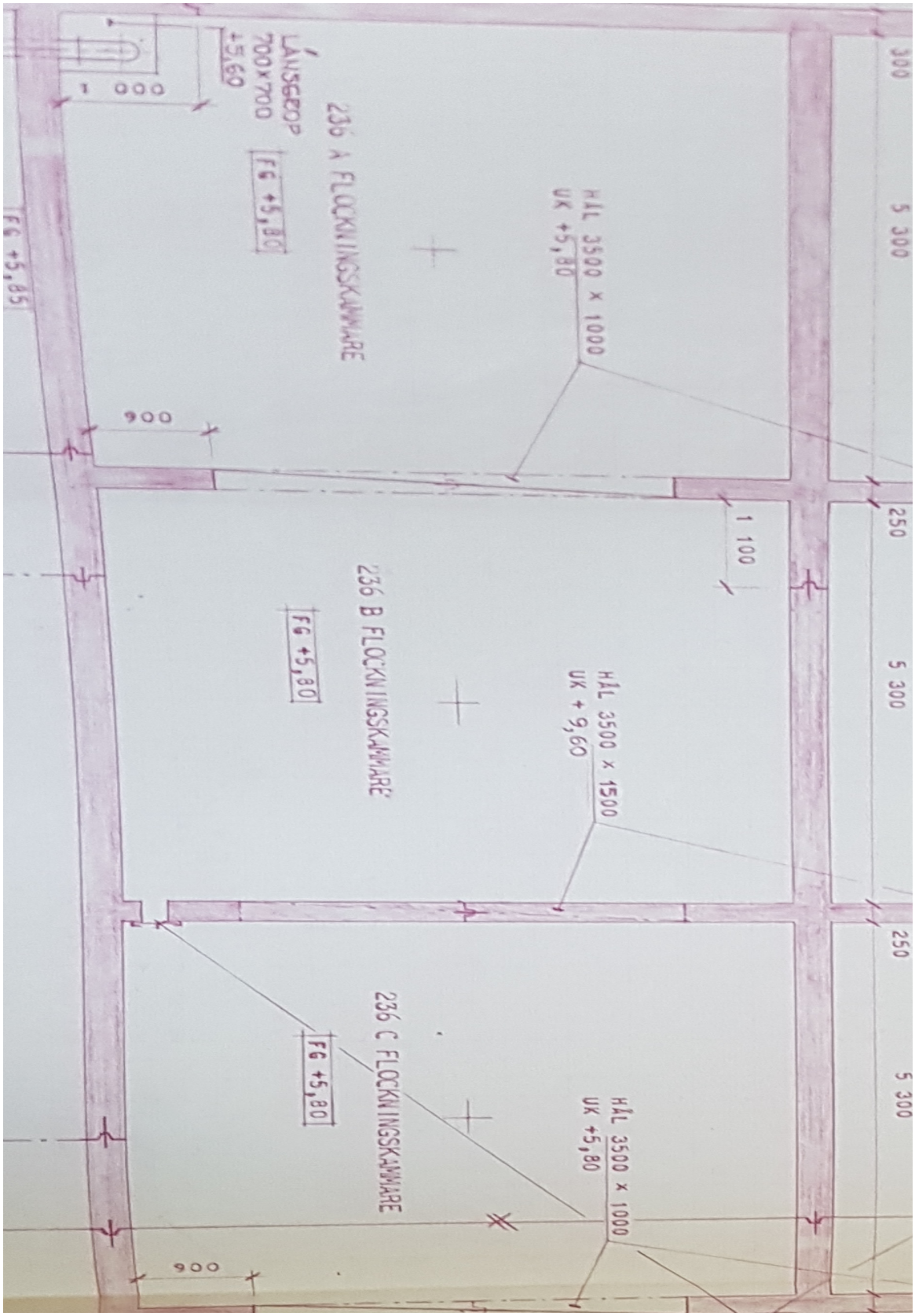
Svenskt vatten. 2013b. *Avloppsteknik 1 – Allmänt.* Publikation U1. Stockholm: Svenskt vatten.

VA SYD. 2017. *Källby avloppsreningsverk, Lund - Miljörapport 2016*. Lund: VA SYD.

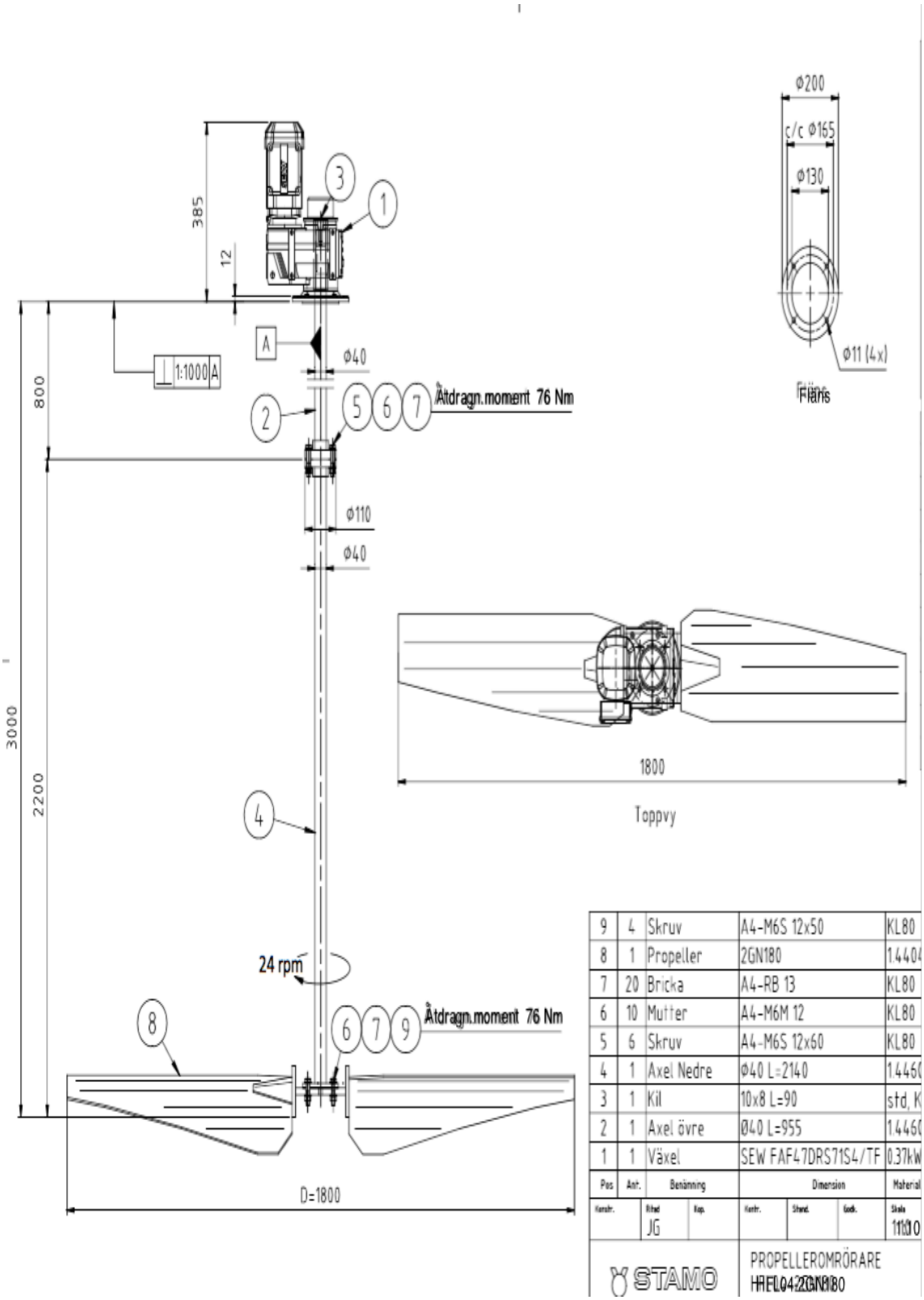
Wang, L., Hung, Y-T., & Shammas, N. *Physiochemical Treatment Processes*. New York: Human Press.

Yu, W. Z., Gregory, J., Campos, L., & Li, G. 2011. The role of mixing conditions on floc growth, breakage and re-growth. *Chemical Engineering Journal*, *171*(2), 425-430.

Bilaga 1



Figur 1. Skiss över flockningskammarna på KAK2. Krysset i mitten på varje flockningsbassäng markerar omrörarens position och även provtagningsplatsen. Eget foto från ritning av VA SYD. (Används med tillstånd)



Figur 2. Skiss över omrörarna i flockningskammrarna på KAK2. Dimensionerna stämmer, dock är motorn kraftigare på denna skiss än de som finns på plats. Varvtalet är 19 och inte 24 RPM vid 50 Hz. Skiss hämtad från VA SYD. (Används med tillstånd)