



Effektivare fällning vintertid vid vattenverk med höga humushalter i råvattnet

2013-02-09

Effektivare fällning vintertid vid vattenverk med höga humushalter i råvattnet

2013-02-09

Beställare: Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm

Beställarens representant: Daniel Hellström

Konsult: Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Uppdragsledare: Dilip Roy
Handläggare: Lina Hylt, Andreas Tengström, Dilip Roy och
Kajsa Engblom

Uppdragsnr: 1013211

Filnamn och sökväg: n:\101\32\1013211\w\svurapport\utkast\slutrapport till sv
vatten\leverans\rapport-slugtig 2013.docx

Kvalitetsgranskad av: Britt-Marie Wilén (Chalmers Tekniska Högskola),
Dilip Roy

Tryck: Norconsult AB

Förord

Under hösten 2008 hade Kristinehamns om- och tillbyggda vattenverk vid Sandköping färdigställt och tagits i drift, varpå det visade sig att optimering av driften medförde vissa svårigheter. Aluminiumresten och alkaliniteten på det utgående vattnet var inte i linje med önskad vattenkvalitet. Dessutom blev det svårare och svårare att trimma in processen ju närmare vintern kom och råvattentemperaturen blev allt kallare. Efter samtal med ett antal kommuner med liknande problem vintertid uppkom idén om ett gemensamt projekt för att undersöka problematiken och pengar söktes hos Svenskt Vatten Utveckling.

Författare till denna rapport har varit Dilip Roy, Kajsa Engblom, Lina Hylt, Andreas Tengström och Britt-Marie Wilén men projektet har i huvudsak utförts som ett examensarbete av Lina Hylt och Andreas Tengström vid Institutionen för Bygg och Miljöteknik, Chalmers. En viss omarbetning har gjorts efter examensarbetets slutförande, men huvudarbetet har Lina och Andreas stått för då de genomfört alla försök och samt stått för behandling och analys av data samt textbearbetning för examensarbetet.

Givande möten har genomförts i projektgruppen under året för att komma vidare med försöken och diskutera framtaget material. Medverkande har varit Eva Larsson och Anita Larsson från Kristinehamns kommun, Mats Strand från Karlskronas kommun, Åke Andersson och Stefan Lund från Lerums kommun. Britt-Marie Wilén vid Institutionen för bygg och miljöteknik, Chalmers (även handledare för examensarbetet) samt Mattias Feldhusen från Nordic Water Products har deltagit i projektet.

Författarna vill tacka de deltagande kommunerna för tillhandahållande av material, både i form av råvatten att utföra försöken på, drift- och processdata och värdefulla synpunkter och kommentarer.

Göteborg, 2012-08-06

Dilip Roy

Innehållsförteckning

Förord	3
1. Sammanfattning	6
2. Inledning	8
2.1 Bakgrund	8
2.2 Syfte och mål	9
2.3 Metod	9
2.4 Avgränsningar	10
2.5 Gällande föreskrifter och rekommendationer	10
3. Litteraturstudie	12
3.1 Kemisk fällning	12
3.2 Krita och kolsyra	14
3.3 Kemisk fällning med krita-kolsyra	18
3.4 Kemisk fällning i kontinuerliga filter	19
4. Beskrivning av vattenverken	20
4.1 Allmänt	20
4.2 Karlskrona vattenverk	21
4.3 Sandköpings vattenverk, Kristinehamn	29
4.4 Lerum vattenverk	36
4.5 Jämförelse av processen vid de olika verken	39
5. Metodtest Lerum	40
6. Försöksomgång I: Löslighet av krita och aluminiumrest	41
6.1 Försöksbeskrivning	41
6.2 Resultat försöksomgång 1	43
7. Försöksomgång II: Undersökning av aluminiumrest	58
7.1 Genomförande	59
7.2 Resultat	60
8. Diskussion	75
8.1 pH	75
8.2 Temperatur	76
8.3 Uppehållstid och omrörningshastighet	77
8.4 Alkalinitet och krita	77
8.5 Fällningskemikalie	78
8.6 Aluminiumrest	79
8.7 TOC	80
8.8 Osäkerheter/begränsning i utredningen	80
8.9 Alternativprocess	81
9. Slutsatser	83

Bilagor

Bilaga 1	Beskrivning av DynaSandfilter
Bilaga 2	Processschema Karlskrona vattenverk
Bilaga 3	Processschema Sandköpings vattenverk, Kristinehamn
Bilaga 4	Processschema Öxsjöverket, Lerum
Bilaga 5	Försöksuppställning försöksomgång I
Bilaga 6	Försöksuppställning försöksomgång II
Bilaga 7	Resultat försöksomgång I
Bilaga 8	Resultat försöksomgång II

1 Sammanfattning

Flera vattenverk i Sverige har under vintertid problem med vattenreningen. Problemen uppträder i kallt vatten och resulterar i sämre resultat med avseende på framförallt aluminiumrest och avskiljning av organiskt material/humus. I denna studie har Karlskronas, Kristinehamns och Lerums vattenverk ingått. Vattenverken har likartade reningsprocesser men olika råvatten. Kristinehamn och Karlskrona har haft problem med reningsprocessen, medan Lerum inte har haft några problem och är med som referensobjekt. Kristinehamn och Karlskrona doserar lut vintertid istället för krita och kolsyra för att förhindra förhöjningen av aluminiumrest som annars uppstår.

Det övergripande målet med detta projekt är att avgöra vad som stör den kemiska fällningen med polyaluminiumklorid (PAC) i vattenverken och hur problem med kritans löslighet (pH-justering och alkalinitetshöjning) är relaterade till höga aluminiumrester efter filtrering.

Målet med projektet har uppnåtts genom litteraturstudier, råvattenanalyser, studier av råvatten och processdata samt fällningsförsök med krita och fällningskemikalier i bägarförsök. I en första försöksomgång fastställdes de viktigaste faktorerna som påverkar kritans löslighet och samverkan med fällningskemikalien. En andra försöksomgång försökte besvara hur humusreningen påverkas och hur höga aluminiumresthalter är relaterade till olika andel av löst krita.

Resultaten visar följande:

- Vattentemperatur och pH-nivå förefaller vara överordnade råvattenkvaliteten för aluminiumresthalten i vattnet samt kritans upplösningshastighet.
- Alkaliniteten tycks emellertid även ha en viss påverkan på både kritans upplösningshastighet och aluminiumresten.
- Kritans upplösningshastighet är långsammare och aluminiumresthalterna högre i vatten med temperaturen 0,5 °C jämfört med 15 °C. Detta beror sannolikt på ökad aktiveringsenergi i kallt vatten och lägre flockningshastighet, som i sin tur är orsakad av ökad viskositet.
- Vattnets pH-värde verkar vara den enskilt viktigaste faktorn för kritans upplösningshastighet. Upplösningshastigheten ökar när pH-värdet minskar.
- Optimalt fällnings-pH är cirka 6,0 – 6,5. En ökad kemikaliedosering medför att aluminiumresten blir lägre om fällnings-pH hålls konstant inom ramarna för optimalt fällnings-pH. Annars uteblir de positiva effekterna av ökad dosering av fällningskemikalie.
- Olösta partiklar av krita verkar inte förorsaka höga aluminiumrester.

- Istället tyder försöken i denna studie på ökade nivåer av aluminiumrester vid större andel löst krita i vattnet. Bakomliggande orsaker till detta kan vara att positiva kalciumjoner ersätter aluminiumjoner på negativa kolloidytor, men också att aluminiumjoner lossnar från kolloidytor när kolloider bildar större aggregat.

Resultaten avseende TOC-reduktion har i försöken inte påverkats av temperatur eller krita-upplösningsgrad. Storleken på TOC-reduktionen tycks enligt försöken endast bero på mängden tillsatt fällningskemikalie och TOC-halten i råvattnet. Karlskrona, som haft problem med TOC-reduktionen, har stor och snabb variation av TOC-halten under och mellan åren. De snabba variationerna av TOC-halten orsakar troligtvis styrproblem för kemikaliedoseringen.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

Många vattenverk i Sverige får tillfälliga problem med vattenbehandlingen under delar av den kalla årstiden när råvattnet är mycket kallt. I detta projekt studeras tre vattenverk med liknande behandling; Sandköpings vattenverk i Kristinehamn, Öxsjöverket i Lerum samt Karlskronas vattenverk. Vattenverken i Karlskrona och Kristinehamn har under de senaste vintrarna haft problem med processteget kemisk fällning. Problemen har enligt kommunerna varit bristande löslighet av krita och förhöjda aluminiumhalter efter den kemiska fällningen. Båda vattenverken har utfört förändringar i dosering av ingående kemikalier, men inga entydiga resultat har uppnåtts. I både Kristinehamn och Karlskrona har byte av kritadosering till lutdosering gett lägre aluminiumresthalt. Karlskrona har även haft problem med förhöjd TOC-halt.

Lerums vattenverk har däremot inte haft några problem avseende den kemiska behandlingen av vattnet. I Lerum har omfattande tester med olika kemikalier utförts tidigare, vilket har givit en god kunskap om vattenverket som därför inkluderats i projektet som referensobjekt.

Vid de undersökta vattenverken används aluminiumbaserade fällningskemikalier för att fälla ut humus. Målet är att tillsätta fällningskemikalie i lagom mängd så att föroreningarna kan fälla ut, utan att resthalter av fällningskemikalien följer med det renade dricksvattnet till abonnenterna.

För en effektiv kemisk fällning ställs krav på pH och alkalinitet. De utvalda vattenverken använder krita-kolsyra för att höja pH, alkalinitet och hårdhet på vattnet. Bristande funktion vid krita-kolsyrasteget kan påverka den kemiska fällningen negativt men även faktorer i råvattenkvaliteten, såsom temperatur och färg, kan påverka. Problem som uppstått avser framförallt för hög aluminiumhalt i det utgående dricksvattnet.

Livsmedelsverket har satt krav på mikrobiologiska barriärer vid vattenverk. Kemisk fällning är en sådan barriär men den måste fungera väl för att praktiskt fungera. Vid bristande reduktion i den kemiska processen riskerar mikroorganismer att passera efterföljande filtrering.

2.2 Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet är att bestämma vad som stör den kemiska processen på de aktuella vattenverken och hur kritans löslighet är relaterad till höga aluminiumrester. Vidare syftar projektet även till att undersöka huruvida alkaliseringsmetoden med krita-kolsyra bidrar till försämrade fällning.

Råvatten förändras över året med avseende på både temperatur och kemisk sammansättning. Detta medför att inte bara temperaturen påverkar reningsprocessen, utan även de kemiska grundförutsättningarna kommer att påverka resultatet. Projektet syftar till att klarlägga hur den kemiska fällningen störs av olika råvattenparametrar, såsom humus, låg temperatur, alkalinitet etc., samt driftparametrar och undersöka om det går att kompensera för detta med exempelvis ändrad inblandningsenergi och flockningstid.

Projektet jämför vattenverk som har förbehandling med krita-kolsyra, samt direktfällning på kontinuerliga filter. Resultaten bör i hög grad vara tillämpliga även för vattenverk med kemisk fällning, pH och alkalisering. Genom att jämföra flera vattenverk med liknande processutrustning men delvis olika råvatten, söks förståelse för de problem som förekommer vid mycket låga temperaturer.

En målsättning är att försöka bestämma hur kemisk fällning kan optimeras för att fungera tillfredställande vintertid. Frågan är om enbart temperaturen påverkar eller om även vattenkvaliteten och kemiska reaktioner förändras under problemperioderna.

2.3 Metod

Föreliggande rapport baseras på en allmän litteraturstudie om kemisk fällning, samt en mer ingående litteraturstudie om pH-justering och alkalisering med krita-kolsyra. En genomgång och jämförelse av de olika vattenverkens råvatten, process, driftdata och analyser ligger vidare till grund för genomförandet av projektet.

Ett metodtest genomfördes på råvatten från Öxsjöverket för att testa olika försöksuppställningar och undersöka vilka möjligheter bagerförsöken erbjöd.

Därefter genomfördes två olika försöksomgångar med bagerförsök i laboratorium vid Chalmers. Första försöksomgång var inriktad på att undersöka kritans löslighet i olika råvatten, samt hur aluminiumresten påverkas av kritans upplösning. Först testades kritans egenskaper och därefter samverkan mellan krita, kolsyra och fällningskemikalie för att efterlika verkliga förhållanden. Den första försöksomgången gav svar på hur efterföljande försök skulle läggas upp.

I den andra försöksomgången studerades olika lösningsgrad av krita, aluminiumrest, alkalinitet, samt TOC-reduktion. Andra försöksomgången utökades så att även förändringar avseende TOC- och manganreduktion undersöktes. Endast två temperaturer testades; 0,5 °C och 15 °C, för att efterlikna vinterförhållande och ”normalförhållande”.

2.4 Avgränsningar

Avgränsningarna för detta projekt och föreliggande rapport har fallit naturligt med de processer som de valda vattenverken har.

Försöken har begränsats till möjligheterna i laboratoriet. Försöken har varit tidskrävande och därför har antalet begränsats. Då möjligheten att kyla vatten har varit begränsad har vattenvolymen begränsats, vilket i sin tur begränsat mängden vatten som kunnat tas ut för analys.

2.5 Gällande föreskrifter och rekommendationer

SLVFS 2001:30 med tillhörande vägledning är den föreskrift som reglerar dricksvattenproduktion i Sverige. Föreskriften innehåller kvalitetskrav och rekommendationer för dricksvatten.

Gränsvärde för ”Tjänligt med anmärkning” avseende aluminium på utgående dricksvatten är 0,100 mg/l Al (totalhalt aluminium). Halter över gränsvärdet kan förekomma naturligt i råvatten. Aluminium kan även tillföras dricksvattnet från processkemikalier för flockning eller fällning i form av aluminiumsulfat eller polyaluminiumklorid.

Gränsvärdet för aluminiumhalten i dricksvatten bedöms enligt föreskriften inte som någon hälsomässig fara utan endast ur teknisk synpunkt. För aluminium innebär ”Tekniskt grundade anmärkningar” att:

- Vattnets sammansättning kan ge tekniska problem i samband med distributionen. Aluminium kan orsaka slambildning i distributionsanläggningen.
- Undersökningsresultatet indikerar att beredningsprocessen fungerar otillfredsställande.

Det finns inte något gräns- eller riktvärde för varken *alkalinitet* eller *hårdhet* av hälsomässiga skäl i dricksvatten, enligt gällande föreskrift. Alkaliniteten är däremot viktig för att bibehålla ett jämnt och bra pH-värde samt för att motverka korrosion på ledningar från vattenverk till abonnent och rekommenderade riktvärden är därför:

- Alkalinitet: >60 (mg/l HCO_3)
- Kalcium: 20-60 (mg/l Ca)

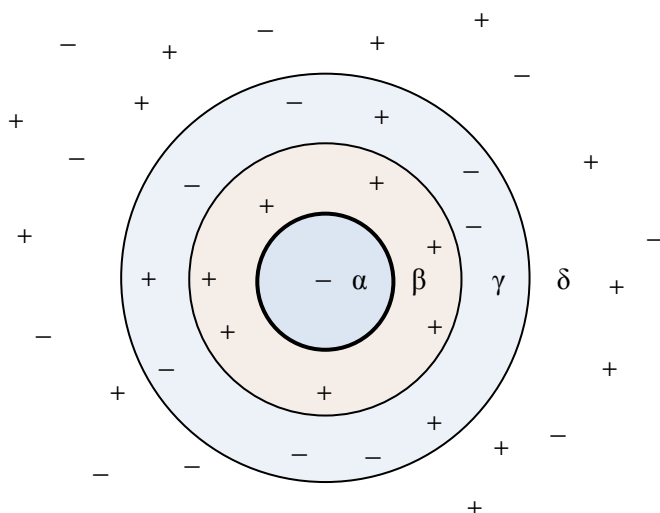
TOC har inte något egentligt riktvärde enligt lagkrav. Det är dock av intresse att denna halt hålls så låg som möjligt med hänsyn till färg, desinficering, bakterietillväxt, lukt, smak m.m.

3 Litteraturstudie

3.1 Kemisk fällning

Vatten från ytvattentäkter innehåller normalt föroreningar som måste renas innan det distribueras som dricksvatten. Föroreningar större än 10^{-4} mm orsakar turbiditet, medan oönskad färg orsakas av mindre partiklar, såsom humuskolloider. Organiskt material, humus, mikroorganismer och lerpartiklar i vatten är normalt negativt laddade vid neutralt pH. Mellan föroreningspartiklarna uppstår både attraktions- och repulsionskrafter. Attraktionskraften beror till största del på Van der Waals-krafter beroende på svängningar av att elektrontätheten kring molekylerna inte är symmetriska.

Lagret med positivt laddade joner kallas Sternlager och utanför detta bildas ett diffust motjonslager. Utanför motjonslagret finns vätskefasen (Avdelningen för VA-teknik, 1986), se figur 3-1.



Figur 3-1. a Negativ kolloid, b: Sternlager, g: Diffust lager, d: Fritt vatten

Föroreningarna i ett råvatten varierar mycket i storlek och de större avlägsnas med galler och silar. Finare partiklar behöver fällas kemiskt vid konventionell reningsteknik genom att en kemikalie tillsätts och reagerar med föroreningarna. Kemisk fällning sker i huvudsak genom två mekanismer; laddningsneutralisering och svepkoagulering. Genom adsorption av positivt laddade joner från ett fällningsmedel blir partiklarna neutralt laddade och kan attrahera varandra och bilda större föreningar och flockar, vilka sedan kan avskiljas genom sedimentering eller filtrering.

Fällningskemikaliens upplösning i vatten går snabbt, inom några sekunder. Vid för låg kemikaliedosering finns inte tillräckligt med positivt laddade metalljoner för att neutralisera de negativt laddade partiklarna. Vid ökad tillsats sker så kallad svepkoagulering eller svepflockning med $\text{Al}(\text{OH})_3$, vilket medför att större flockar bildas som kan sedimentera eller filtreras bort från vätskefasen (Wilén, 2008).

Optimalt pH är cirka 6,3 för att aluminium ska falla ut som $\text{Al}(\text{OH})_3$ men kan variera beroende på vattnets sammansättning. Genom tillsats av kalciumkarbonat (krita) uppnås ett lämpligt pH så att flockarna med aluminiumhydroxid bildas. Om pH avviker från optimalt pH kommer aluminiumhalten i vätskefasen att öka genom att lösliga positivt laddade aluminiumkomplex bildas vid lägre pH och lösliga negativt laddade aluminiumkomplex bildas vid högre pH, se kapitel 3.3.

3.1.1 Dosering av fällningskemikalie

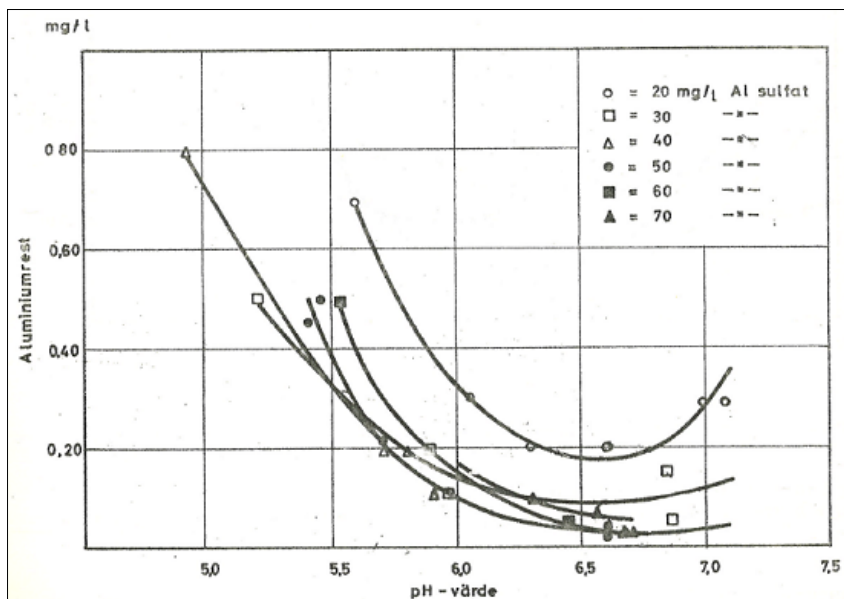
Kemikaliedoseringen beror på vilken kemikalie som används, råvattenbeskaffenhet, temperatur, pH samt inblandningsförhållanden. Vid normala till höga föroreningskoncentrationer är doseringen proportionell med föroreningsinnehållet. Låga föroreningshalter kräver normalt sett högre relativ dosering för att ett tillräckligt antal kollisioner mellan kemikalie och förorening skall uppstå för att bilda flockar. Vid extremt höga föroreningskoncentrationer kan även en högre relativ dos behövas för att bilda mikroflockar. En bättre rening kommer normalt alltid till stånd vid ökad kemikaliedosering samtidigt som resthalten aluminium minskar (Hernebring, 2003) under förutsättning att pH är inom rätt intervall, så att inte aluminium går i lösning.

Det finns ett flertal sätt att uppskatta kemikaliedoseringen. Nedan presenteras uppskattningsmetoder för dosering baserad på COD och på färgtal i råvattnet (Hernebring, 2003). Doseringarna är endast vägledande och tester med högre och lägre dos bör ske för att finna den optimala halten.

$$Dos = 0.32 \times \text{COD}_{\text{Mn}} \left[\frac{\text{mg Al}}{\text{l}} \right] \quad [\text{Ekv. 1}]$$

$$Dos = 1.37 + 0.0064 \times \text{färg} \left[\frac{\text{mg Al}}{\text{l}} \right] \quad [\text{Ekv. 2}]$$

Figur 3-2 visar förhållandet mellan aluminiumrest och pH vid olika dosering av aluminiumsulfat. Doseringen varierar mellan 20 och 70 mg/l för att finna optimum avseende lägsta aluminiumresten i vattnet. Oavsett dosering blir resthalten lägst vid pH 6,5. Sambanden antyder även att en högre aluminiumdos ger en lägre restaluminiumhalt vid optimalt pH, se kapitel 3.1.



Figur 3-1. Aluminiumrest och fällnings-pH vid olika dosering av aluminiumsulfat. (Hedberg, 1969, s. 22)

Fällningskemikalien som används på de studerade vattenverken är polyaluminiumklorid (PAC) i form av två olika produkter, Ekoflock 70 och Ekoflock 91 (leverantör Eka Chemicals). Ekoflock 70 används i Karlskrona och Lerum medan Ekoflock 91 används i Kristinehamn. Ekoflock 91 innehåller mer aluminium ($9\pm 0,3$ vikt-% resp. $7\pm 0,3$ vikt-%) och klorid samt har högre densitet och viskositet än Ekoflock 70. PAC har visat sig ge hög aluminiumrest vid ett vattenverk och låg vid ett annat och med hänsyn till tidsåtgången avgränsades försöken till PAC.

3.2 Krita och kolsyra

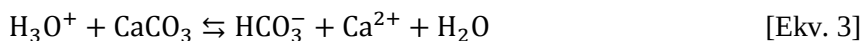
De studerade vattenverken använder krita och kolsyra för pH-justering och alkalisering av vattnet. Karlskrona, Kristinehamn och Lerum vattenverk använder samma sorts krita, Mikrosteven. Produkten kommer ifrån Stevns Kridtbrud i Danmark och levereras av Omya.

Fördelen med krita-kolsyra är att ett stabilt vatten med god buffringsförmåga uppstår. Enligt tidigare undersökningar har krita uppvisat driftsfördelar ekonomiskt, miljömässigt och driftmässigt.

Ekonomiskt sett har alkalinitetshöjningen blivit billigare tack vare lägre priser och reducerad dosering (Göthe, D. & Israelsson, B., 1995). Driftsmässigt har det indikerats att kritan ger mindre igensättning i doseringsledningarna och upplösningstankarna. Miljömässigt rör det sig om en råvara som inte vidareförädlats, vilket besparar energi.

I den aktuella kritan är kalciumkarbonat (kalcit, CaCO_3) den dominerande (till ca 98 %) beståndsdel. Kritan är i pulverform med en medelpartikelstorlek om 2,3 μm , en skrymdensitet om ca 550 kg/m^3 och ett pH på 9,1. Kalciumkarbonat innehåller ca 39 % kalcium.

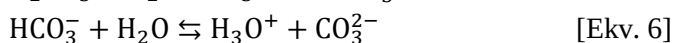
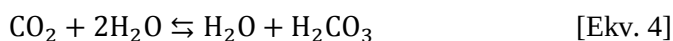
Hög alkalinitet medför kortare flockningstid och lägre kemikaliedosering vid kemisk fällning (Hedberg, 1969, s. 11). När krita (CaCO_3) tillförs vatten med fria oxoniumjoner (H_3O^+) ökar alkaliniteten när kritan löser sig i vattnet genom bildandet av vätekarbonat. Kritan löses därmed effektivast vid lågt pH.



Enligt tidigare studier är de tre viktigaste faktorerna för en snabb och effektiv upplösning av krita lågt pH, kritans fraktion samt lång uppehållstid (Göthe & Israelsson, 1992).

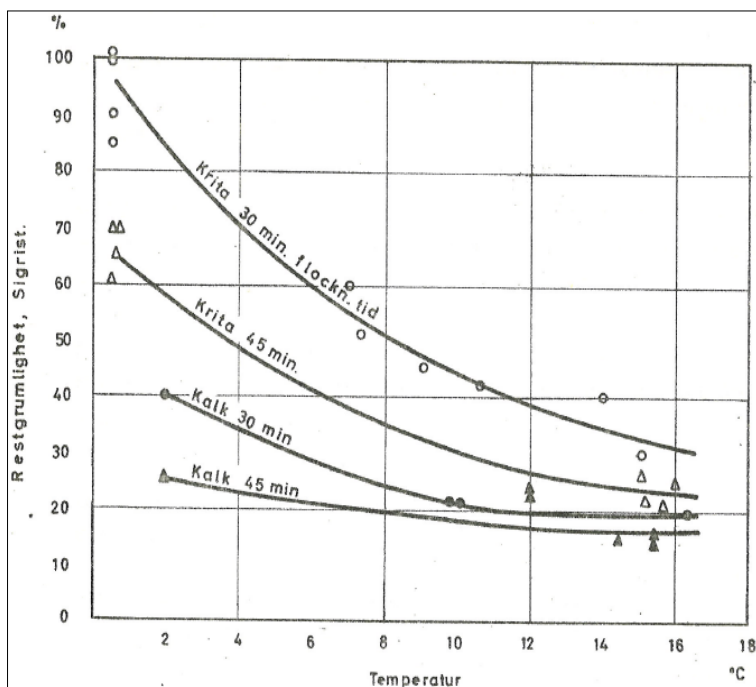
Lösligheten av krita är direkt proportionell mot oxoniumjonkoncentrationen, d.v.s. om pH förändras en enhet ökar eller minskar upplösningshastigheten med faktor 10 (Göthe & Israelsson, 1992). Sänkningen av pH kan ske med koldioxid, som även bidrar till att höja vattnets alkalinitet. När koldioxid tillsätts vattnet ökar antalet oxoniumjoner, medan antalet hydroxidjoner minskar. Koldioxid löses relativt enkelt i vatten och lösligheten beror på temperaturen, låg temperatur ger hög löslighet och hög temperatur ger låg löslighet (Hedberg, 1969).

Koldioxiden reagerar enligt ekvationerna 4 – 6 (Sposito, 1989).



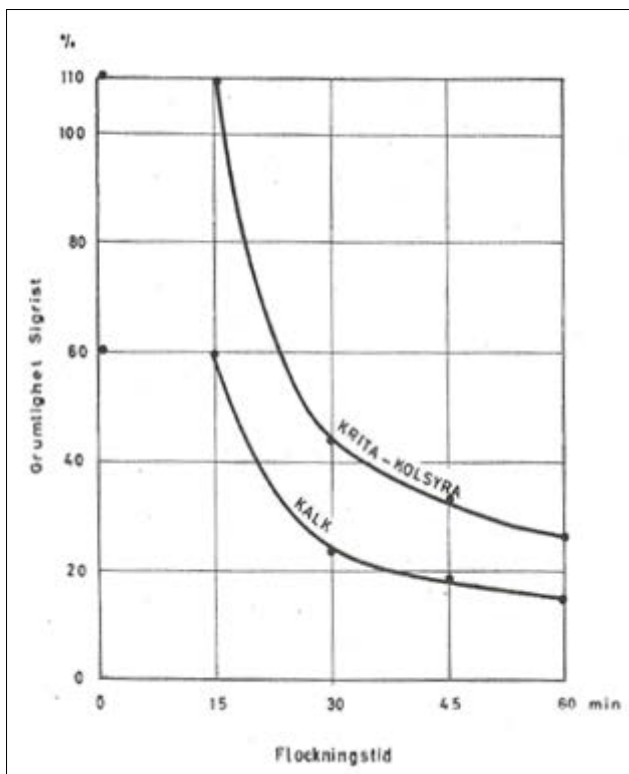
Energitillförseln vid inblandningen (omrörningshastigheten) anses vara av vikt för upplösningshastigheten av krita. Ökad rotationshastighet anses ge snabbare upplösningshastighet (Alkattan, Oelkers, Dandurand, & Schott, 1998).

Upplösningshastigheten för krita påverkas av temperaturen. Låg temperatur ger lägre upplösningshastighet. Temperatureffekten enligt tidigare mätningar visas i figur 4-2 för både kalk och krita. Restturbiditeten ökar med reducerad tid och sänkt temperatur. Vid jämförelse mellan 30 och 45 minuters flockningstid är temperaturberoende större för krita än kalk.



Figur 3-2. Restgrumlighet i förhållande till temperatur (Hedberg, 1969, s. 49)

Restturbiditeten vid 2 °C respektive 18 °C, figur 3-4, ger en indikation om att det är en större skillnad mellan krita och kalk vid låg temperatur samt att tidfaktorn är viktig.



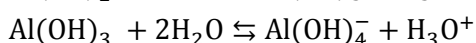
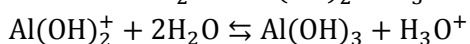
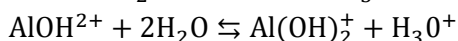
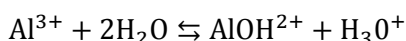
Figur 3-3. Restgrumlighet som funktion av tiden (Hedberg, 1969, s. 52)

Studier påvisar att vissa ämnen kan påverka kritans löslighet negativt. Bl.a. har hämning orsakad av koppar och skandium studerats (Terjesen, Erga, Thorsen, & Ve, 1961). Halterna som krävs för att hämma upplösningen av krita är avsevärt högre än vad de aktuella råvattnen innehåller. Hämningseffekten blir större vid ökat pH, och en studie påvisade hämning vid pH mellan 7 och 9. Samma studie påvisade en signifikant hämning vid pH större än 7,6 (Parsiegla & Katz, 2000).

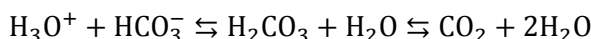
Även mangan kan orsaka hämning av upplösningen som påverkas av mangankoncentration, lösta organiska kolföreningar samt pH (Vinson, Arvidson, & Luttge, 2007). Detta sker dock normalt vid pH högre än 8,5, vilket inte medför att mangan påverkar försöken i aktuella försök.

3.3 Kemisk fällning med krita-kolsyra

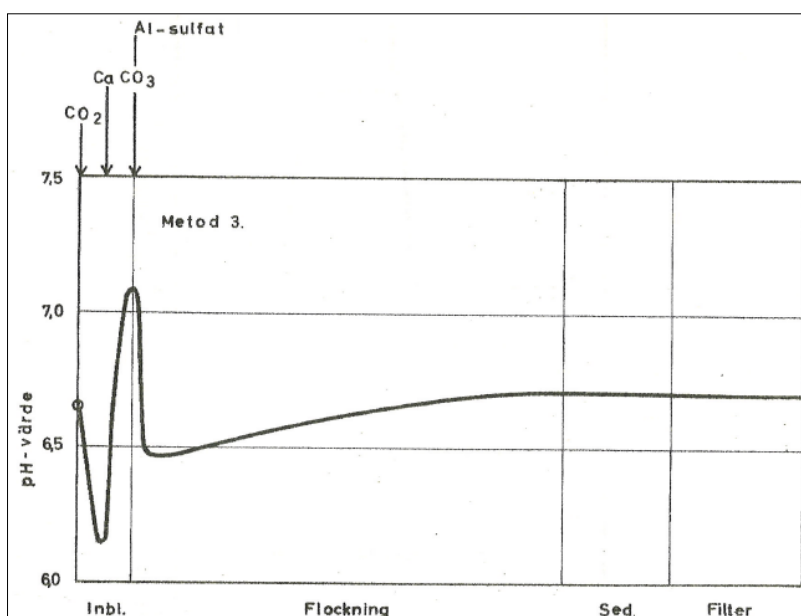
När fällningsmedel i form av polyaluminiumklorid (PAC) tillsätts vatten bildas fria aluminiumjoner som reagerar med vattnet genom hydrolys (Kemira Kemwater, 2003) enligt nedanstående formler. Målet är en att bilda laddningsneutrala komplex som faller ut. Vid optimalt fällnings-pH förekommer aluminium till största del som $\text{Al}(\text{OH})_3$ som är den form som är minst vattenlöslig, se kapitel 3.1.



Hydratiserade aluminiumkomplex bildas vid reaktionen och H_3O^+ reagerar med HCO_3^- joner och bildar kolsyra H_2CO_3 enligt ekvation (Hedberg, 1969).



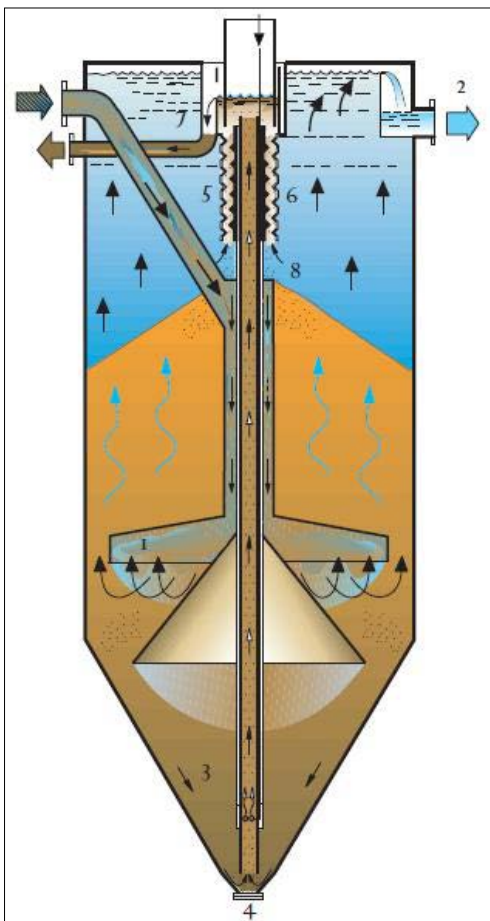
Tidigare fällningsförsök (Hedberg, 1969) visar pH-variationen i olika steg i beredningsprocessen. Försöken har optimerats genom dosering av krita-kolsyra enligt figur 3-4. Processen har jämförts med dosering av kalk. Kritan ökade antalet flockar avsevärt. Flockarna blev volymmässigt ca 8 % mindre med omkring åtta gånger högre densitet vid användning av krita. Dessa egenskaper påverkar reningsprocessen positivt.



Figur 3-4. Tillsatsordning och hur kemikalierna påverkar pH (Hedberg, 1969).

3.4 Kemisk fällning i kontinuerliga filter

Filtren som används i de studerade vattenverken är kontinuerliga uppströmsfilter med kontinuerlig backspolning av märket DynaSand (Nordic Water, 2006). Då problemen misstänktes bero på den kemiska processen och inte filtreringen har vattenverk med samma sorts filtreringsutrustning valts. I DynaSandfiltren sker samtliga reningssteg, se figur 3-5. Koagulering, flockning och filtrering sker i samma reaktor. För fullständig beskrivning, se bilaga 1.



- Fällningskemikalie tillsätts i tilloppsledningen till filtret.
- I punkt 1 leds vatten in till filtret via fördelningsrör så att ett jämnt flöde över hela filtermassan uppstår.
- Filtrerat vatten rinner ut i punkt 2.
- Sanden rör sig neråt och pumpas upp (punkt 4) till tvätten (punkt 5 och 6) och släpps tillbaka i filtret.
- Tvättvatten rinner ut via ledning (7).

Figur 3-5. Principskiss av DynaSandfilter

4 Beskrivning av vattenverken

4.1 Allmänt

Vattenverken som studerats ligger i södra Sverige; Sandköpings vattenverk i Kristinehamn, Öxsjöverket i Lerum samt Karlskronas vattenverk. Vattenverket i Kristinehamn producerar i genomsnitt ca 6 600 m³/d, Lerum ca 6 500 m³/d och Karlskrona ca 13 000 m³/d.

Vattenverken har likartade reningsprocesser. Krita och kolsyra doseras för att öka alkaliniteten och pH-justera vattnet för efterföljande kemisk fällning med PAC i DynaSandfilter. Vattenverken beskrivs vidare under kapitel 4.2 – 4.4.

Klimatet varierar något där vattenverken ligger. Enligt SMHI har Kristinehamn lägst luftmedeltemperatur och flest antal dygn med snötäcke. Lerum har mest nederbörd och minst antal dygn med snötäcke. I tabell 4-1 redovisas normalvärden baserade på mätvärden år 1961-1990.

Tabell 4-1. Medelvärden för normalperioden 1961-1990 (SMHI (a), 2009), (SMHI (b), 2009), (SMHI (c), 2009)).

Vattenverk	Årsmedeltemperatur (°C)	Årsmedelnederbörd (mm)	Antal snödagar (dagar)
Karlskrona	7	500	50
Kristinehamn	6	600	75
Lerum	7	700	25

Skillnader i klimat avspeglar sig till viss del i råvattenkvaliteten, se vidare under kapitel 4.2 – 4.5.

Årstidsvariationen avspeglas framförallt i vattentemperatur, men även avseende föroreningsinnehåll och andra kemiska parametrar skiljer sig vattenkvaliteten mellan säsongerna. Det är skillnad på vattentäkterna då Karlskrona använder Lyckebyån som vattentäkt medan Kristinehamn och Lerum använder Bergsjön respektive Öxsjön och Stamsjön som vattentäkter. Flöde och uppehållstid påverkar vattenkvaliteten. Karlskronas vattentäkt uppvisar relativt stora och snabba variationer medan Lerums och Kristinehamns råvattentäkter uppvisar långsammare och mindre variationer i vattenkvalitet.

4.2 Karlskrona vattenverk

Karlskrona vattenverk försörjer ca 43 300 personer med dricksvatten och medelproduktionen är ca 550 m³/h. Vattenverket är beläget mitt i Karlskrona och råvattenintaget ligger ca 150 m från vattenverket. Vattenkvaliteten i Lyckebyån varierar avsevärt och relativt fort beroende på årstid, se kapitel 4.4.2.

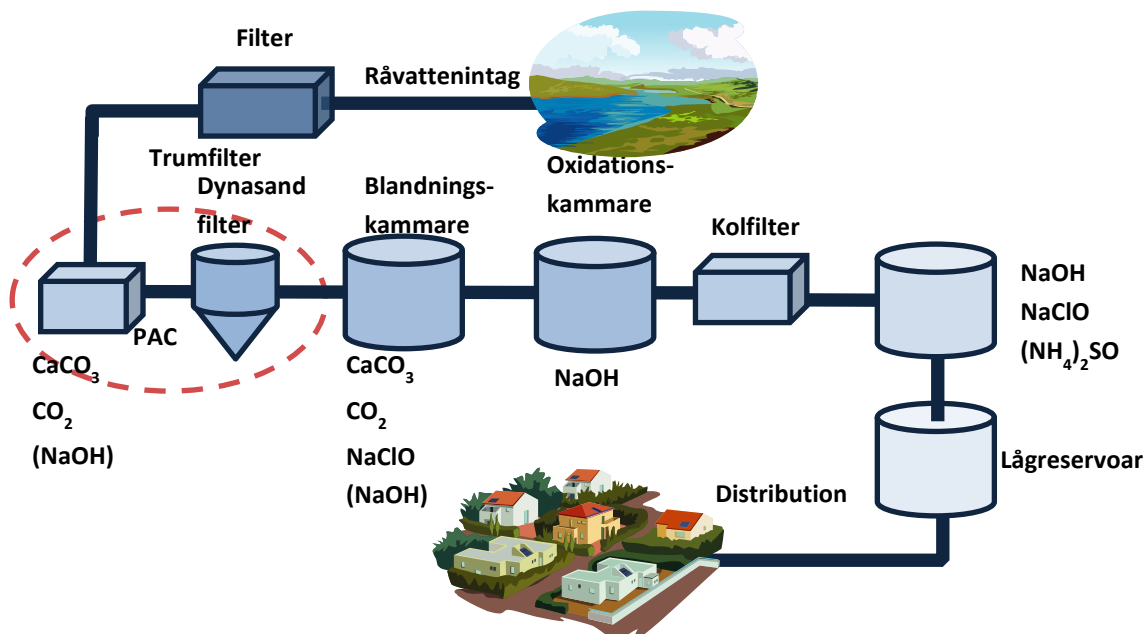
4.2.1 Process

Översiktligt processschema för Karlskrona vattenverk presenteras i figur 4.1. Den del av processen som har studerats är inringad med rött. För fullständigt processschema se bilaga 2.

Råvatten från Lyckebyån grov- och finsilas, innan det leds till alkaliseringsbassäng, där krita och kolsyra, alternativt lut (natriumhydroxid, NaOH) doseras för att uppnå rätt fällnings-pH och alkalinitet.

Uppehållstiden för upplösning av kritan är ca 45 minuter varefter vattnet pumpas till DynaSand-filtren. Vattenverket har 40 filter uppdelat på fem produktionslinjer där varje linje har egen doserpunkt för PAC. Koagulering, flockning och filtrering sker i DynaSandfiltren. Med hänsyn till vattenkvaliteten har filtren relativt lång uppehållstid, ca 60 min. Under vinterhalvåret (från 2008) har lut använts då aluminiumresten varit lägre vid användning av lut istället för krita.

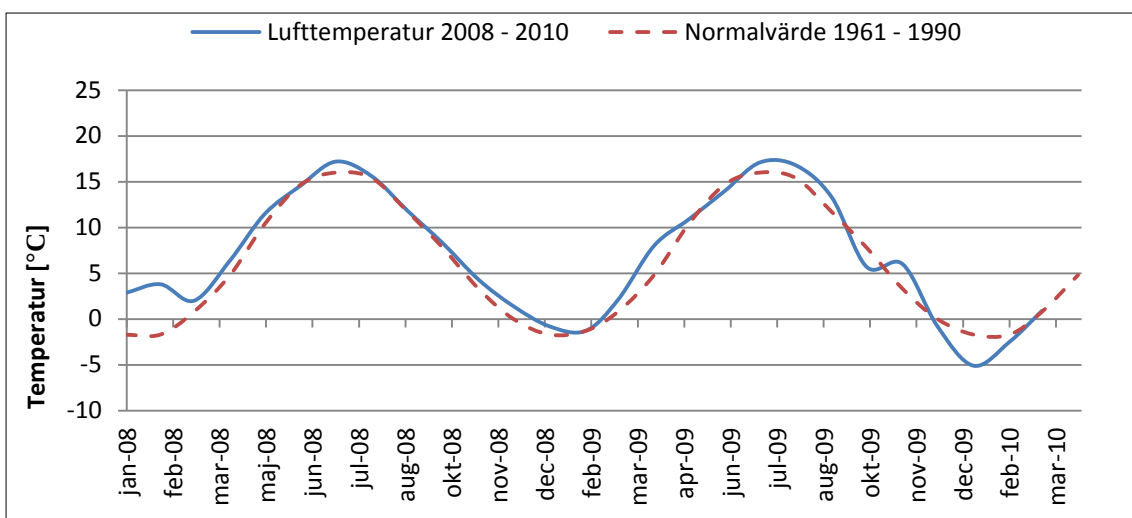
I nästa processteg tillsätts krita, koldioxid, och natriumhypoklorit (NaOCl) för att oxidera resterande mangan i två bassänger. För att förbättra oxidationen kan även natriumhydroxid, NaOH, tillsättas. De två oxidationsbassängerna följs av elva kolfilter där smak, lukt och manganföreningar avskiljs. Före nedtappning av renvattnet till lågreservoar, doseras lut och kolsyra till önskat pH och alkalinitet, samt natriumhypoklorit och ammoniumsulfat för att uppnå långtidsverkande bakterieskydd på distributionsnätet (Karlskrona kommun, 2010).



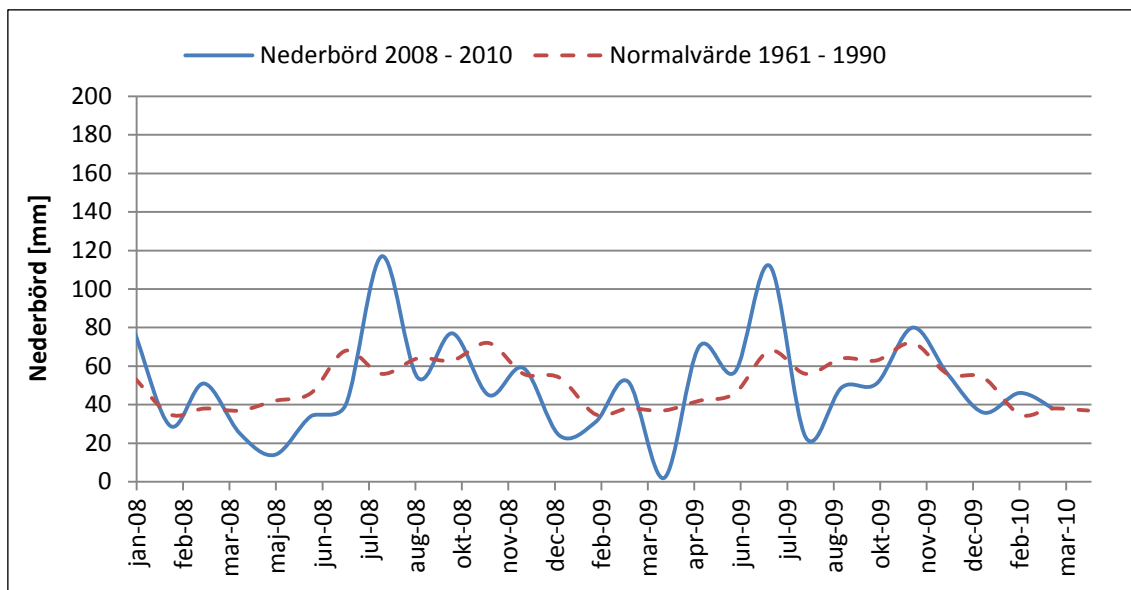
Figur 4-1. Översiktligt processschema för Karlskronas vattenverk.

4.2.2 Råvattenkvalitet

Karlskrona har en medeltemperatur på 5 °C, en medelnederbörd på 500 mm/år och antal dygn med snö per år är ca 50, se figur 4-2 och figur 4-3. Klimatet påverkar vattenkvaliteten i relativt hög grad då vattentäkten är en å. Vintern 2007-2008 var varmare än normalt, medan vintern 2009-2010 var kallare än normalt, vilket bidrog till stora skillnader i vattenkvalitet mellan vintrarna.



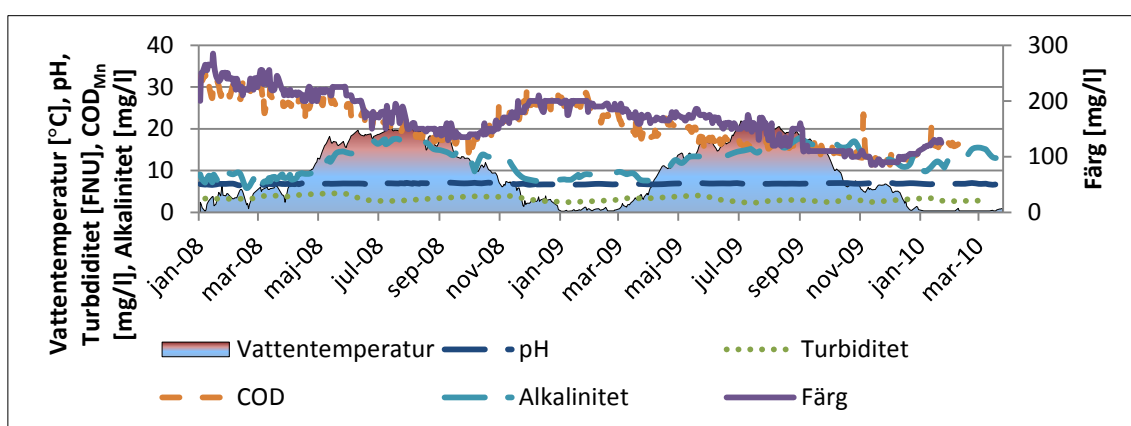
Figur 4-2. Normal och medellufttemperatur i Karlskrona (SMHI (a), 2009).



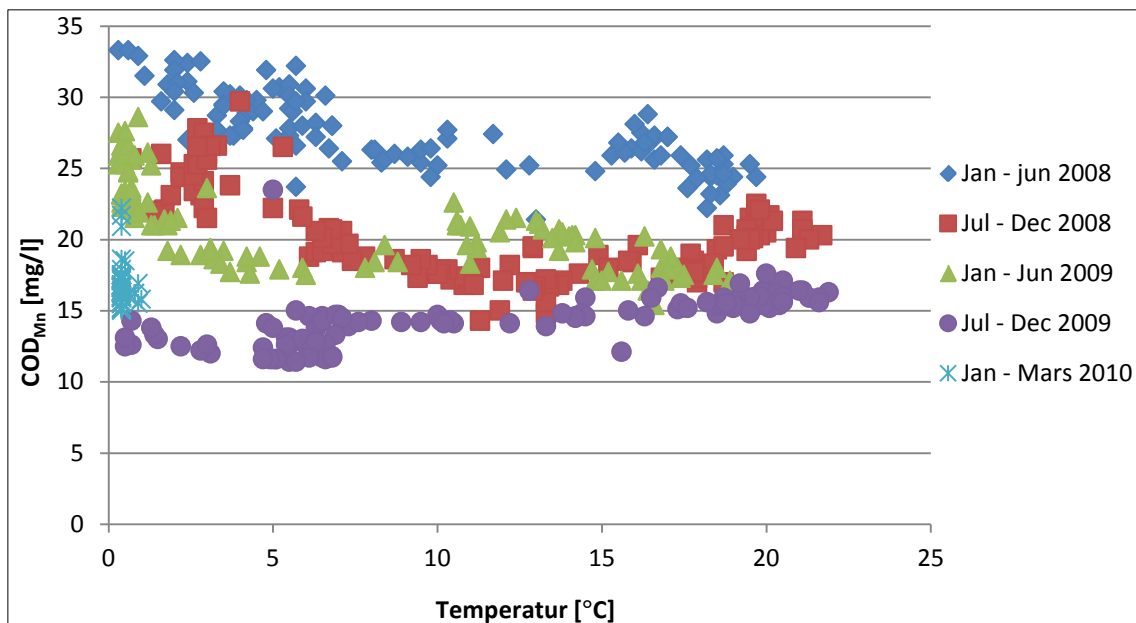
Figur 4-3. Normal och månadsmedelnederbörd i Karlskrona (SMHI (c), 2009)

Perioder med stor avvikelse från normalnederbörd har förekommit under den tid som vattenkvaliteten studerats se figur 4-4, figur 4-5 och figur 4-6.

Vattenkvaliteten i Lyckebyån varierar under året avseende COD, alkalinitet samt färgtal, se figur 4-4. En längre tid med vattentemperatur runt 0 °C återfinns vintern 2009-2010. Anmärkningsvärt är att alkaliniteten varit högre vid låg temperatur än normalt, troligtvis beroende på en större andel grundvatten i ån, vilket förklarar de lägre halterna TOC, färg och högre alkalinitet. Nederbörden under perioden föll i form av snö och därmed var ytavrinningen i praktiken försumbar. En tillbakagående trend avseende färg och COD har registrerats under två år. Den extrema kylan medförde att vintervattnet 2010 kvalitetsmässigt liknade ett sommarvatten.

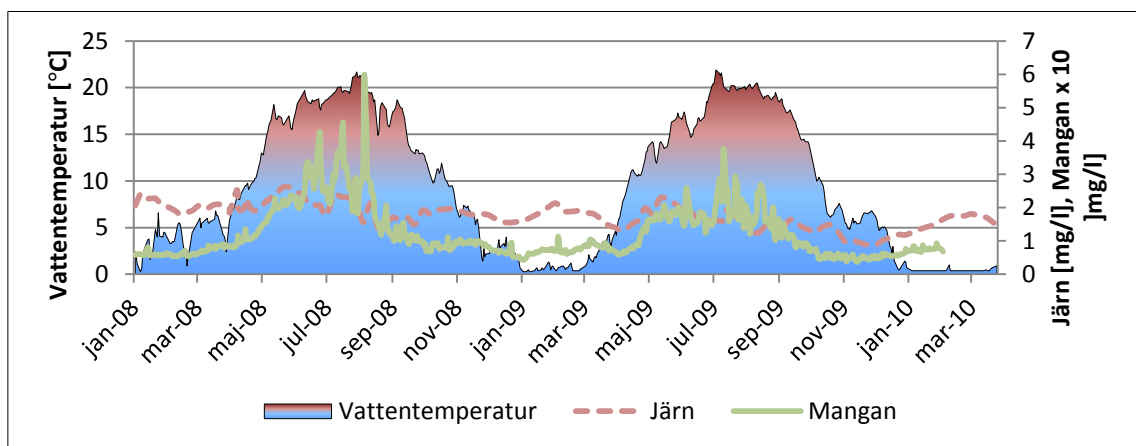


Figur 4-4. Råvattenvariationer i Karlskrona mellan januari 2008-april 2010



Figur 4-5. Säsongsvariation för COD-halt i Lyckebyån uppdelat halvårsvis

Vid stabila förhållanden har det visat sig vara högre COD-halter på våren än under hösten vid samma temperatur, se figur 4-5. Skillnaden mellan vår och höst beror troligtvis på andelen ytavrinning och ytligt markvatten. Enligt vattenverkets egna mätdata är trenden från 2008 till mars 2010 en förbättring av vattenkvaliteten, vilket skulle kunna bero på ändrad markanvändning. Exempelvis börjar markskiktet åter täckas med växtlighet efter nyplantering av skog efter stormen Gudrun.

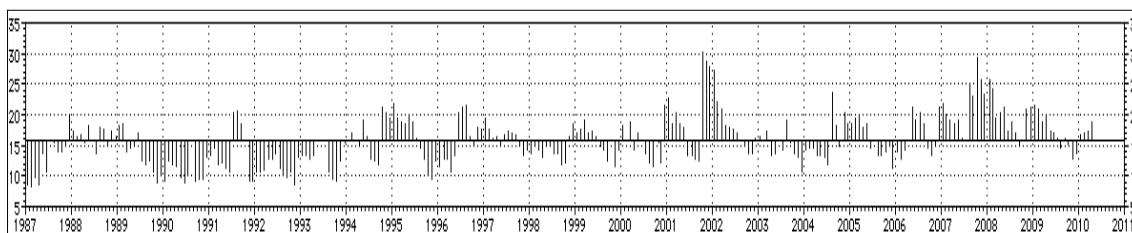


Figur 4-6. Variation av järn och mangan i råvatten från Karlskrona januari 2008 – april 2010

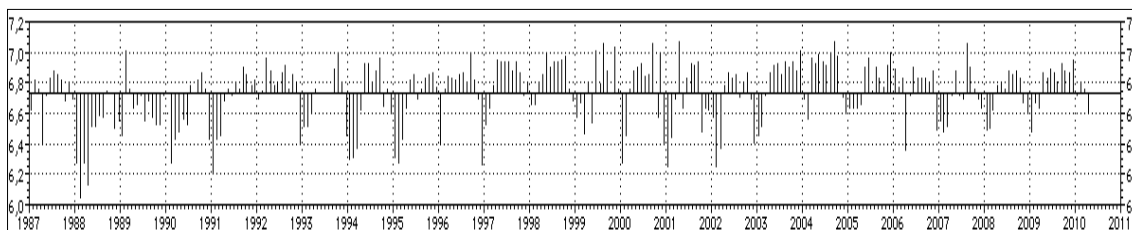
En viss säsongsvariation avseende järn och mangan förekommer, se figur 4-6, men av de mätdata som finns tillgängliga kan inga slutsatser dras angående hur detta påverkar vattenreningen eller kritans löslighet.

Lyckebyån ingår i miljöövervakningen vid SLU och har därför gott om analysvärden, vilket gör det möjligt att bedöma vinterförhållandena. Långsiktiga variationer av råvattenkvaliteten i Lyckebyån enligt figur 4-7 och figur 4-8 kan möjligtvis förklara delar av Karlskronas problem.

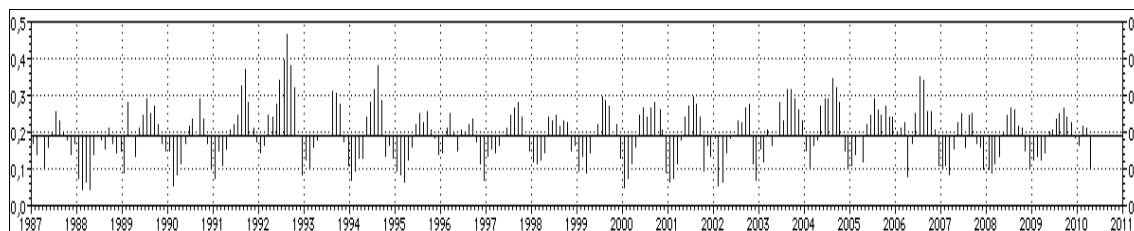
Figur 4-7 visar att TOC-halten vissa vintrar är mycket högre än normalt. Vintern 2007-2008, när Karlskrona hade problem med den kemiska fällningen, var TOC-halten dubbelt så hög som normalt, samtidigt som både pH och alkalinitet var låg vilket kan ge störningar i fällningsprocessen. Fällningskemikalien tillsätts för att ta bort humus, vilket för Karlskronas del innebär att en fördubbling av TOC-halten medför att en kraftig ökning av kemikaliedoseringen krävs. Med hänsyn till fällningskemikalien försurande effekt krävs en högre dos pH-höjande medel för att höja pH vid ökad fällningskemikaliedosering. Vintern 2001-2002 och 2007-2008 har varit extrema avseende TOC-halt samtidigt som både alkalinitet (figur 4-9) och pH (figur 4-8) varit låga.



Figur 4-7. TOC (mg/l) i Lyckebyån, avvikelse från medelvärdet visas i figuren (SLU, miljödatabank)

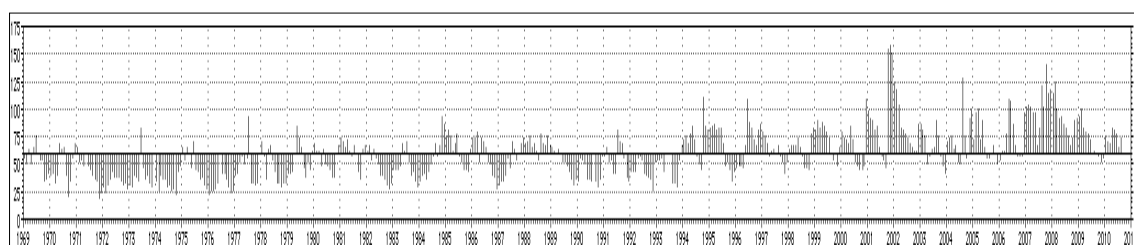


Figur 4-8. pH i Lyckebyån, avvikelse från medelvärdet visas i figuren (SLU miljödatabank)



Figur 4-9. Alkalinitet (mekv/l) i Lyckebyån, avvikelse från medelvärde visas i figuren (SLU miljödatatabank)

I miljöövervakningen har kaliumpermanganatförbrukningen (COD_{Mn}) mätts sedan 1969 och trenden kan studeras längre tillbaka i tiden än COD-mätningar i Lyckebyån. Kaliumpermanganatförbrukningen är även ett mått på organiska ämnen och ur figur 4-10 nedan kan utläsas att trenden varit ökande 1969.



Figur 4-10. Kaliumpermanganatförbrukning (mg/l) i Lyckebyån, avvikelse från medelvärde visas i figuren (SLU miljödatatabank)

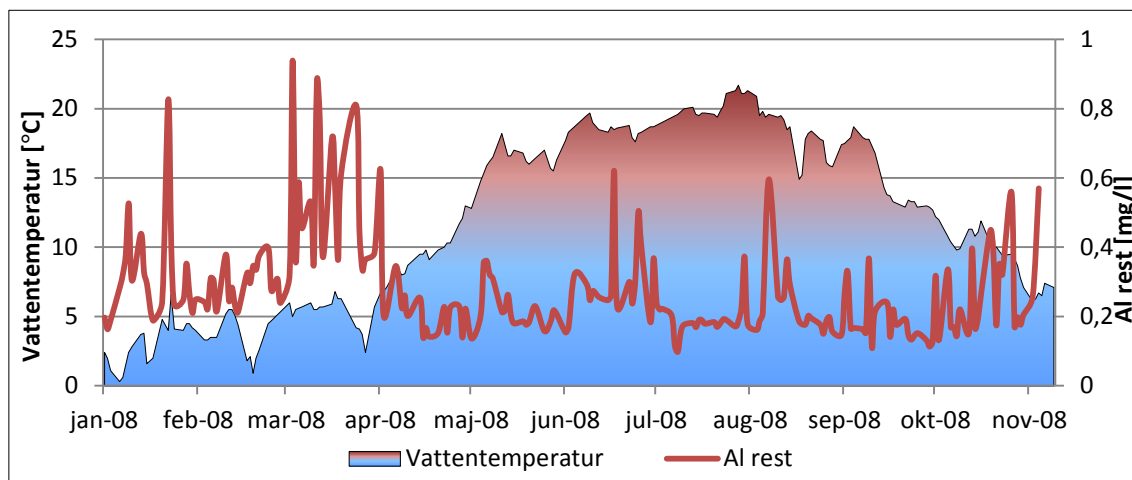
En konstant och långsiktig ökning av innehållet av organiskt material sedan 1969 påvisar en råvattenförändring. Enstaka toppar kan bero på tillfälliga förändringar eller extremväder, men en kontinuerlig försämring avseende Lyckebyån är fallet.

4.2.3 Driftdata och fullskaleförsök

Karlskrona vattenverk har utfört både fullskale- och pilotförsök för att utreda orsaken till förhöjd aluminiumrest och färg efter DynaSandfiltren. Den enda tydliga orsaken verkar vara låg temperatur på råvattnet.

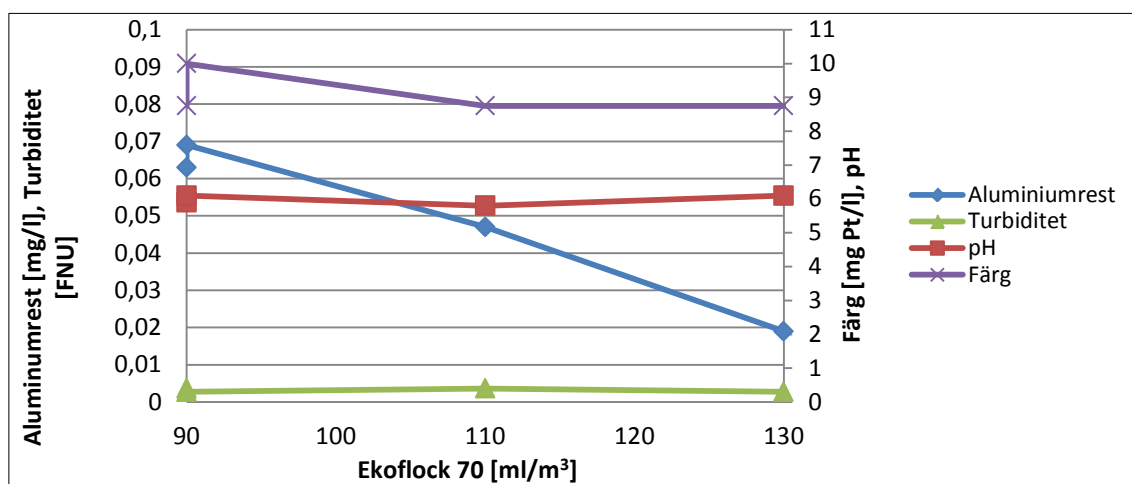
Förändringar i fällnings-pH, olika fällningskemikalier och doseringar har ej gett några nämnvärda förbättringar. Att flytta kemikaliedoseringen till en tidigare punkt i reningsprocessen har ej visat på ett bättre reningsresultat.

I figur 4-11 illustreras aluminiumresten efter DynaSandfiltren. November 2008 flyttades mät-punkten och därför åskådliggörs endast värdena fram till dess. Figuren visar på en högre aluminiumrest vid kallt vatten än vid varmt. Aluminiumhalten i dricksvatten har gränsen 0,1 mg/l för tjänligt med anmärkning enligt Livsmedelsverkets föreskrifter.



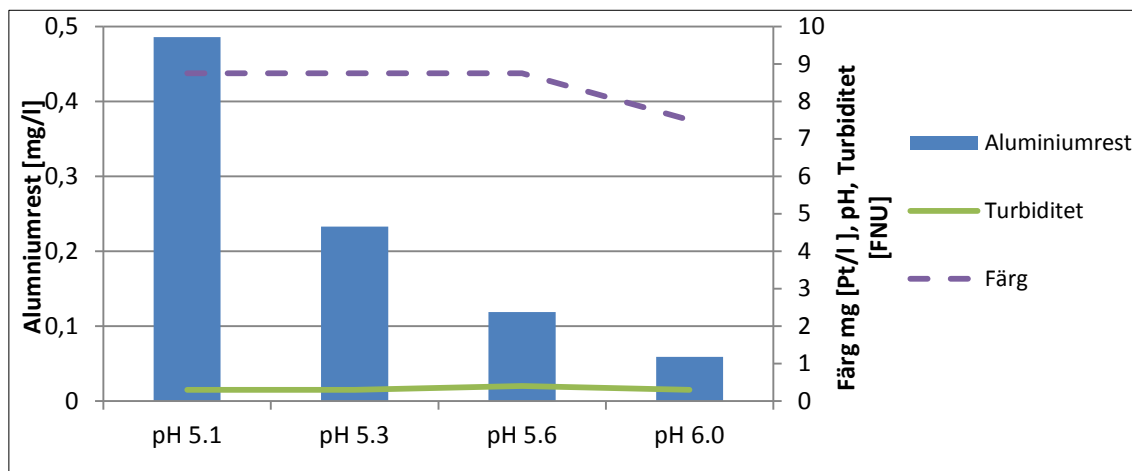
Figur 4-11. Temperatur och aluminiumrest efter Dynasandfiltren, januari 2008 - november 2008 på Karlskrona vattenverk

Resultat från ett pilotförsök med fällningskemikalier där dubbelvikta filter har använts för att simulera DynaSandfilter redovisas i figur 4-12. Doseringen var mellan 90 och 130 mg fällningsmedel/l. Vid försöken gav en ökad dos fällningskemikalie minskad aluminiumrest. Renings-effekten har varit ungefär likvärdig för de olika doseringarna och det är framförallt aluminiumresten som blir lägre vid hög dosering, vilket stämmer med teorin, se kapitel 3.



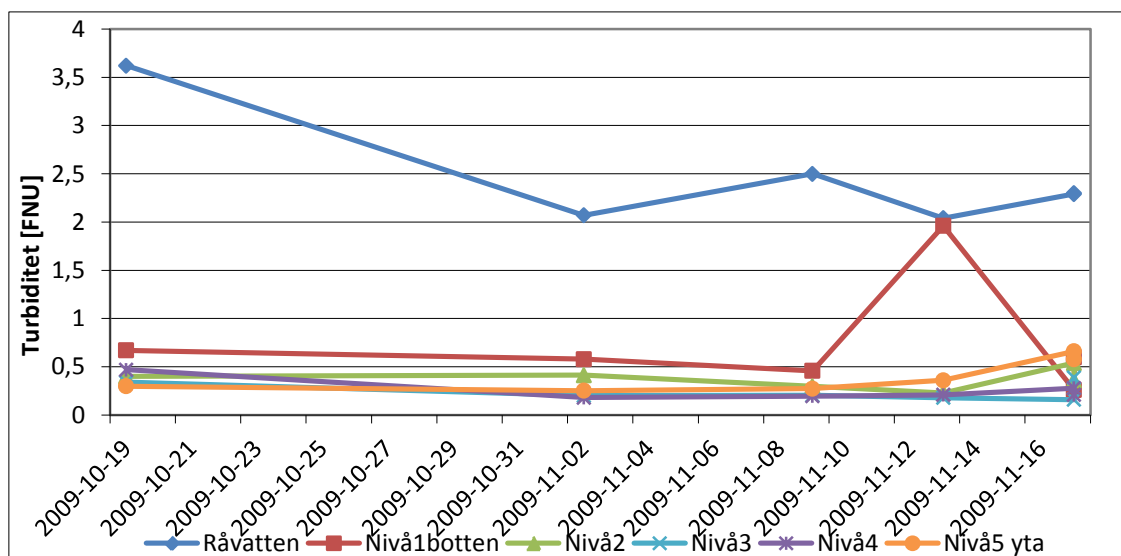
Figur 4-12. Aluminiumrest vid olika doser av Ekoflock 70, december 2008

Figur 4-13 visar försök med pH-variation vid konstant dosering av fällningskemikalie. Kemikaliedoseringen är 110 ml/m^3 och aluminiumresten minskar med ökat pH. Färgtal och turbiditet är relativt konstant, men antydning till minskat färgtal finns vid pH 6. Det är möjligt att en ännu lägre aluminiumrest hade uppnåtts vid högre pH. Detta är dock inte testat i detta försök.



Figur 4-13. Aluminiumrest, färg, och turbiditet vid olika pH och en tillsats av 110 ml/m^3 Ekoflock 70

En metod för mätning av turbiditet på olika nivåer av filtret har tagits fram av Karlskrona vattenverk och Nordic water. Mätningar av turbiditeten på olika nivåer redovisas i figur 4-14. Inget antyder att det sker något genombrott så att en ökad turbiditet vandrar upp genom filtren. Förhöjd turbiditet återfinns i botten på filtret och inte på någon annan nivå högre upp.



Figur 4-14. Turbiditet på olika nivåer i Dynasandfilter, Karlskrona vattenverk

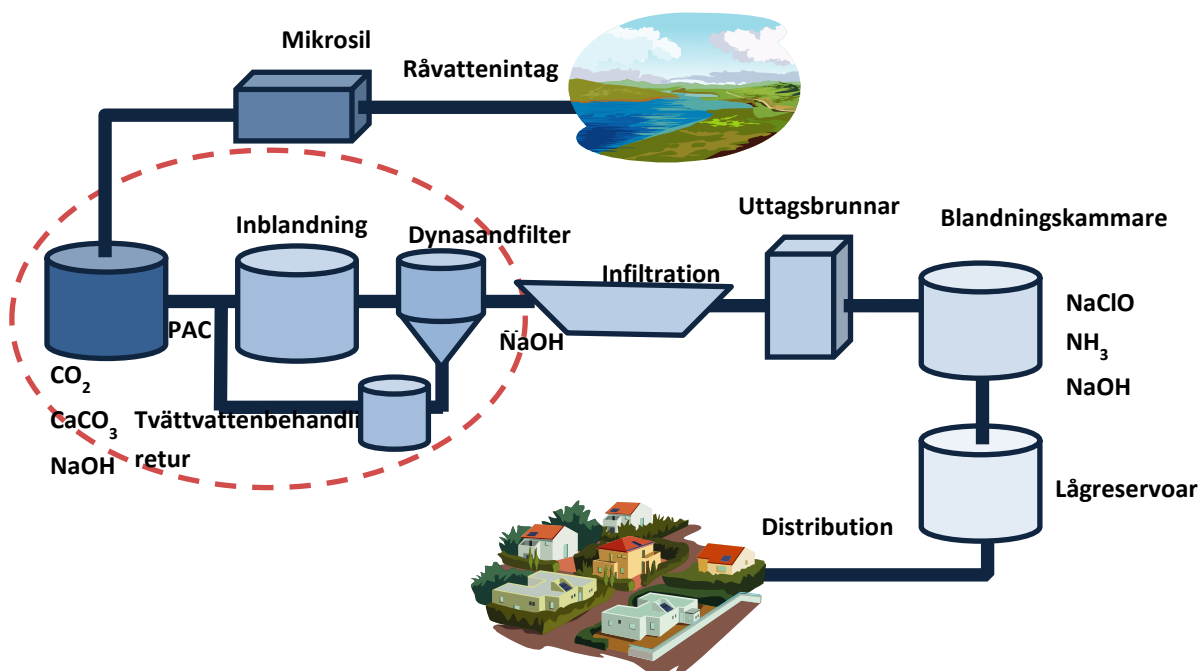
4.3 Sandköpings vattenverk, Kristinehamn

Sandköpings vattenverk ligger vid Bergsjön ca 2 mil norr om Kristinehamn. Vattenverket försörjer ca 20 500 personer i Kristinehamn med dricksvatten. Vattenproduktionen är ca 6 600 m³/d, vilket motsvarar 275 m³/h.

Råvatten pumpas från Bergsjön till vattenverket, tillsätts krita-kolsyra (eller lut), fällningsmedel och behandlas i DynaSandfilter. Därefter infiltreras vattnet och tas ut i brunnar, varpå det pH-justeras och desinficeras. Råvattenkvaliteten beskrivs i kapitel 4.3.2.

Ett flertal fullskaleförsök i form av variationer med doseringspunkter och doseringsmängder har testats. Delar av försöken presenteras nedan i kapitel 4.3.3.

4.3.1 Process



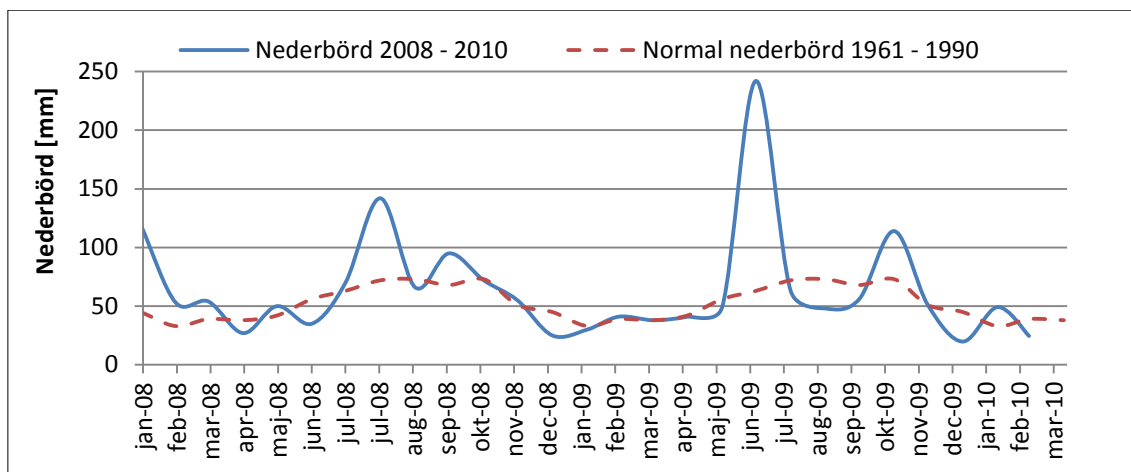
Figur 4-15. Förenklad processbeskrivning av Sandköping vattenverk i Kristinehamn.

Den del av reningsprocessen som studeras är inringat med rött i figur 4-15 ovan och omfattar kemikaliedoseringen och DynaSandfiltren. För fullständigt processchema, se bilaga 3.

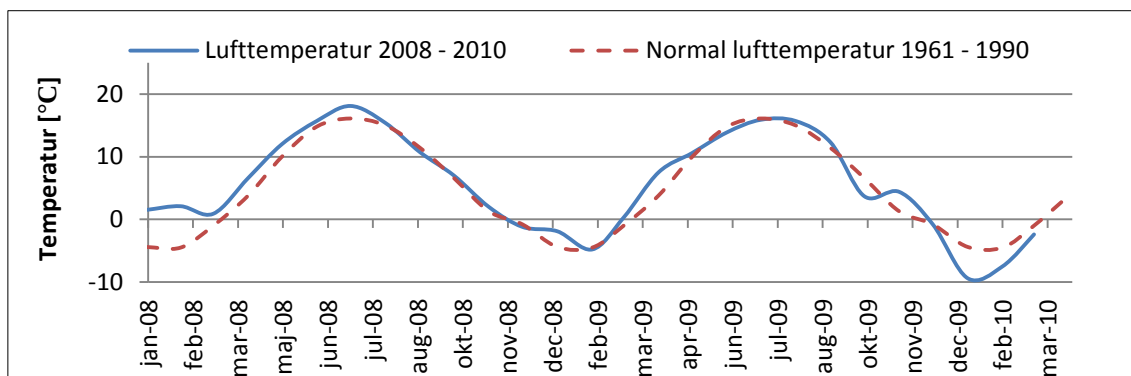
Råvattnet pumpas från Bergsjön och silas/filtreras innan den kemiska fällningen. 30 mg krita/l tillsätts i slurryform. Koldioxid tillsätts för att förbättra upplösningen och justera pH för den kemiska fällningen. Krita och kolsyra doseras på inkommande ledning med ca 0,5 s mellanrum. Lut kan vid behov doseras ca 20 s efter koldioxiden. Omkring 15 s efter kritadoseringen doseras fällningskemikalien. Därefter pumpas vattnet till DynaSandfiltren där koagulering, flockning och filtrering sker. Uppehållstiden i DynaSandfiltren är ca 15 min. Lut tillsätts innan infiltrationen. Det konstgjorda grundvattnet pumpas tillbaka till vattenverket där vattnet desinficeras innan distribution till abonnenter.

4.3.2 Råvattenkvalitet

Årsmedeltemperaturen i Kristinehamn är ca 6 °C och årsnederbörden ca 600 mm. Ca 75 dygn om året är marken snötäckt. Temperatur och nederbördsförhållanden från 2007-2010 visas i figur 4-16 och 4-17.

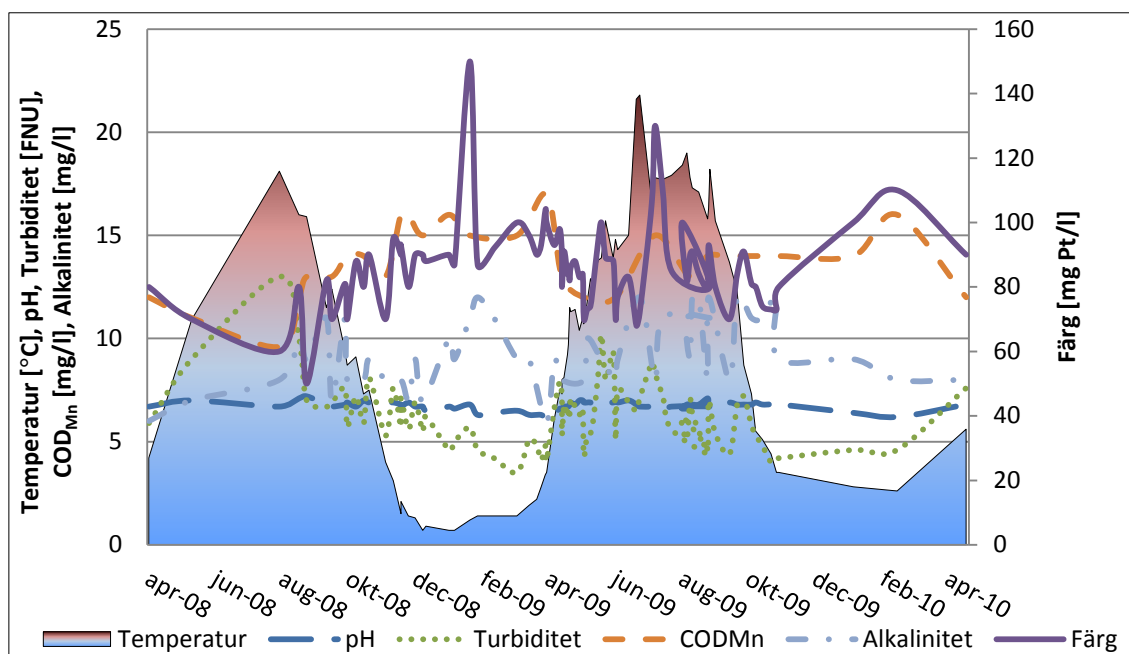


Figur 4-16. Normal- och medelnederbörd i Kristinehamn (SMHI (c), 2009)

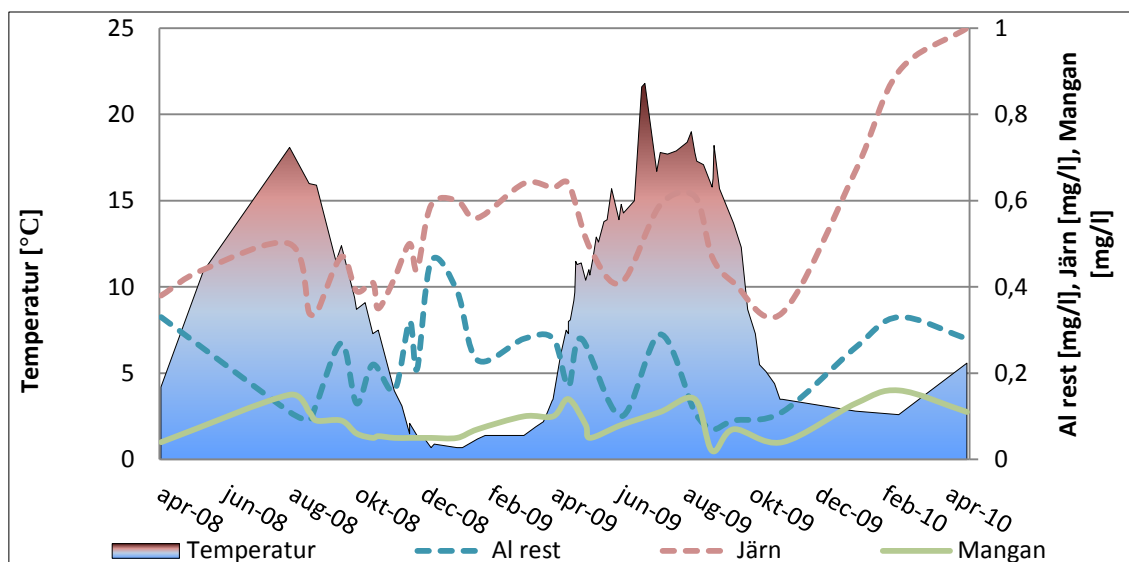


Figur 4-17. Normal- och medeltemperatur i Kristinehamn (SMHI (a), 2009)

Figur 4-18 och figur 4-19 visar råvattenkvaliteten för Kristinehamns vattenverk. Enligt utförda mätningar ökar både järn- och aluminiumhalten under vintern. Ökningen kan bero på en ökad tillrinning av grundvatten till sjön under vintern när marken är frusen samt försämrad syrehalt då sjön är isbelagd. Färg och turbiditet varierar något under året men inte i samma omfattning som i Lyckebyån.



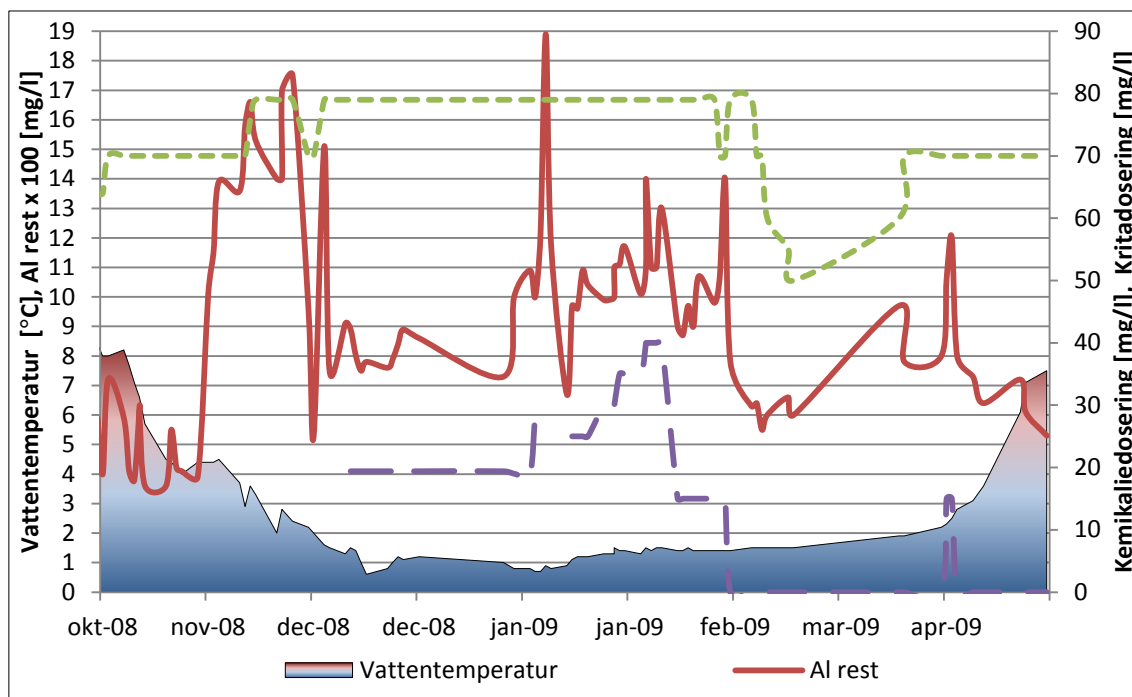
Figur 4-14. Råvattenkvalitet i Bergsjön, Kristinehamn, mellan april 2008 och april 2010



Figur 4-15. Råvattenkvalitet, Kristinehamns vattenverk, mellan april 2008 och april 2010

4.3.3 Driftdata och fullskaleförsök

Driftdata som presenteras i figur 4-16 visar att aluminiumresten ökar när temperaturen sjunker trots att kemikaliedoseringen och pH-värdet hålls konstant. När doseringen av krita påbörjades i december 2008 sjönk restaluminiumhalten fram till januari 2009 när restaluminium åter ökade.



Figur 4-16. Vattenkvalitet efter DynaSandfilter, driftdata från oktober 2008 till maj 2009
Kristinehamns vattenverk

Under 2009 har tester utförts av olika doseringar och doseringspunkter med ökad driftövervakning. Ett urval av driftfallen presenteras i tabell 4-2. Fallindelningen baseras på parametrarna aluminiumrest och alkalinitet efter DynaSandfiltren, vilka är de problematiska parametrarna.

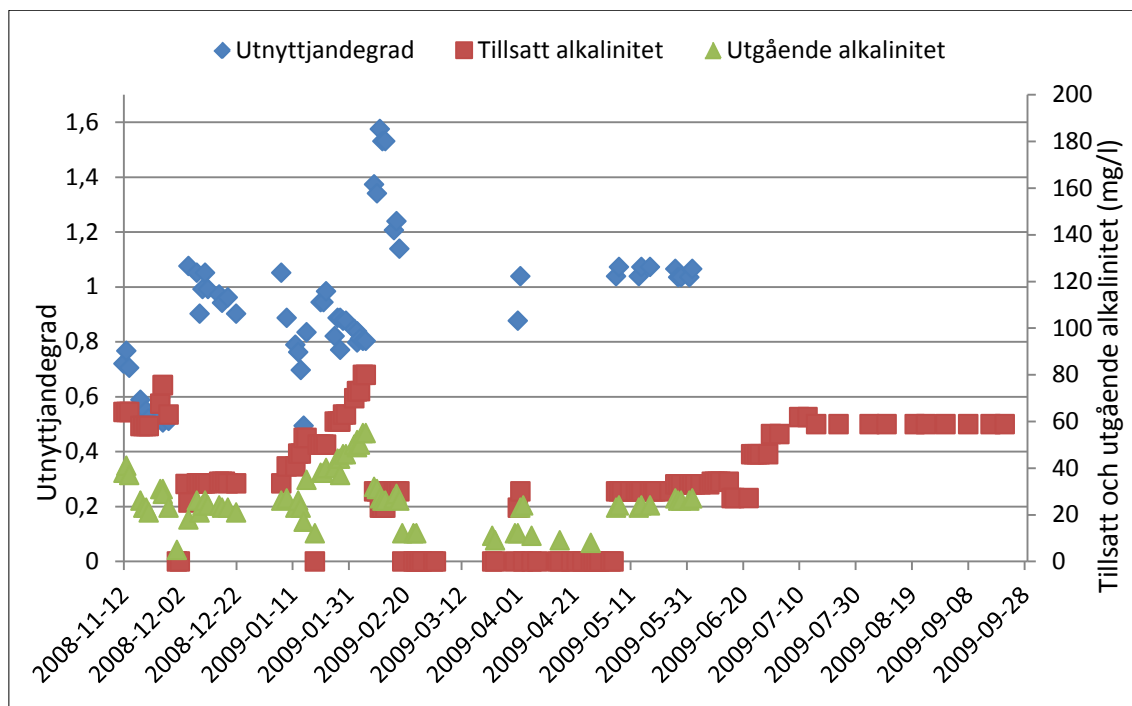
Värdena som presenteras i tabell 4-2 är medelvärden för olika driftfall som testats på Kristinehamns vattenverk för att ge en överblick av hur processen fungerar.

Tabell 4-2 indikerar att det stora problemet avseende aluminiumresten är temperaturberoende, samt att låg temperatur endast ger ett problem för aluminiumresten, ej för den övriga reningen med avseende på färg och turbiditet. Det framgår även att lägst aluminiumrest uppnås vid varmt vatten.

Tabell 4-1. Intrimningsdata för Kristinehamns vattenverk. För respektive driftfall presenteras medelvärden för råvattentemperatur (temp), turbiditet (turb 1) alkalinitet (alk 1) och färgtal (färg 1), liksom doseringar krita (CaCO_3), koldioxid (CO_2) och fällningskemikalie (PAC). För utgående vatten från DynaSandfiltren redovisas aluminium-rest (alrest) turbiditet (turb 2) alkalinitet (alk 2) och färgtal.

	1C		2C		3C	
	Råvatten	Efter DynaSand filtrering	Råvatten	Efter DynaSand filtrering	Råvatten	Efter DynaSand filtrering
Al rest >0.1 mg/l	Temp: 1.38	Al rest : 0.12	Temp: 0.80	Al rest : 0.12	Temp: 1.33	Al rest : 0.12
	Turb. 1:	Turb. 2: 0.28	Turb. 1:	Turb. 2: 0.29	Turb. 1:	Turb. 2: 0.25
	Alk. 1: 12.33	Alk. 2: 49.33	Alk. 1: 9.00	Alk. 2: 35.00	Alk. 1: 10.00	Alk. 2: 24.00
	Färg 1: 86.83	Färg 2: 6.33	Färg 1: 87.00	Färg 2: 6.00	Färg 1: 89.00	Färg 2: 4.00
	CaCO_3 : 36.67		CaCO_3 : 32.50		CaCO_3 : 19.25	
	CO_2 : 34.17		CO_2 : 25.00		CO_2 : 18.00	
	PAC: 79.00		PAC: 79.00		PAC: 74.50	
Al rest ≈0.1 mg/l	1B		2B		3B	
	Råvatten	Efter DynaSand filtrering	Råvatten	Efter DynaSand filtrering	Råvatten	Efter DynaSand filtrering
	Temp: 2.60	Al rest : 0.10	Temp: 3.57	Al rest : 0.10	Temp: 1.70	Al rest : 0.10
	Turb. 1:	Turb. 2: 0.26	Turb. 1:	Turb. 2: 0.21	Turb. 1:	Turb. 2: 0.21
	Alk. 1: 12.00	Alk. 2: 41.78	Alk. 1: 10.50	Alk. 2: 28.17	Alk. 1: 12.00	Alk. 2: 25.00
	Färg 1: 84.33	Färg 2: 6.00	Färg 1: 84.00	Färg 2: 5.33	Färg 1: 85.33	Färg 2: 4.67
	CaCO_3 : 31.62		CaCO_3 : 16.83		CaCO_3 : 15.00	
Al rest <0.1 mg/l	1A		2A		3A	
	Råvatten	Efter DynaSand filtrering	Råvatten	Efter DynaSand filtrering	Råvatten	Efter DynaSand filtrering
	Temp: 15.76	Al rest : 0.07	Temp: 14.16	Al rest : 0.06	Temp: 9.09	Al rest : 0.06
	Turb. 1:	Turb. 2: 0.19	Turb. 1:	Turb. 2: 0.15	Turb. 1:	Turb. 2: 0.15
	Alk. 1: 11.67	Alk. 2: 42.08	Alk. 1: 9.00	Alk. 2: 30.38	Alk. 1: 10.93	Alk. 2: 17.64
	Färg 1: 84.17	Färg 2: 5.37	Färg 1: 81.00	Färg 2: 3.88	Färg 1: 84.21	Färg 2: 3.25
	CaCO_3 : 35.00		CaCO_3 : 24.25		CaCO_3 : 9.54	
Alkalinitet >30 mg/l	CO_2 : 26.25		CO_2 : 17.75		CO_2 : 6.79	
	PAC: 70.00		PAC: 71.13		PAC: 69.57	
	Alkalinitet >30 mg/l		Alkalinity ≈30 mg/l		Alkalinity <30 mg/l	

I figur 4-17 visas tillförd och utgående alkalinitet för vattenreningen samt utnyttjandegraden för alkalinitet. Utnyttjandegraden avser andelen tillsatt alkalinitet som lösts i vattnet. Utnyttjandegraden 1 medför att all tillförd alkalinitet tillförs vattnet. Utnyttjandegrad lägre än 1 medför att endast en del av tillförd alkalinitet tillförs vattnet och utnyttjandegrad större än 1 medför att mer alkalinitet återfinns i vattnet än vad som tillförts. Utnyttjandegraden är korrigerad för alkalinitetsänkning orsakad av fällningskemikalien.



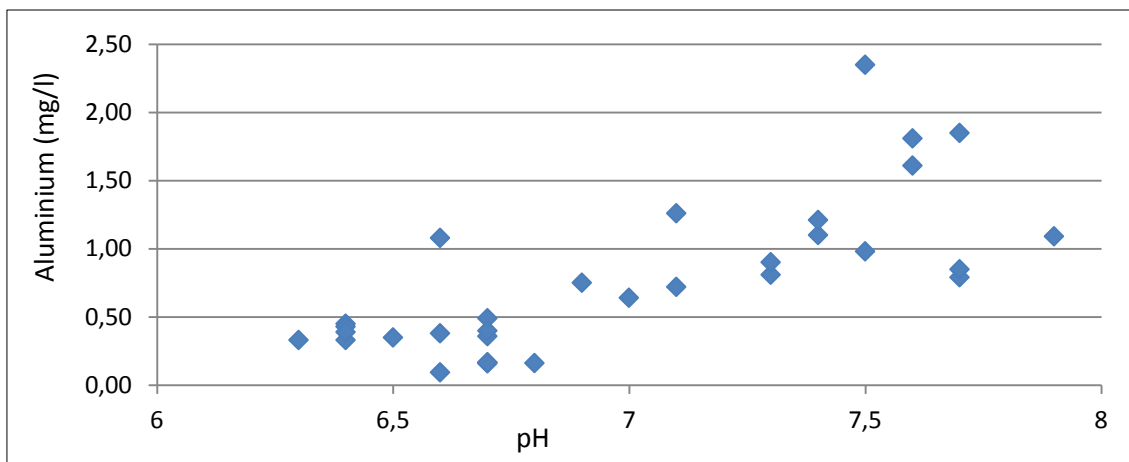
Figur 4-17. Utnyttjandegraden för tillsatt alkalinitet vid Kristinehamns vattenverk

Figur 4-21 visar att det tar ca en vecka innan full effekt av en doseringsförändring uppnås genom hela processen. Med hänsyn till responstiden för doseringen är det en trög process eftersom inte bara den korta uppehållstiden mellan dosering och utflöde från filter påverkar responstiden, utan även återfört tvättvatten och jämvikten i filtermassorna.

I uppstartsskedet är utnyttjandegraden låg för att därefter öka. I samband med ökning av doseringen sker ingen direkt respons, vilket ger en lägre utnyttjandegrad. En snabb sänkning av doseringen ger en momentan utnyttjandegrad över 1,0.

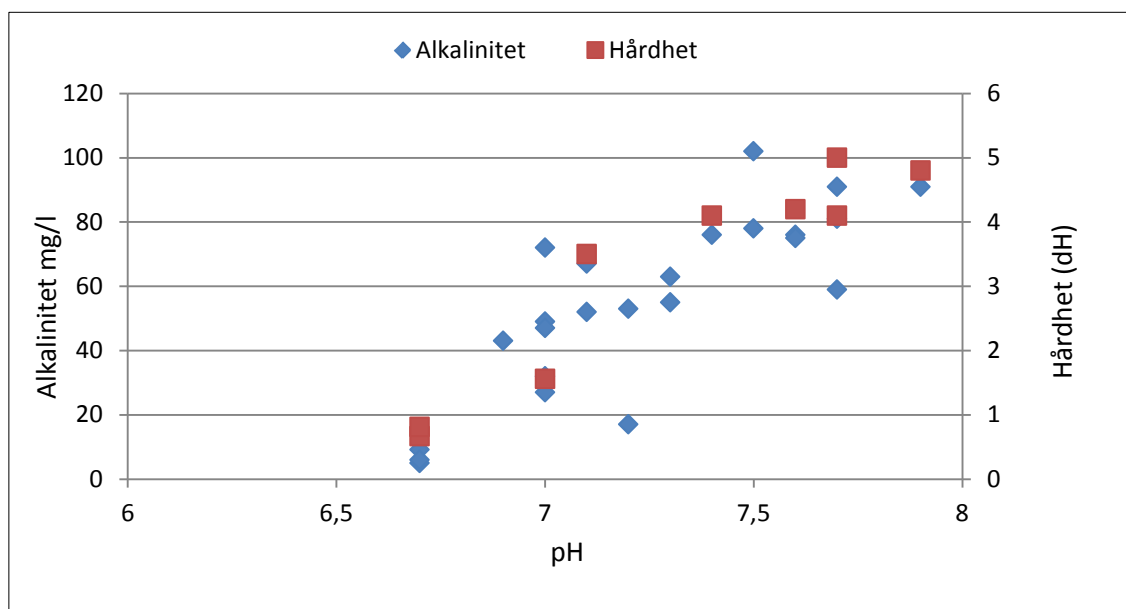
Återförandet av rejektvatten från lamellseparatorn är av intresse då det både tillför aluminium, hårdhet, kalk och ett relativt högt pH. Rejektvattenflödet från lamellsedimenteringen är relativt högt, ca 20 %, vilket medför att det har en påverkan på reningsprocessen. Flödet i sandtvätten

och lång kontaktid i lamellsedimenteringen medför att avskilda föroreningar och krita kan gå i lösning. Figur 4-18 och figur 4-19 visar rejektivattenkvalitet som funktion av pH.



Figur 4-18. Aluminiumhalten i förhållande till pH i rejektivatten från lamellsedimenteringen

Figur 4.22 visar på sambandet med att aluminium övergår i löst form $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ när pH höjs i enlighet med teorin. Lägst aluminiumrest från rejektivatten erhålls vid pH 6,3 i enlighet med teorin. En låg upplösningssgrad av krita medför en ökad andel olöst krita i tvättvattnet vilket höjer pH värdet och ökar både halten löst krita och aluminium i rejektivatten från lamellsedimenteringen. Vid 20 % tvättvattenflöde motsvarar aluminiumflödet från lamellsedimenteringen periodvis mer än 30 % av tillförd aluminium till reningsprocessen.



Figur 4-19. Alkalinitet och hårdhet i förhållande till pH i rejektivatten från lamellsedimenteringen

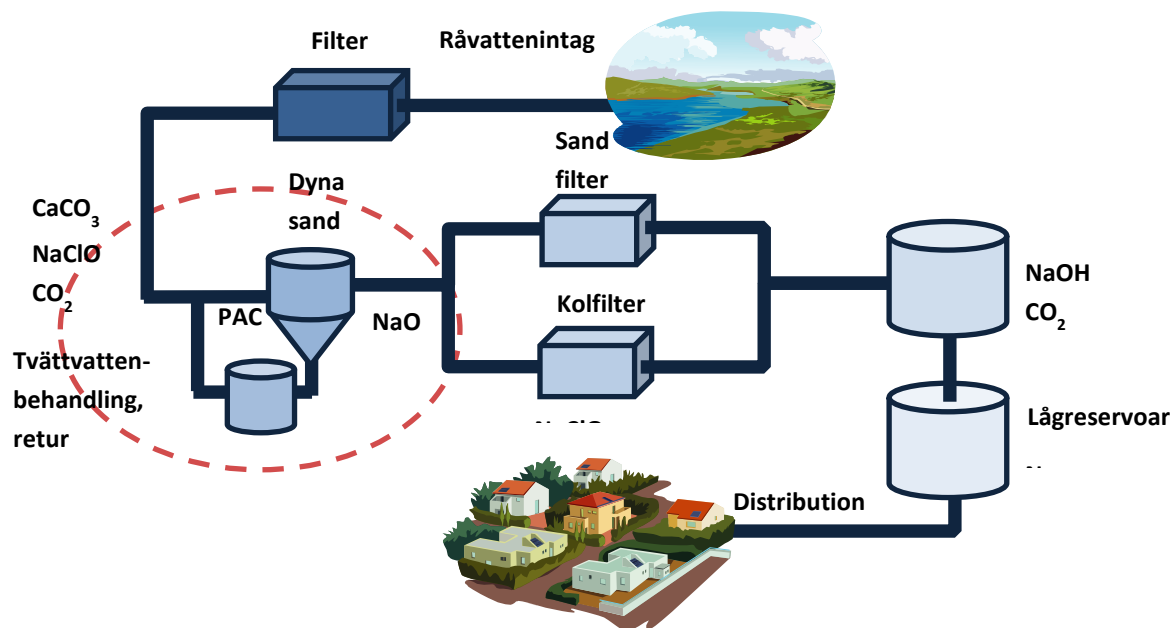
Alkalinitet och hårdhet i förhållande till pH i rejektvatten från lamellsedimenteringen visas i figur 4-19. Sambandet är naturligt, då det visar att upplösning av kritan höjer både hårdhet och alkalinitet såväl som pH-värdet. Vid 20 % tvättvattenflöde kan periodvis mer än 30 % av tillförd alkalinitet komma ifrån lamellsedimenteringen.

4.4 Lerums vattenverk

Lerums vattenverk, Öxsjöverket, har råvattentäkterna Öxsjön och Stamsjön. Vattenproduktionen på Öxsjöverket är ca 6 500 m³/dygn och vattenverket försörjer ca 20 000 konsumenter i Lerums kommun.

Under 1990-talet utfördes fullskaleförsök vid Lerums vattenverk. Försöken beskrivs i kapitel 4.4.3.

4.4.1 Process



Figur 4-24. Översiktlig processbild av Öxsjöverket, Lerum

Två pumpstationer pumpar råvatten från respektive vattentäkt till Öxsjöverket. Beroende av produktionsflöde och vattenkvalitet blandas olika proportioner vatten från råvattentäkterna. Vattnet filtreras innan krita-kolsyradosering sker på inkommande ledning. Efter ca 45 sekund tillsätts fällningskemikalien. Dosen bestäms av råvattenkvaliteten. Efter ytterligare ca en minut går vattnet in i DynaSandfiltren. Två tredjedelar av flödet pumpas vidare till kolfilter och resterande tredjedel pumpas till långsamfilter. Innan kolfilter/långsamfilter pH-justeras vattnet med lut för att höja pH-värdet. Klorering kan ske antingen på inkommande vatten eller innan lågreservoaren. För fullständigt processchema se bilaga 4.

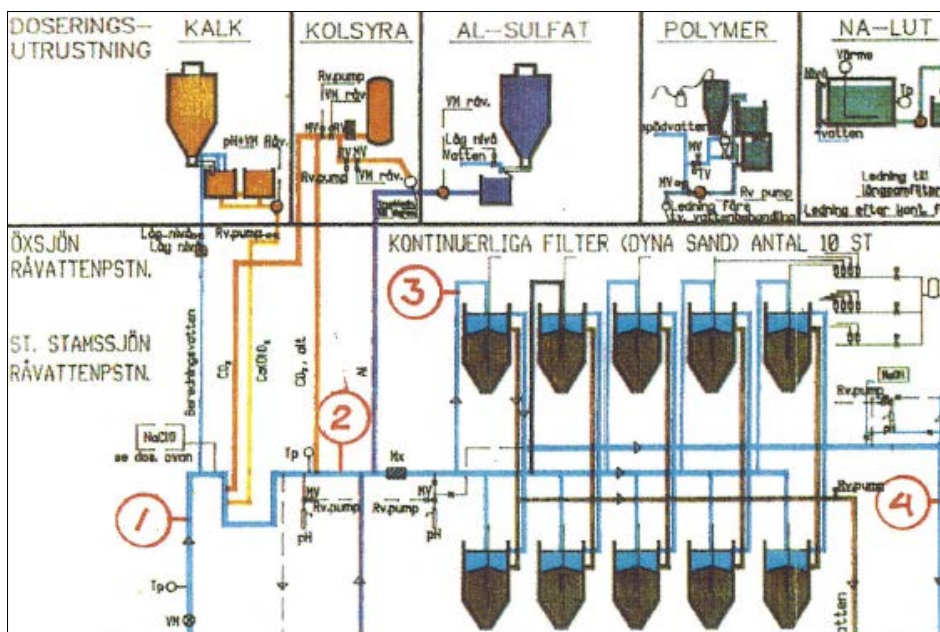
4.4.2 Råvattenkvalitet

Lerum har inte lika omfattande provtagning av sitt råvatten som de övriga vattenverken i denna studie. Orsaken till detta är att vattenkvaliteten visat sig vara relativt jämn med små variationer och att det därför inte finns någon anledning att belasta verksamheten med provtagning utöver den som krävs.

4.4.3 Fullskaleförsök

1995 publicerade Göthe och Israelsson en fullskalestudie vid Öxsjöverket där krita testades som ett alternativ till släckt kalk. Försöken påbörjades vintern 1993 och avslutades våren 1994. Målet med studien var att undersöka kritans löslighet samt belysa de ekonomiska skillnaderna mellan krita och släckt kalk.

57 mg/l krita tillsattes processen på inkommande ledning tillsammans med kolsyra. Olika sorter och fraktioner testades. 40 mg/l aluminiumsulfat tillsattes för fällningen. Vid tolv provtagningspunkter analyserades andelen löst krita samt aluminiumresten i vattnet. Här tas endast provpunkterna fram till och med Dynasandfiltren upp. Punkt 1 är inkommande råvatten, punkt 2 efter krita-kolsyradosering, punkt 3 efter kemikaliedosering och före DynaSandfiltren och punkt 4 efter DynaSandfiltren. Uppehållstiden mellan 1 och 2 uppgår till 60 sekunder, mellan 2 och 3 uppgår den till 15 sekunder och mellan 3 och 4 är uppehållstiden 30 minuter.



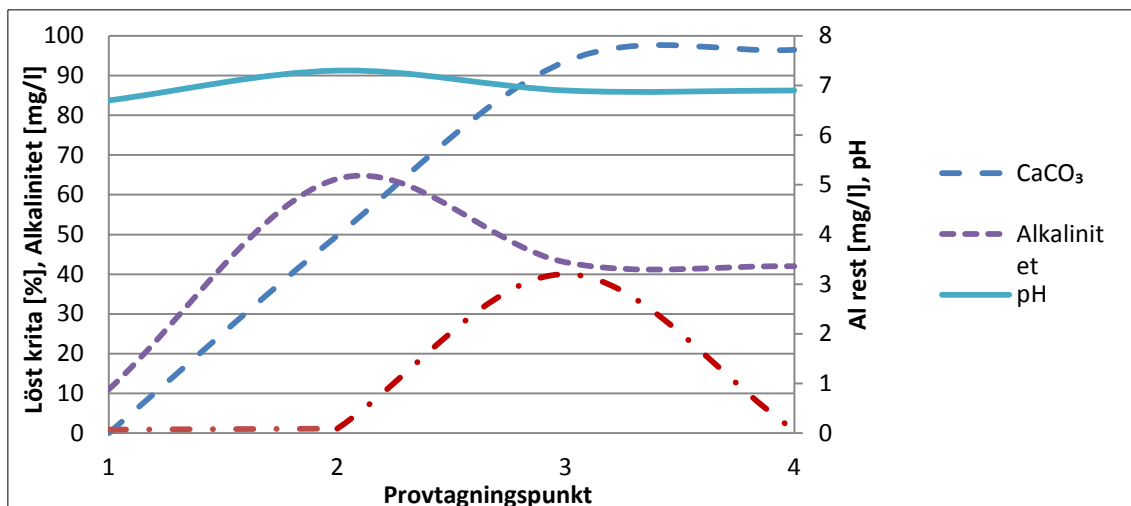
Figur 4-25. Utdrag från processema vid Öxsjöverket. Cirklarna markerar var provtagning skett avseende tabell 4-3 (Göthe & Israelsson, 1995)

Tabell 4-2 nedan redovisar delar av fullskaleförsöken från Lerums vattenverk vid punkt 1-4 enligt figur 4.25 ovan.

Tabell 4-2. Resultat av provtagning enligt Figur 4-25 i Öxsjöverket. Kritadosen var 57 mg/l, vilket motsvarar 17.1 mg kalcium. Data från Göthe & Israelsson (1995)

Punkt	Färg (mg/l)	Turbiditet FNU	COD _{Mn} (mg/l)	pH	Alkalinitet HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Al _{rest} (mg/l)	Ca _{tot} (mg/l)	Ca _{löst} (mg/l)	Ca _{löst} (%)
1	25	0.31	7	6.7	11	0.07	7	7	0,00
2	22	0.55	5	7.3	64	0.09	24	15.5	49.7
3	50	6.3	6	6.9	43	3.2	24.5	23	93.6
4	5	0.08	2	6.9	42	0.06	24	23.5	96.5

I figur 4-26 redovisas löst krita, alkalinitet, aluminiumrest och pH vid respektive punkt enligt figur 4-25. Från punkt 1 till punkt 3 ökar andelen löst krita. Kritans och kolsyrans upplösning medför att alkaliniteten ökar till dess att fällningskemikalien tillsätts innan punkt 3. Fällningskemikalien förbrukar mer alkalinitet än vad som frigörs vid upplösandet av den sista andelen olöst krita. Doseringen av fällningskemikalie innan punkt 3 sänker pH och ökar aluminiumresten. Genom filtren stabiliseras pH, kalciumhalten och alkalinitet medan aluminiumresten, färg, turbiditet och COD avlägsnas.



Figur 4-26. Utdrag från fullskaleförsök i Öxsjöverket (Göthe & Israelsson, 1995)

4.5 Jämförelse av processer vid de olika verken

Vattenverken skiljer sig åt med avseende på processutformning, upphållstider och kemikaliedosering. De viktigaste skillnaderna avseende upphållstider redovisas i tabell 4-4.

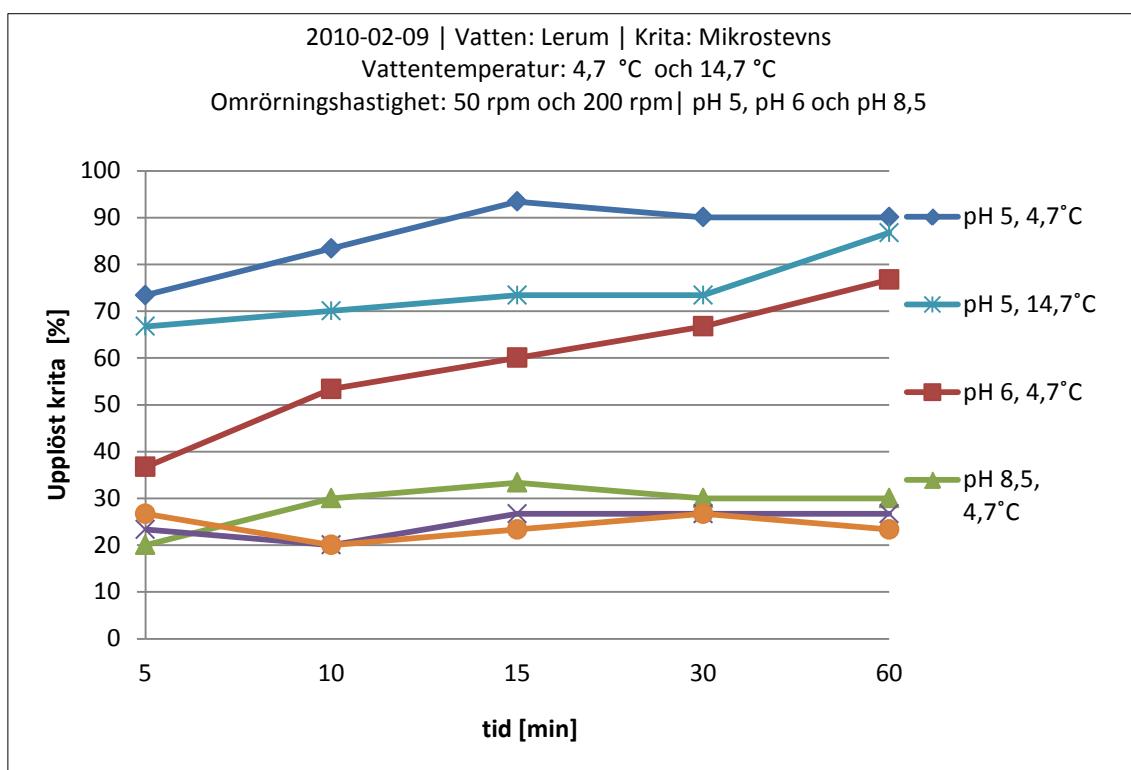
Tabell 4-4. Uppehållstiden mellan olika doseringar och processteg för de undersökta vattenverken vid medelvattenflöde

Vattenverk	Tid mellan kolsyre- och krita-dosering	Tid mellan krita- och fällningskemikaliedosering	Tid mellan fällningskemikaliedosering och filter	Uppehållstid i filter
Karlskrona	<10 s	45 min	-	60 min
Kristinehamn	0.5 s	35 s	-	15 min
Lerum	0 s	45 – 50 s	60 s	30 min

Karlskrona har lång upplösningstid för krita och det mesta av krita bedöms som upplöst innan kemikalietillsatsen. Lerum och Kristinehamn har en betydligt kortare upplösningstid vilket medför att en större andel olöst krita finns tillgänglig vid tillsats av fällningskemikalien. Lerum har en minuts kontakttid med både olöst krita och fällningskemikalie, vilket inget av de andra verken har.

5 Metodtest Lerum

Ett metodtest för att utforma labbförsöken utfördes i februari 2010 på råvatten från Lerums vattenverk. Målet var att testa försöksmetoder och få en uppfattning om vilka faktorer som har störst betydelse för reningsprocessen. Försöket syftade även till att se vilken temperatur, antal prov m.m. som varit möjliga göra. Resultaten gav ej någon större variation mellan temperaturerna 4 och 15 °C, se figur 5-1, vid kontakttid större än 10 minuter. Detta medförde att mer fokus fick läggas på kylning av vattnet, då låg temperatur för både Kristinehamn och Karlskrona är under 1 °C, samt på de första tio minuterna. Två försöksomgångar lades upp för att undersöka huruvida det bara är temperaturen som påverkar, eller om säsongsvariationen avseende råvattenkvaliteten är av betydelse.



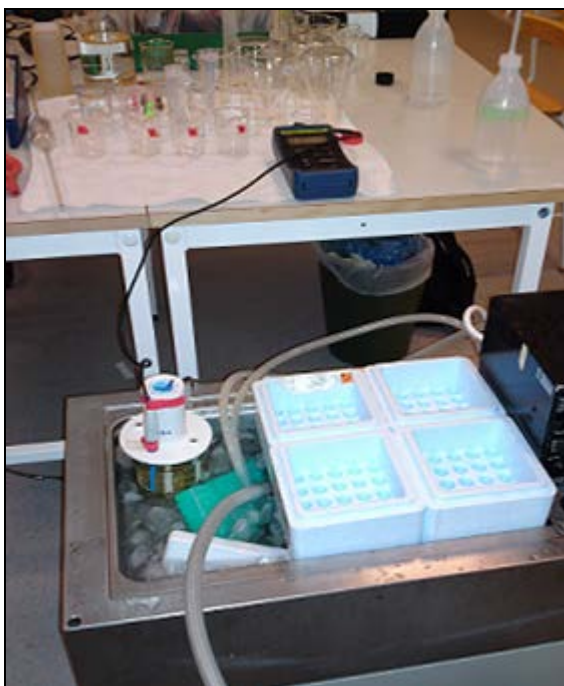
Figur 5-1. Kritans löslighet vid olika pH och temperatur, metodtest inför försöken.

6 Försöksomgång I: Löslighet av krita och aluminiumrest

6.1 Försöksbeskrivning

I försöksomgång I har råvatten från Kristinehamn, Karlskrona och Lerum undersökts med avseende på kriticalösighet och aluminiumrest. Försöksupplägget redovisas i bilaga 5, där även en noggrann beskrivning av genomförandet görs.

15 l råvatten i dunkar á 1 l inhämtades från varje vattenverk och transporterades i kylväskor till Chalmers laboratorium där vattnet förvarades i kylskåp. Med hjälp av ett kylaggregat med vattentank ovanpå, ett externt kylaggregat samt is och kylklampar kylades en bägare med en provvolym på 1 l råvatten ned till ca 0,5 °C respektive ca 15 °C, se figur 6-1. I bägaren placerades en omrörare, pH- och temperaturmätare samt en slang för koldioxid tillförsel, se figur 6-2. Hastigheten på omröraren kunde ej varieras och i försöket testas omrörningshastigheten 20 respektive 50 varv/minut. Önskat pH upprätthölls med dosering av kolsyra under testet då krita kraftigt höjer pH-värdet för råvattnet. Krita och fällningsmedel tillsattes till bägaren.



Figur 6-1. Försöksutrustning med provbägare, vattenbad, pH-mätare och CO₂-dosering



Figur 6-2. Provbägare, omrörare och pH-mätare i vattenbadet

Samverkan mellan fällningskemikalie och krita testades i två fall, se tabell 6-1 för upplägg. Det första utfördes genom att lösa krita vid temperatur 0,5 °C respektive 15 °C samt vid olika pH mellan 5 och 7, vilket är normalt på vattenverken. Temperatur under 1 °C motsvarar vinterextremen, medan 15 °C motsvarar normal sommartemperatur. Efter tio minuter tillsattes fällningskemikalien och aluminiumresten mättes efter två, fyra och sju minuter.

I det andra fallet ändrades doseringsordningen. Fällningskemikalien tillsattes först och en tydlig sänkning av pH skedde. pH-fallet bör härvid ge gynnsamma förhållanden för kritans upplösningshastighet. Aluminiumhalten mättes efter två, fyra och sju minuter. Efter åtta minuter tillsattes krita och halten löst krita mättes under återstående tid. Uppehållstiden var relativt kort men den största effekten sker relativt fort och tiden bedömdes vara tillräcklig, med hänsyn till att det mesta sker inom ca fem minuter. Avsikten var att bedöma hur alkalinitetshöjningen påverkade aluminiumresten.

Tabell 6-1. Doserings- och analysordning, se bilaga 5 för ytterligare förklaring

Fall 1 – CaCO ₃ tillsatt före PAC		Fall 2 – PAC tillsatt före CaCO ₃	
Tid (min)	Aktivitet	Tid (min)	Aktivitet
0	Kritadosering	0	PAC-dosering
1	Mätning av löst kalcium	2	Mätning av Al-rest
4	Mätning av löst kalcium	4	Mätning av Al-rest
7	Mätning av löst kalcium	7	Mätning av Al-rest
		8	Kritadosering
10	Mätning av löst kalcium PAC-dosering	9	Mätning av löst kalcium
12	Mätning av Al-rest	12	Mätning av löst kalcium
14	Mätning av Al-rest	15	Mätning av löst kalcium
17	Mätning av löst kalcium Mätning av Al-rest	17	Mätning av löst kalcium Mätning av Al-rest

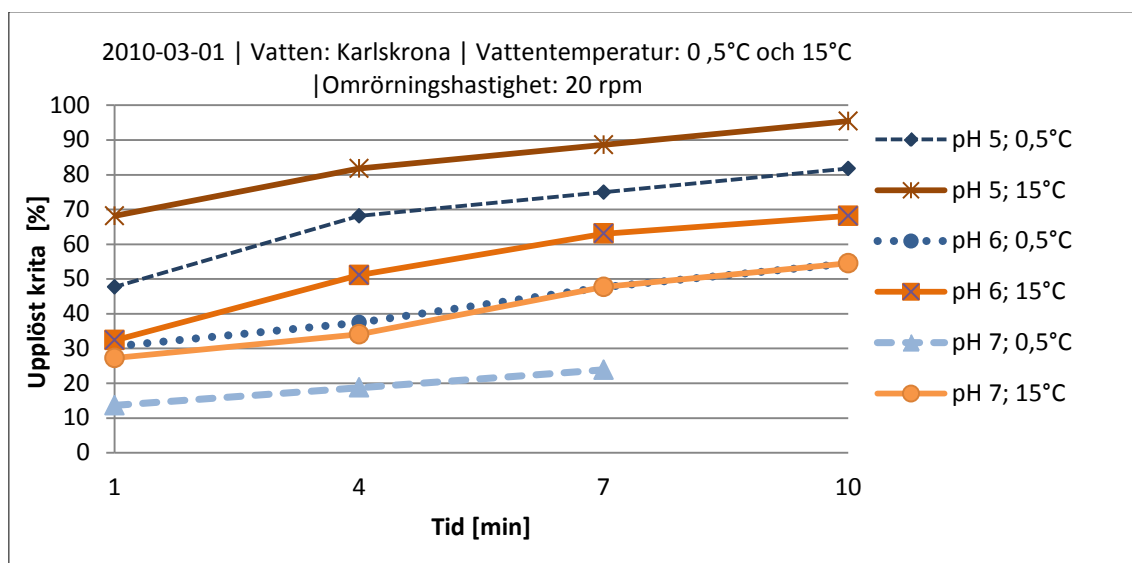
6.2 Resultat försöksomgång I

I detta kapitel presenteras delar av resultaten från försöksomgång I för de olika råvattnen. Övriga resultat från försöksomgång I presenteras i bilaga 7.

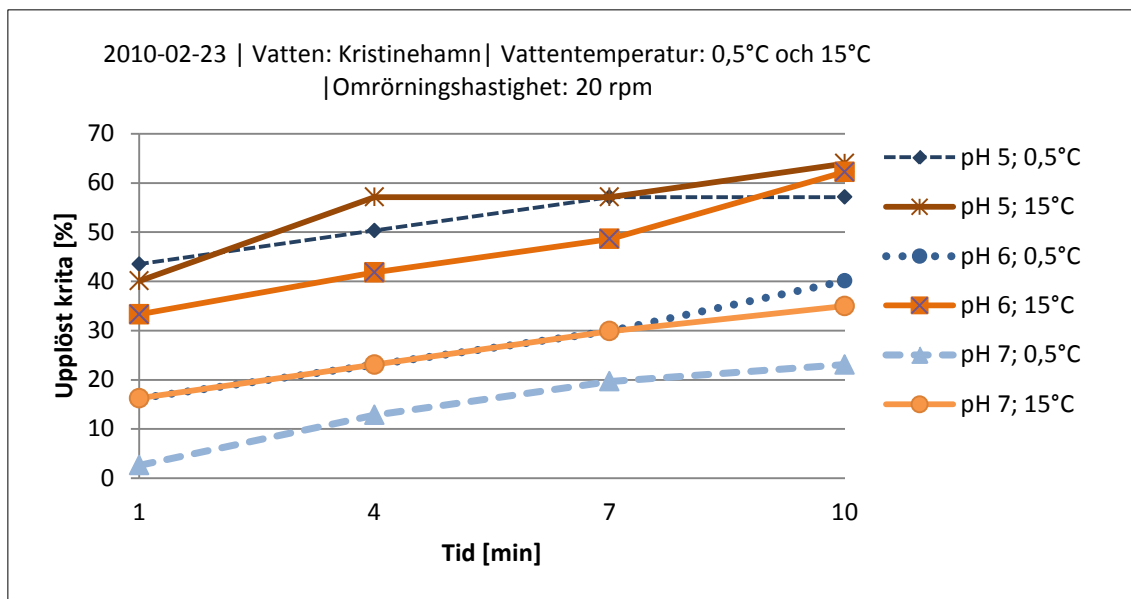
6.2.1 Kritans löslighet vid olika pH och temperaturer

Kritans upplösning presenteras nedan som funktion av tiden, vid olika pH och temperaturer. Diagrammen visar att upplösningshastigheten ökar vid lågt pH och hög temperatur. Mycket av upplösningen sker under första minuten och därefter påvisas en långsam upplösning. Inom de första fyra minuterna har mer än hälften av kritan lösts, vilket stämmer väl med teorin.

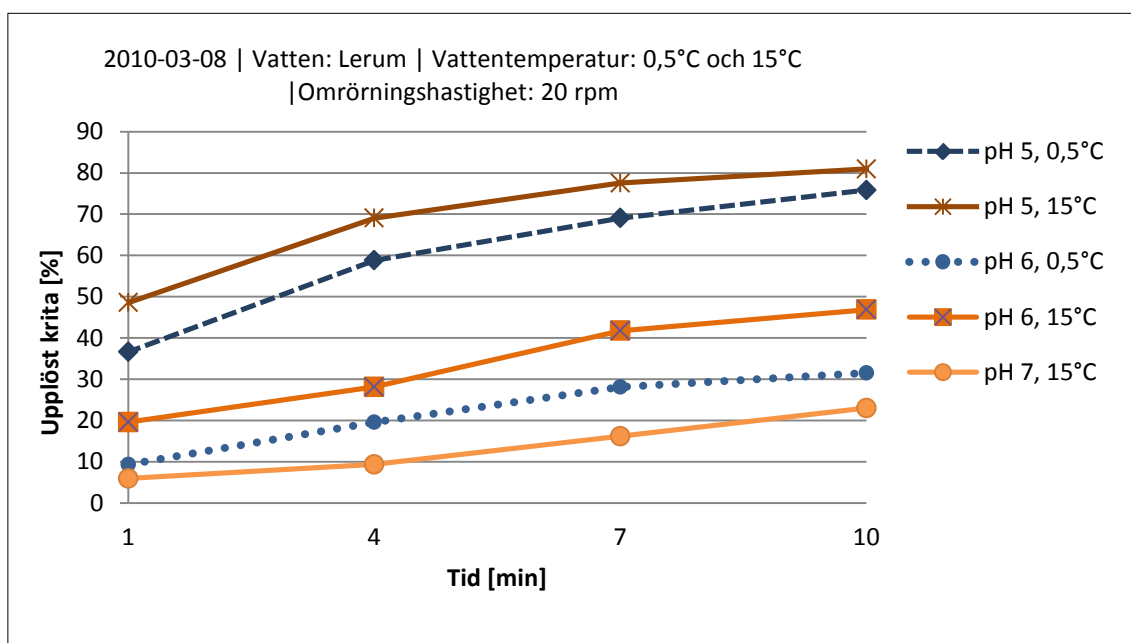
En minskning av pH med en enhet resulterar i en ökning av lösligheten med ca 20 procentenheter. pH-förändringen på en enhet borde i teorin öka upplösningshastigheten med ca 10 ggr. Detta ger dock inte fullt utslag, eftersom tillsatt dos begränsar den totala upplösningen samt att kornfraktionerna inverkar. För att jämföra upplösningshastigheterna krävs betydligt tätare mätdata än vad dessa försök kan uppbära. Försöket ger ett skenbart samband av en fördubbling av upplösningshastigheten mellan en och tio minuter. En påverkande faktor är att den finkorniga andelen krita löses avsevärt snabbare, vilket ger upphov till att detta inte syns i utvärderingen. Den krita som finns kvar efter en minut är betydligt mer svårlöst, vilket är en av anledningarna till att det "bara" rör sig om en fördubbling av upplösningshastigheten.



Figur 6-1. Löslighet av krita vid olika vattentemperaturer och pH-värde, Karlskrona



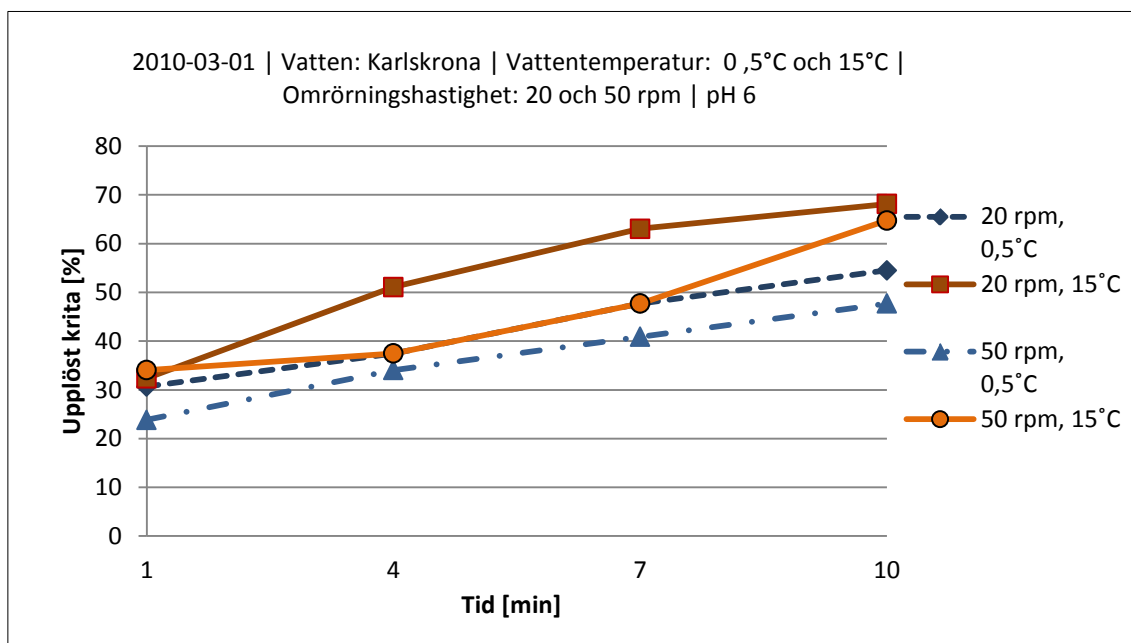
Figur 6-2. Lösighet av krita vid olika vattentemperaturer och pH-värde, Kristinehamn



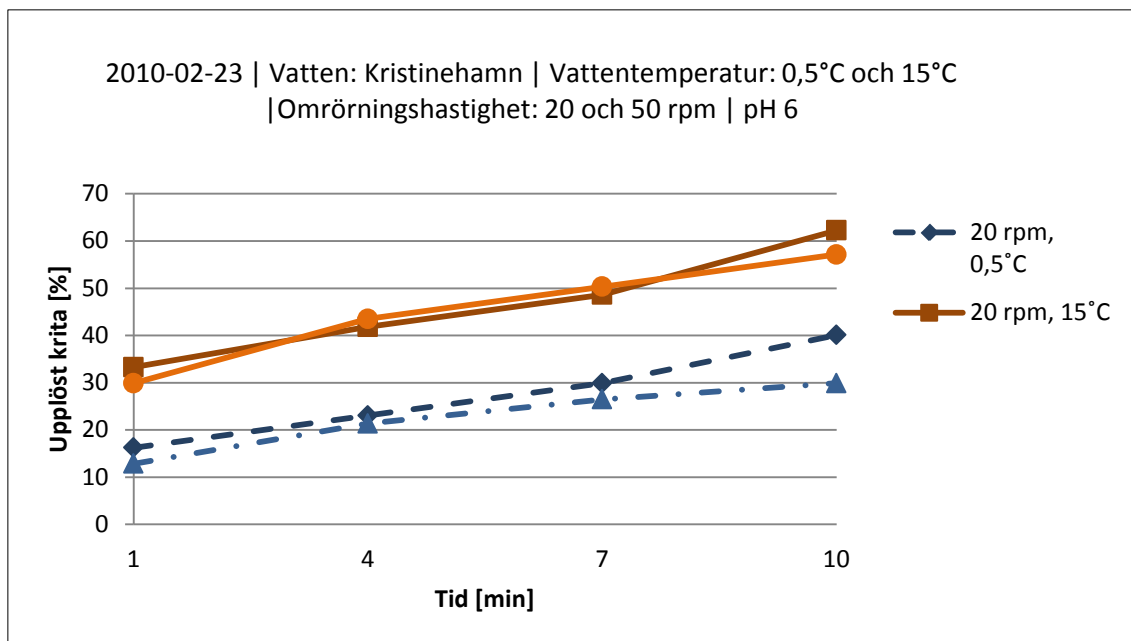
Figur 6-3. Lösighet av krita vid olika vattentemperaturer och pH-värde, Lerum
Lösligheten vid pH 7 och 0.5 °C är inte plottad p.g.a. försöksfel

6.2.2 Omrörningens effekt på kritans upplösning

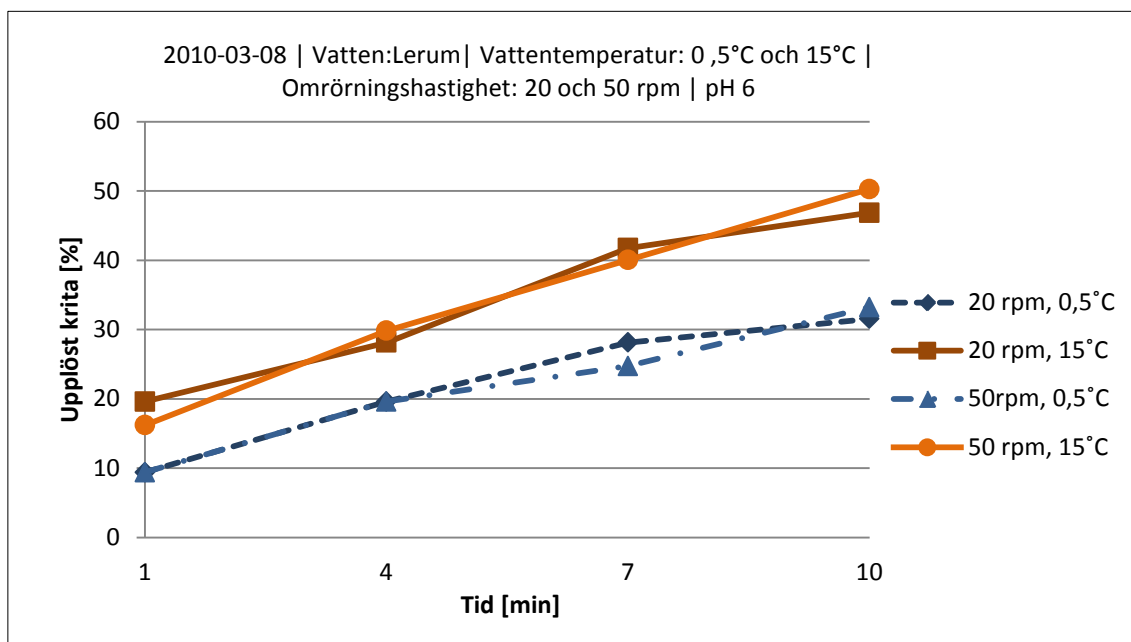
Två olika omrörningshastigheter testades vid pH 6 och temperaturer om 0,5 respektive 15 °C. Ökad omrörningshastighet verkar ej ha någon betydelse för upplösningen av krita. Det finns dock en antydning till lägre upplösningshastighet vid 50 rpm än vid 20 rpm, vilket troligtvis har andra förklaringar än endast omrörningshastigheten.



Figur 6-4. Olika omrörningshastighet och dess effekt på kritans löslighet, Karlskrona



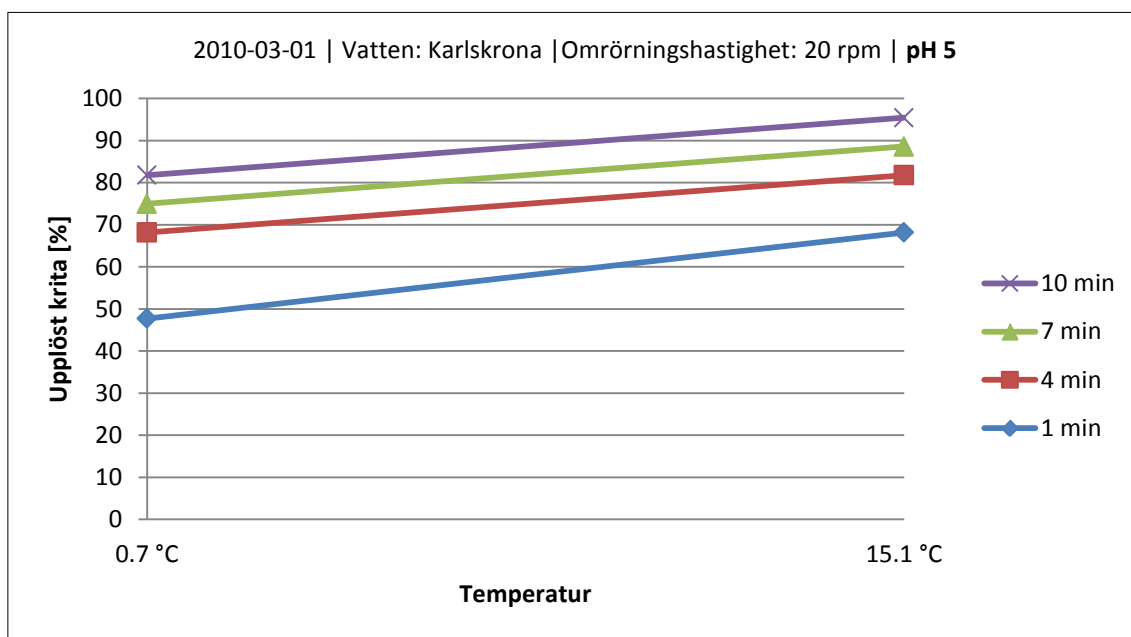
Figur 6-5. Olika omrörningshastighet och dess effekt på kritans löslighet, Kristinehamn



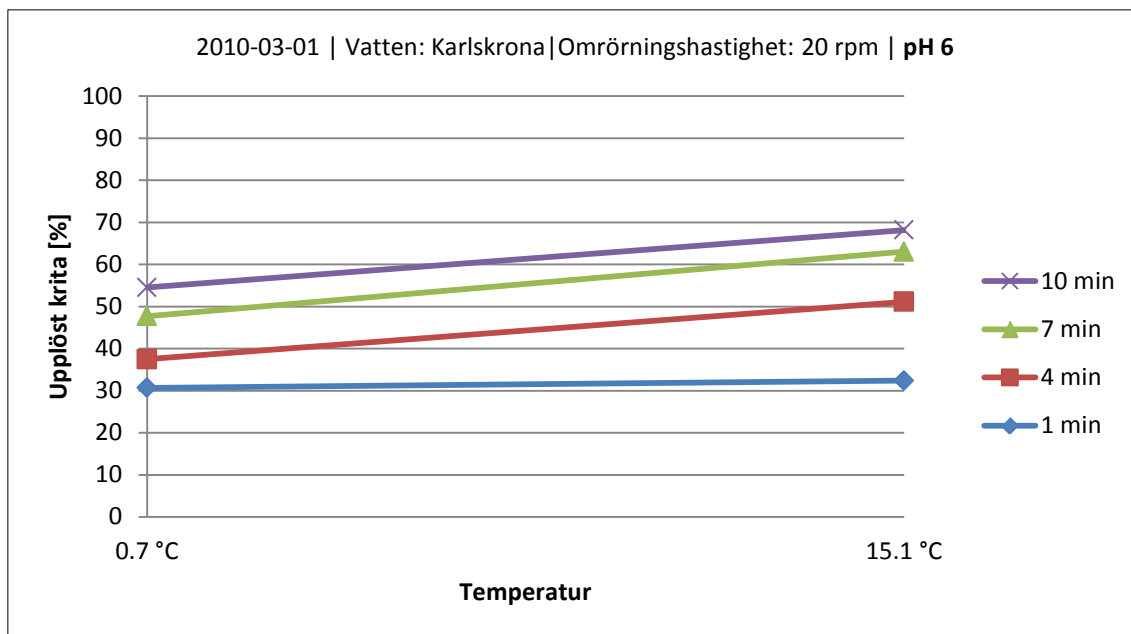
Figur 6-6. Olika omrörningshastighet och dess effekt på kritans löslighet, Lerum

6.2.3 Temperaturens effekt på kritans upplösning

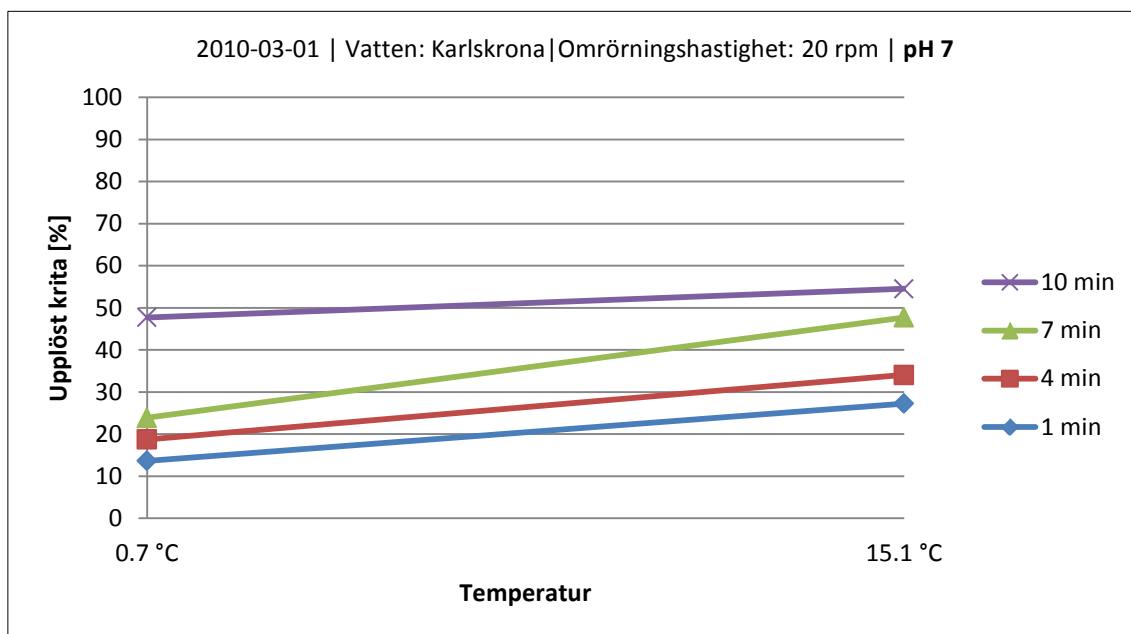
Temperaturens påverkan på kritans löslighet vid 0,5 °C respektive 15 °C presenteras nedan. Mätningarna har endast utförts vid två olika temperaturer, men enligt metodtestet som utfördes på Lerums råvatten konstaterades att skillnaden i upplösningshastigheten inte var särskilt stor när vattnet endast avkyldes till 4,7 °C. Där konstaterades att den stora skillnaden skedde de första tio minuterna och att låg temperatur är lägre än 4 °C. Extremtemperaturerna som orsakar problem i vattenverken är 0-1 °C, så detta valdes som försökstemperatur. Som grov tumregel ökar lösligheten inom givna förhållanden med omkring en procentenhet per grad. Liknande kurvor för Kristinehamn och Lerum presenteras i bilaga 7.



Figur 6.1. Kritans löslighet som funktion av vattentemperaturen vid pH 5, Karlskrona



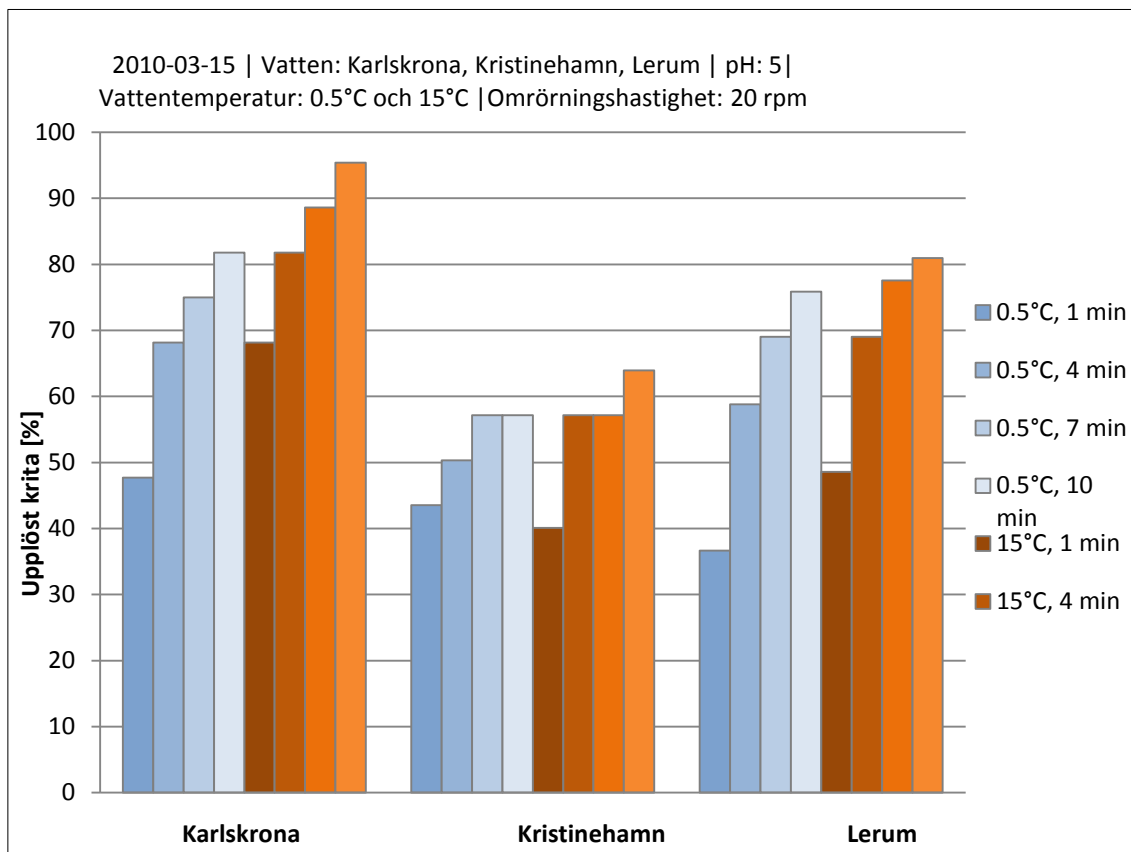
Figur 6-7. Kritis löslighet som funktion av vattentemperaturen vid pH 6, Karlskrona



Figur 6-8. Kritis löslighet som funktion av vattentemperaturen vid pH 7, Karlskrona

6.2.4 Råvattenkvalitet och kritans löslighet

En jämförelse av kritans upplösning i de olika råvattnen visar att upplösningshastigheten skiljer sig avsevärt enligt figur 6-11. Med hänsyn till att upplösningförsöken utfördes under lika förhållanden avseende pH, omrörningshastighet, temperatur och samma laboratorium bedöms råvattenkvaliteten vara orsaken till skillnaderna.

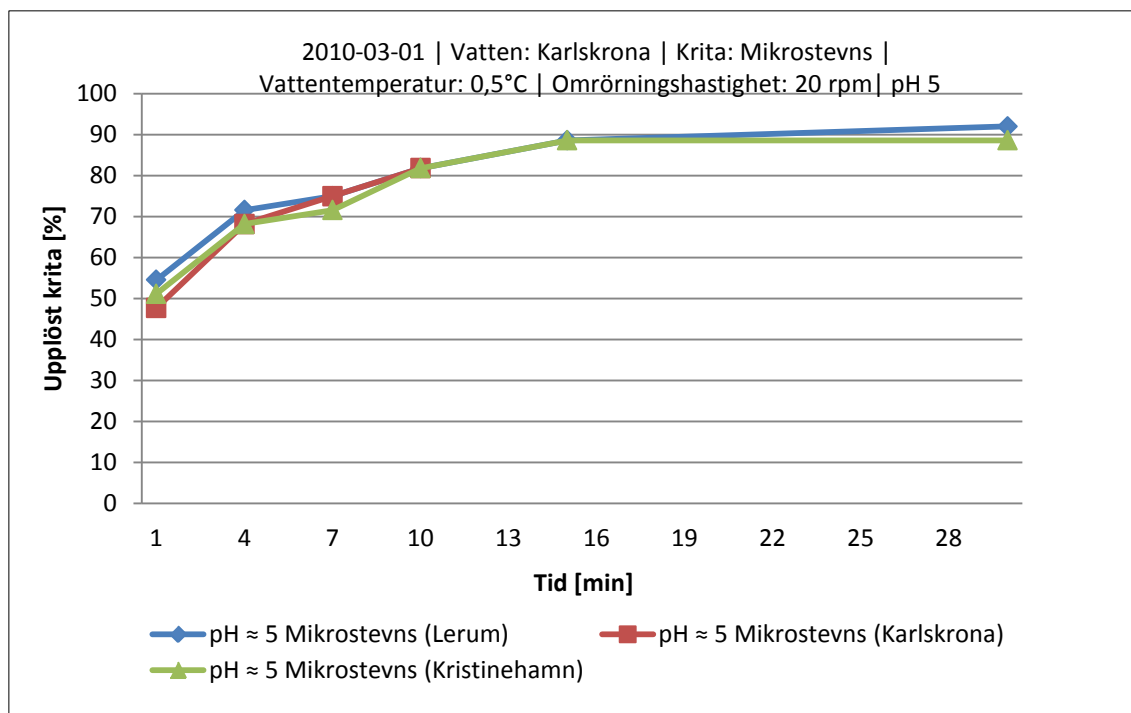


Figur 6-11. Jämförelse av kritans löslighet vid pH 5 för råvatten med olika egenskaper och kvalitet.

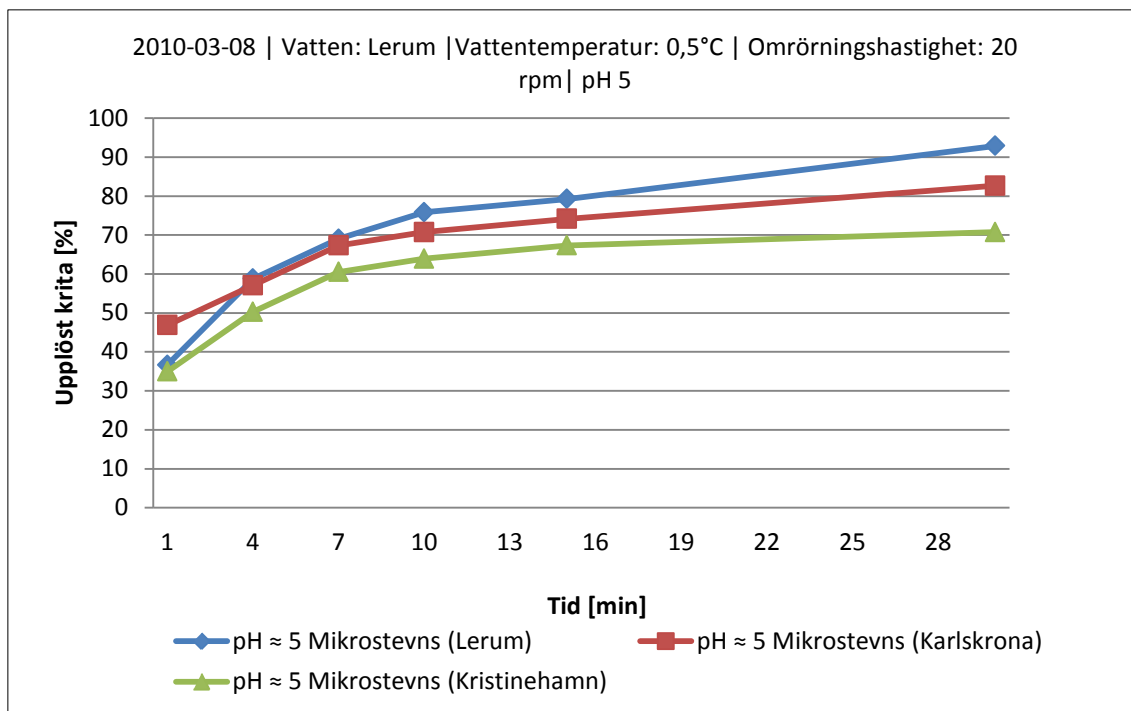
Tabell 6-2. Råvattenkvalitet vid försöksomgång I

Råvatten	Karlskrona	Kristinehamn	Lerum
Färg (mg Pt/l)	125	100	19
Turbiditet (FNU)	3	4,6	0,25
Alkalinitet (mg/l)	15,5	9	11
Mn (mg/l)	0,091	0,13	0,2
Fe (mg/l)	1,81	0,67	0,013
Hårdhet (°dH)	1,5	0,79	0,037
Al (mg/l)	0,204	0,26	0,072
Ca (mg/l)	6,41	3,7	6,11
COD (mg/l)	15,5	14	N/A

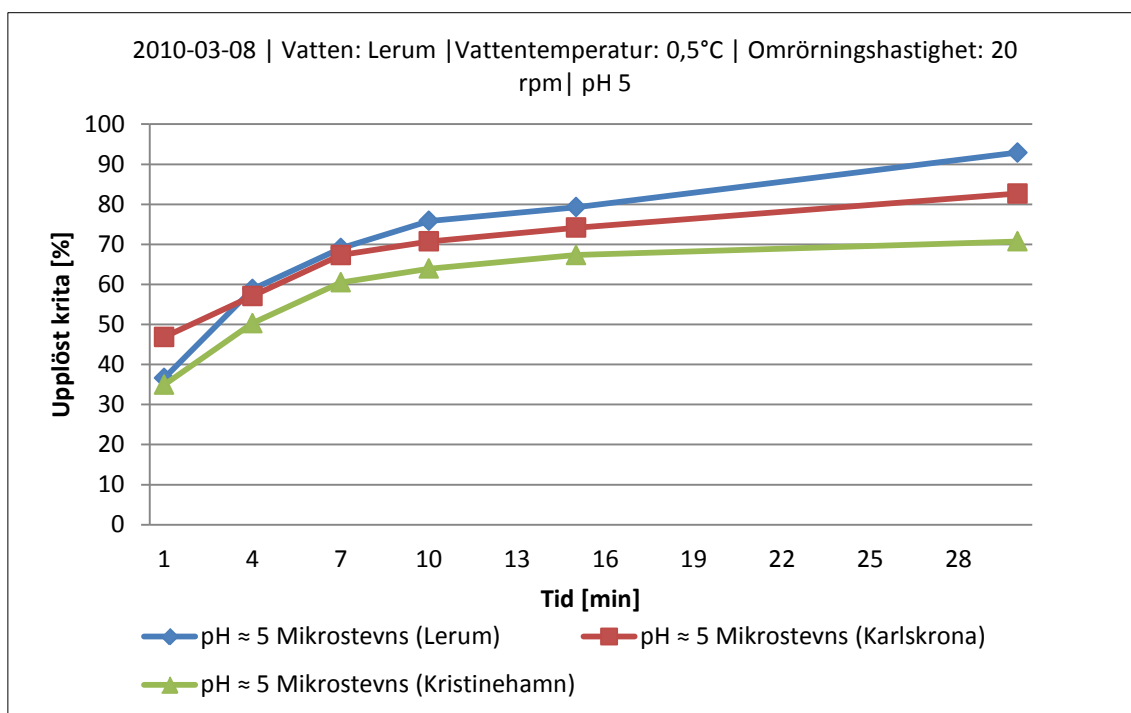
Samtliga vatten har testats med krita från de olika verken. Jämförelsen är utförd vid pH 5, 20 rpm och 0,5 °C. Den generella tendensen är att krita som används vid Lerum vattenverk löser sig något bättre än övriga. Detta kan bero på heterogenitet i krita, d.v.s. olika kornfraktioner eller mindre andel övriga substanser. Karlskronas råvatten uppvisar en mycket jämn upplösning mellan de olika kriterierna.



Figur 6-12. Tre typer av krita löst i Karlskrona råvatten. Lösligheten för Mikrostevnns (Karlskrona) mättes endast de tio första minuterna och är därför svår att jämföra med



Figur 6-13. Tre typer av krita löst i Kristinehamns råvatten. Lösligheten för Kristinehamns krita mättes endast de tio första minuterna och är därför svår att jämföra med



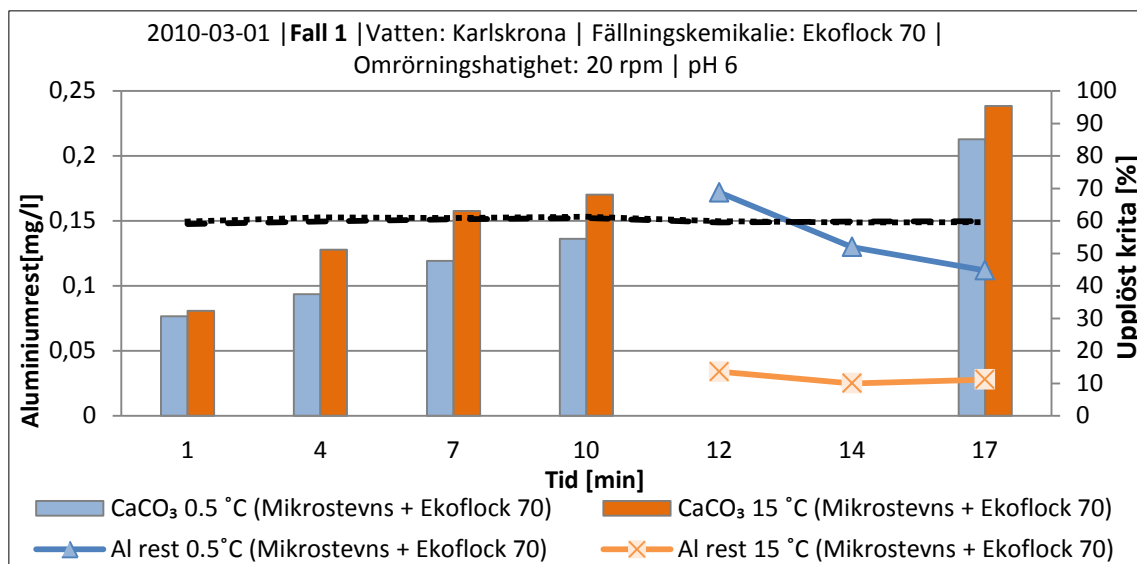
Figur 6-14. Tre typer av krita löst i Lerums råvatten

6.2.5 Kritans påverkan på aluminiumrest vid kemisk fällning

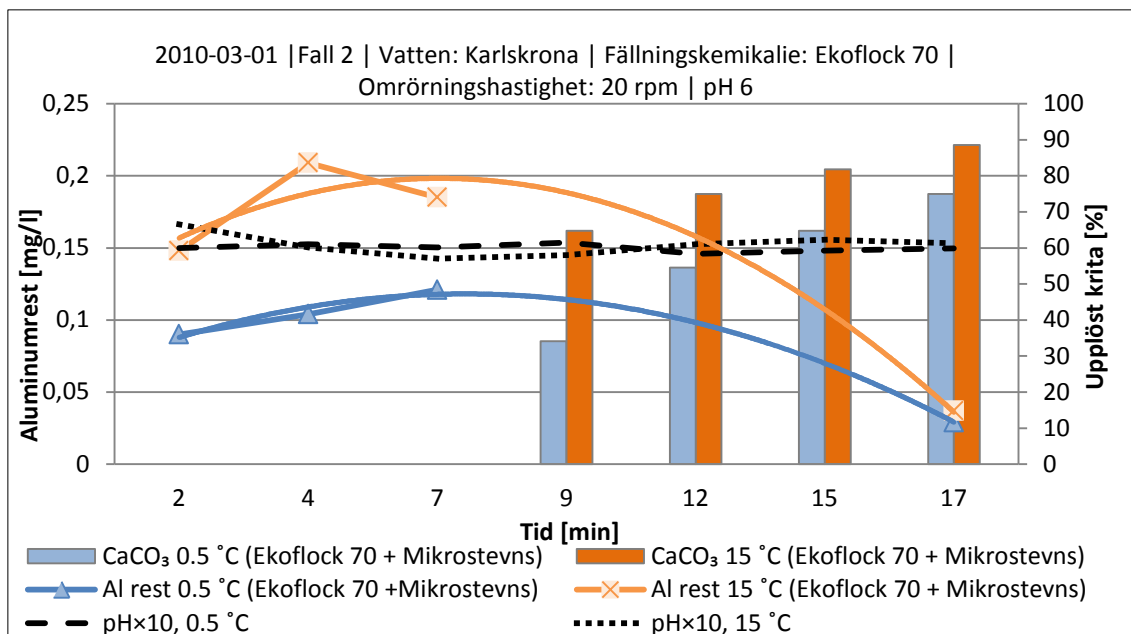
Inblandningsordningens påverkan på slutresultatet undersöktes. I detta försök testades först upplösning av krita och därefter inblandning av fällningskemikalie, varpå försöket utfördes i omvänd ordning, illustrerat i tabell 6-1.

Av figur 6-15 och figur 6-16 från Karlskrona framgår följande:

- Fall 1: Kallt vatten ger en högre aluminiumrest än varmt vatten
- Fall 2: Efter krita tillsats sjunker restaluminiumhalten till en låg nivå för båda fallen
- Jämförelse mellan fall 1 och 2: Kritans upplösningshastighet gynnas av försmurningen orsakad av fällningskemikalien. Aluminiumresten blir låg för såväl kallt som varmt vatten, när krita tillsätts efter fällningskemikalien



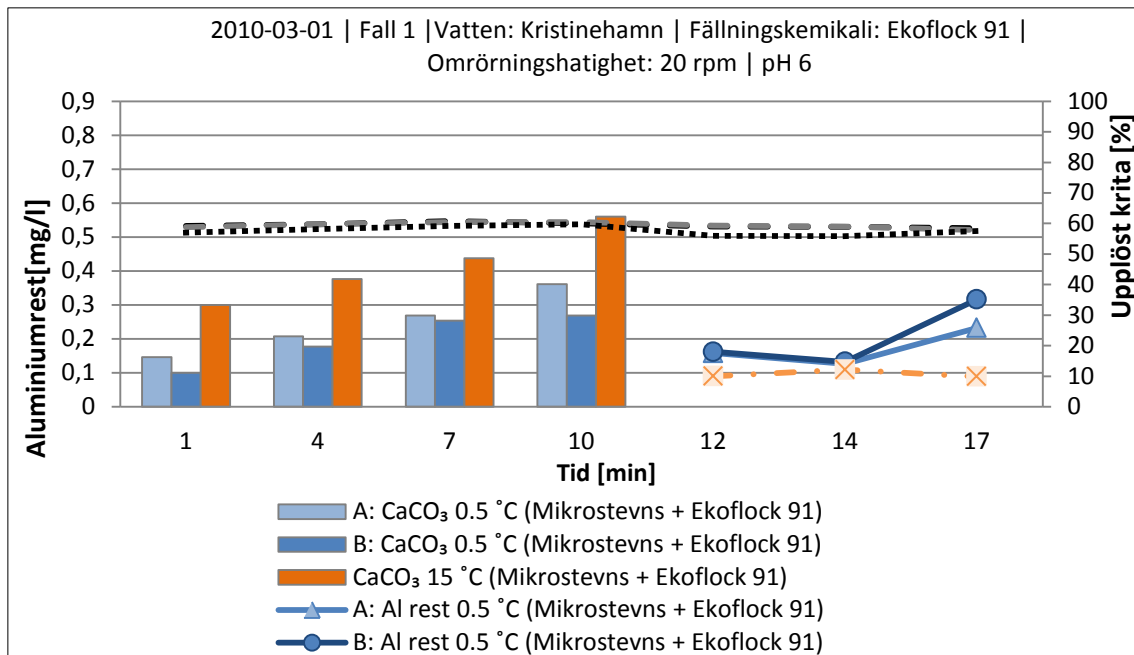
Figur 6-15. Krita doseras före fällningskemikalien, Karlskrona



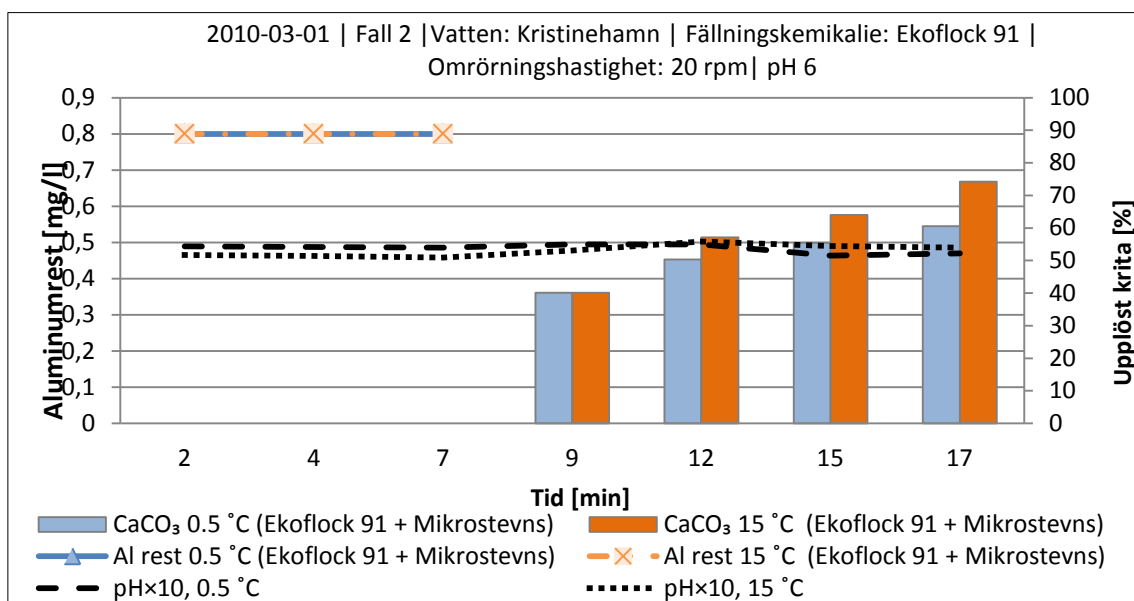
Figur 6-16. Fällningskemikalie doseras före krita, Karlskrona

Av Figur 6-17 och Figur 6-18 från Kristinehamn framgår följande:

- Fall 1: Kallt vatten ger en något högre aluminiumrest än varmt
- Fall 2: Aluminiumresten var > 0,800 mg/l (större än maxhalten för analysen) innan krita tillsatsen. På grund av problem vid försöket mättes kunde inte aluminiumhalten mätas efter krita tillsatsen
- Jämförelse mellan fall 1 och 2: Krita's upplösningshastighet gynnas av försurning orsakad av fällningskemikalien



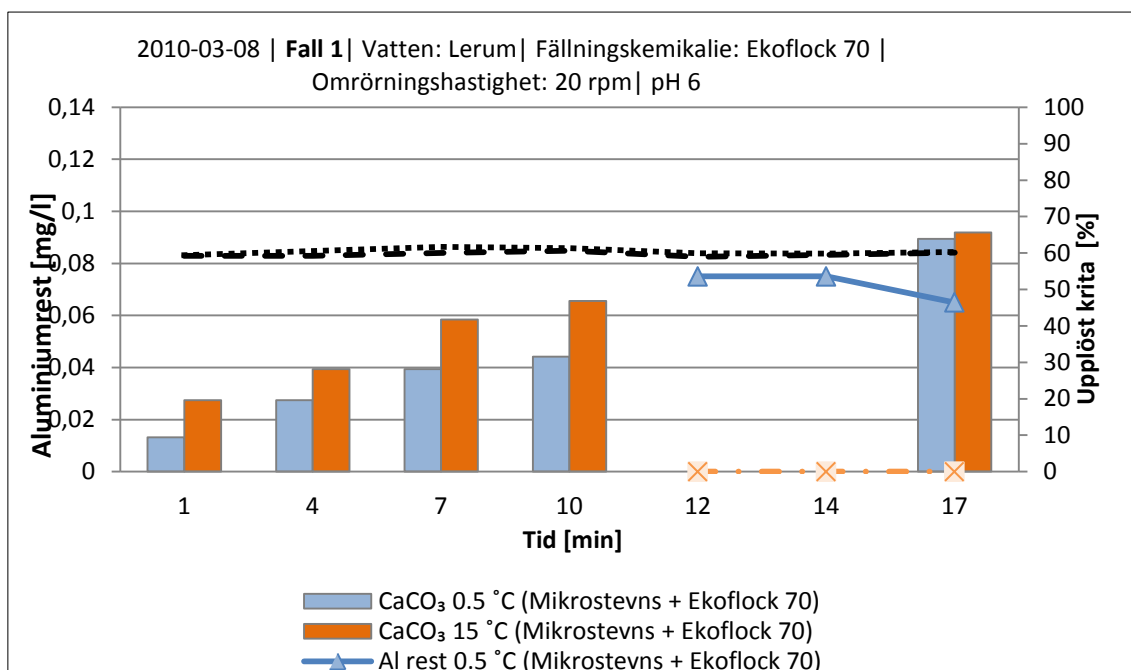
Figur 6-17. Krita doserades före fällningskemikalien, Kristinehamn. Kallvattenförsöket upprepades för att testa repeterbarheten av försöket



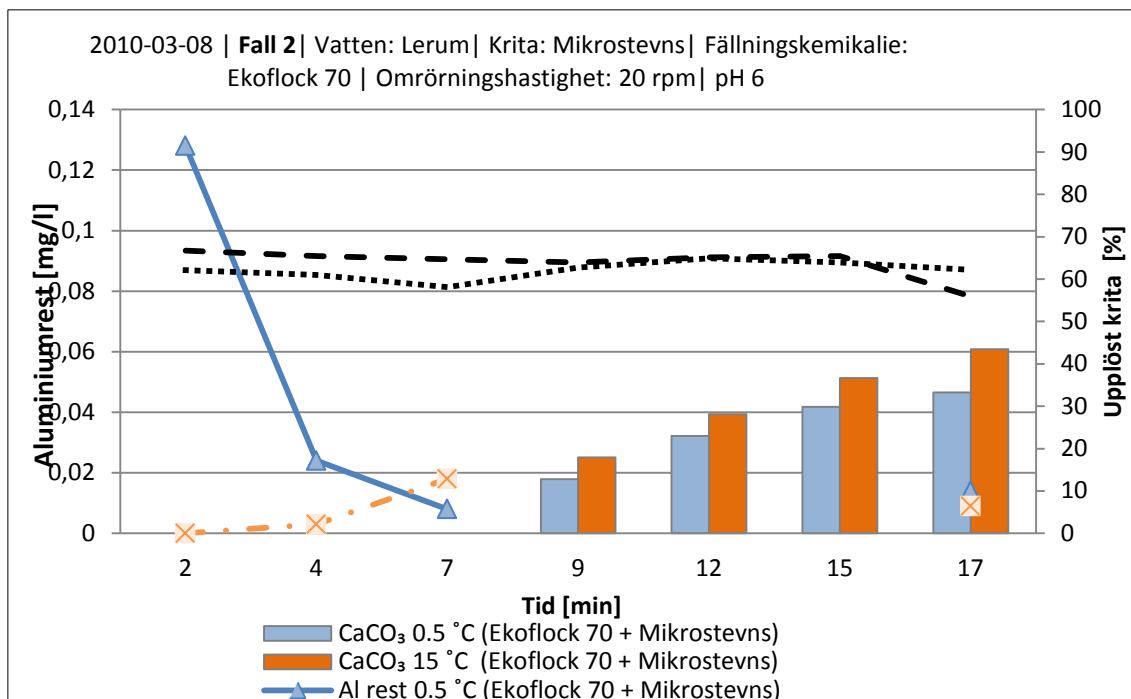
Figur 6-18. Fällningskemikalie doseras före krita, Kristinehamn

Av figur 6-19 och figur 6-20 från Lerum framgår följande:

- Fall 1: Kallt vatten ger en högre aluminiumrest än varmt vatten
- Fall 2: Efter kritatillsats sjunker restaluminiumhalten till en låg nivå för båda fallen
- Jämförelse mellan fall 1 och 2: Aluminiumresten blir låg för både kallt och varmt vatten när krita tillsätts efter fällningskemikalien. Ingen ökad upplösningshastighet kan fastställas, beroende på i vilken ordning kemikalierna tillsätts



Figur 6-19. Krita doseras före fällningskemikalien, Lerum



Figur 6-20. Fällningskemikalie doseras före krita, Lerum

6.2.6 Slutsatser/sammanfattning av Försöksomgång I

Resultaten från försöksomgång I kan sammanfattas i följande punkter:

- Lågt pH och hög temperatur ger hög upplösningshastighet för krita. Kritis upplösningshastighet avtar med tiden, i försöken löstes en hög andel av krita under de första minuterna.
- Temperaturskillnad mellan 1 °C och 15 °C ger ca 20 % skillnad i löslighet av krita.
- pH har större inverkan än temperaturen på upplösning av krita.
- Vid olika omrörningshastigheter blir skillnaden i upplösning av krita låg.
- Vid jämförelse av upplösningen av olika sorters krita är skillnaden liten.

Försöksomgång I påvisar att aluminiumresten blir lägre i kallt vatten när doseringen av krita sker efter dosering av fällningskemikalie. Tidigare rapporter hävdar att stabilt pH som ges av hög alkalinitet förbättrar fällningsegenskaperna positivt. Tidigare rapporter inkluderar varmare vatten än 1°C. Låg temperatur (<1°C) är troligtvis orsaken till förhöjd aluminiumrest vid normal drift på vattenverken.

- Karlskrona har längst upplösningstid för krita innan kemikalietillsats och högst aluminiumrest vid normal drift. Försöksomgång I antyder att högre upplösningsgrad av krita innan tillsats av aluminium ökar aluminiumresten för kalla vatten, $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Kristinehamn har näst högst aluminiumrest i praktisk drift, vilket kan bero på att olöst krita avskiljs i filtren så att kontakttiden mellan olöst krita och fällningskemikalie inte blir tillräcklig i kalla vatten, $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Lerum har en minuts kontakttid med både krita och fällningskemikalie innan vattnet leds in i DynaSandfiltren, vilket kan vara orsaken till att aluminium hinner fällas ut och avskiljas i filtren. Lerums råvatten har en högre vintertemperatur än de andra vattenverken i undersökningen.

En positiv effekt av att dosera fällningskemikalien först är att kritan löses något snabbare i det sura vattnet. Dosering av fällningskemikalie före krita-kolsyra kan dock riskera att öka aluminiumresten om flockarna slås sönder genom pumpning eller liknande turbulent flöde.

7 Försöksomgång II: Undersökning av aluminiumrest

En hypotes vid projektets början var att olöst krita kan störa koagulering och flockning i reningsprocessen. Tesen var då att humus kan fastna vid kritapartiklar och därmed vara mindre tillgängliga för koagulering med aluminium, då kritan sakta upplöses och avger humuspartiklar när aluminiumet redan bildat flockar. Den andra orsaken kan vara att för låg alkalinitet föreligger och att pH i processen därmed riskerar att hamna utanför optimalt fällnings-pH.

Fällningskemikaliens surhet sänker pH-värdet, vilket bör öka upplösningshastigheten för kritan. Detta kontrollerades i första försöksrundan med varierande resultat. För Lerum kunde inte någon skillnad påvisas medan Karlskrona hade en viss ökning och Kristinehamn hade en avsevärt ökad upplösningshastighet. Fällningskemikaliens effekt på lösligheten av krita undersöks inte vidare.

I försöksomgång II undersöktes hur olika upplösningsgrad av kritan påverkar resultatet av den kemiska fällningen. Alkalinitet, aluminiumrest och TOC analyserades och användes för att se hur effektivt fällningsförsöket utföll. Genom att dosera fällningskemikalie vid olika upplösningsgrad av kritan kunde fällningsresultatet observeras. Det är av intresse att undersöka vilken upplösningsgrad som krävs för att få en låg aluminiumrest, samtidigt som TOC-halten minimeras och alkaliniteten höjs. För att kunna jämföra resultaten mellan de olika vatten, användes samma typ och mängd krita och fällningskemikalie för samtliga vatten. Först utfördes upplösningförsök av kritan för de olika vatten vid temperatur 0,5 °C respektive 15 °C, pH 6 och omrörningshastighet 20 rpm. Därefter utfördes försök med upplösning av kritan till önskad upplösningsgrad varefter fällningskemikalien tillsattes.

Tabell 7.1 visar råvattenkvaliteten på ett antal parametrar vid försöksomgång 2. Råvattnen anses vara representativa för hur kvaliteten i allmänhet är vid vattenverken.

Tabell 7-1. Råvattenkvalitet vid andra försöksomgången

Råvatten	Karlskrona	Kristinehamn	Lerum
Färg (mg/l)	140	90	21
Turbiditet (FNU)	2,83	7,6	0,25
Alkalinitet (mg/l)	8,4	6,1	11
Mn (mg/l)	0,069	0,11	0,016
Fe (mg/l)	0,98	1,0	0,076
Hårdhet (°dH)	1,2	N/A	0,86
Al (mg/l)	0,025	0,28	0,086
Ca (mg/l)	6,01	3,2	4,8
COD (mg/l)	19,7	12	3,7
TOC (mg/l)	17,4	9,7	5,7

7.1 Genomförande

Fem fall; A, B, B1, B2 och B3 utfördes på både kalla och varma vatten.

I fall A tilläts pH variera mellan 5,5–6,5. 60 mg fällningskemikalie (Ekoflock 70) tillsattes en liter vatten i försöksbägaren och lut tillsattes för att upprätthålla rätt pH. Aluminiumresten mäts efter 1, 4, 7, 10 och 15 minuter. Mangan och alkalinitet mättes efter 15 minuter.

I fall B tillsattes krita för att observera kritans löslighet och pH justerades med koldioxid. Kalciumkoncentrationen mättes efter 1, 4, 7, 10, 20, 30 och 40 minuter. pH tilläts variera mellan 5,5 och 6,5.

I fall B1-B3 testades hur kritans upplösning påverkar reningsresultatet. 30 mg krita löstes i en liter vatten och pH upprätthölls med koldioxid. Efter att önskad andel krita upplösts, tillsattes 60 mg av fällningskemikalien och resultatet övervakades. Aluminiumresten analyserades 1, 4, 7 och 15 minuter efter tillsats av fällningskemikalie. TOC-halten mättes efter 4 och 15 minuter. Mangan och alkalinitet mättes 4 och 15 minuter efter tillsats av fällningskemikalie. I fall B1 30 % löst krita, B2 50 % löst krita och B3 70 % löst krita, se bilaga 6.



Figur 7-1. 0.45 µm cellulosafilter efter att kemiskt fällt vatten har filtrerats



Figur 7-2. Synliga makroflockar

7.2 Resultat

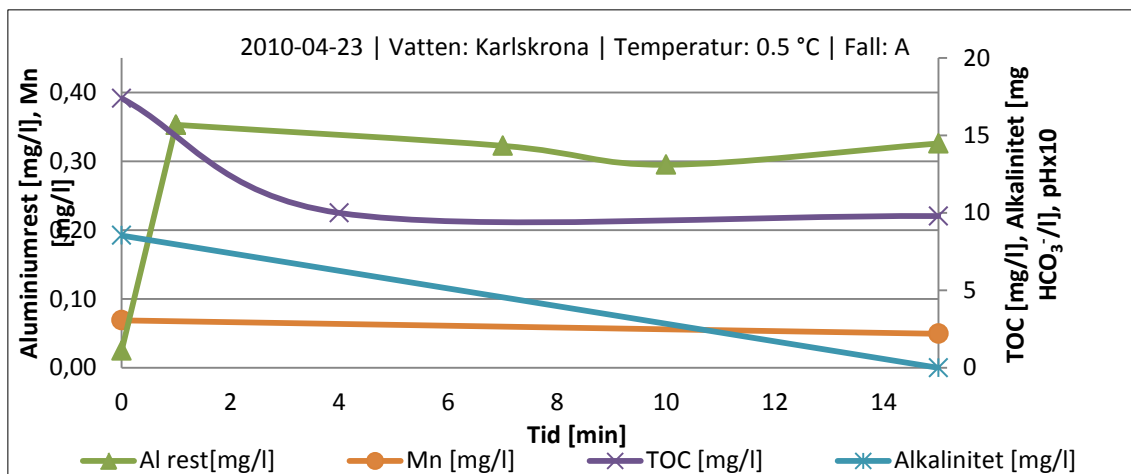
7.2.1 Försöksomgång II, fall A, B och B1-B3

Nedan presenteras resultaten från respektive försöksrunda för Karlskronas vattenverk. För Kristinehamn och Lerum redovisas en del av resultaten i bilaga 8. Totalt utfördes tio försök per vattenverk.

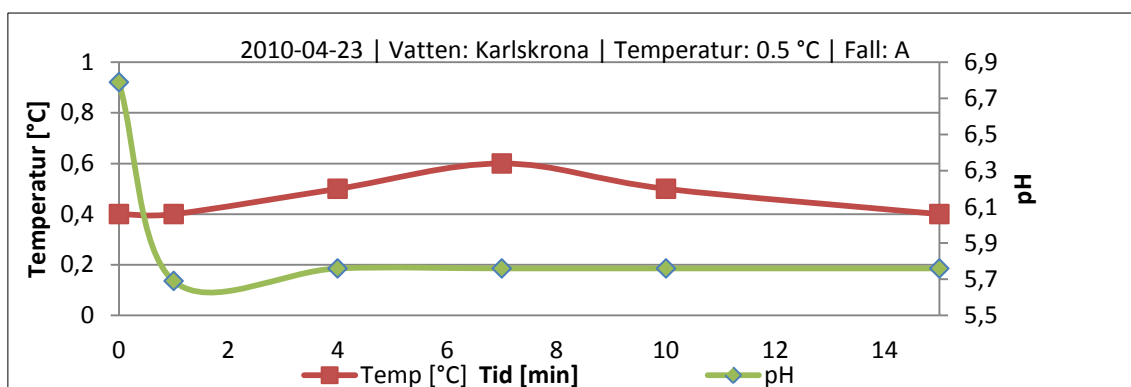
Vid varje försök mättes temperaturen och pH kontinuerligt, vilket presenteras i separata diagram för respektive försök.

I fall A tillsattes fällningskemikalien Ekoflock vid försökets start. Försöket varade 15 minuter varvid övriga parametrar mättes. pH-fallet som uppstod vid tillsats av fällningskemikalien hävdes genom tillsats av lut. Det skedde en förbrukning av alkalinitet så att slutlig alkalinitet var ca noll, vilket betyder att den naturliga alkaliniteten i vattnet var för låg för att kunna hålla tillbaka pH-fallet som uppkom vid dosering av fällningskemikalien. pH-justering krävdes för att inte reningen skulle fördärras av för lågt pH.

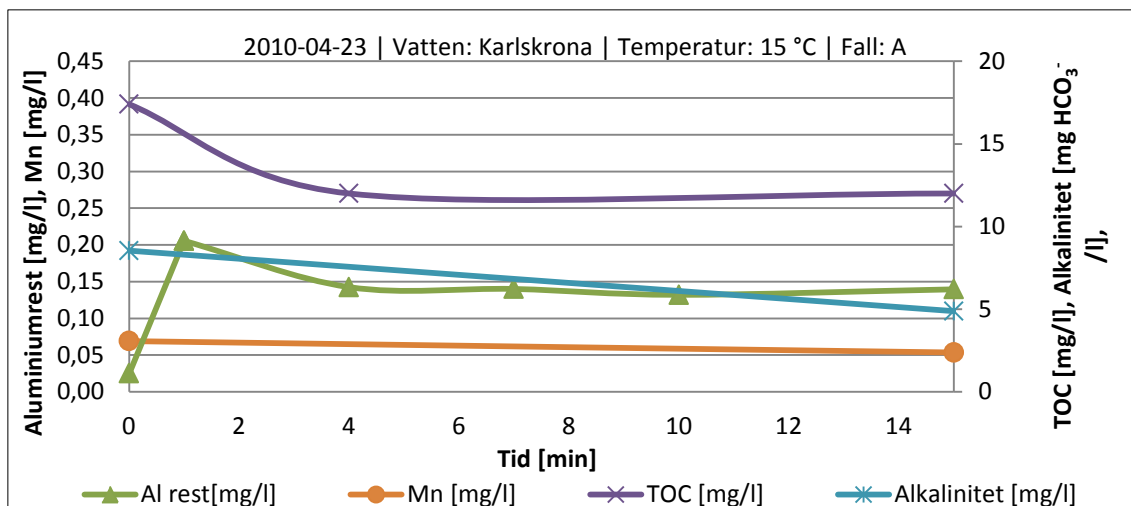
En mindre temperaturökning inträffade i samband med tillsats av fällningskemikalie. Detta kan vara en indikation på exoterm reaktion eller att tillsatt kemikalie höll en annan temperatur än provvätskan. Mätvärden vid tiden noll är ursprungsvärden för råvatten.



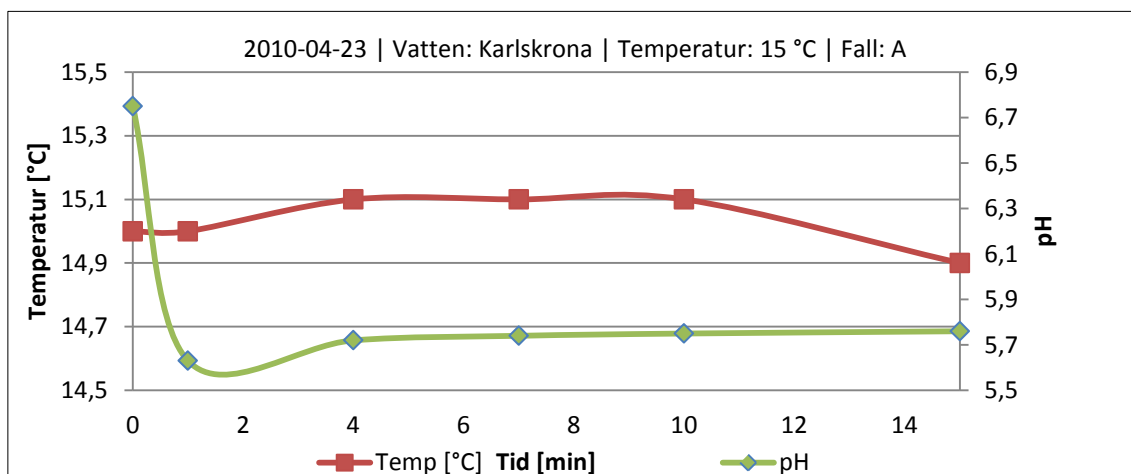
Figur 7-3. Resultat för **kallt** vatten utan kritatillsats



Figur 7-4. Resultat för **kallt** vatten utan kritatillsats

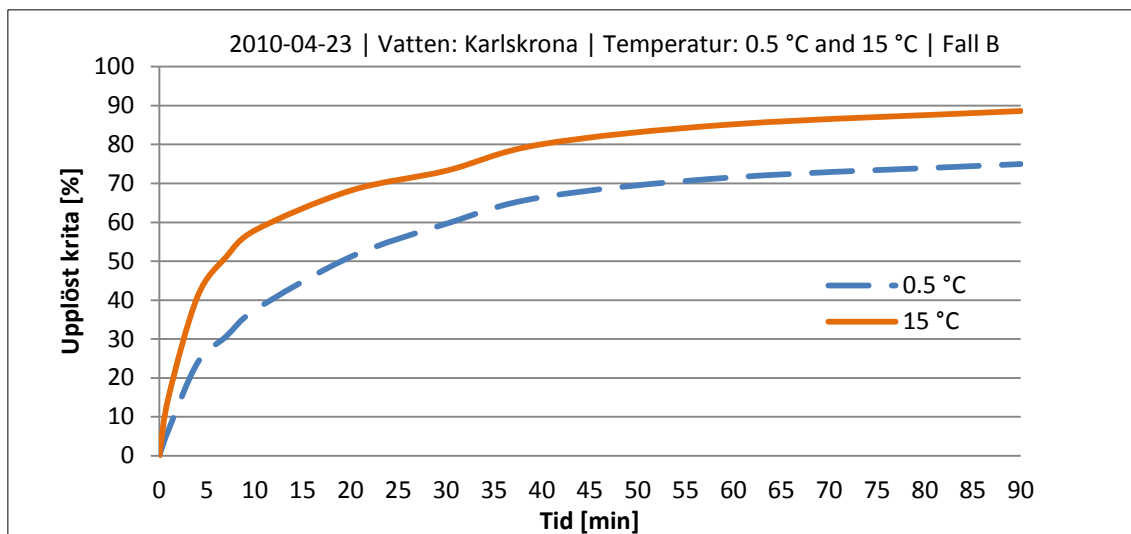


Figur 7-5. Resultat för varmt vatten utan krittillsats



Figur 7-6. Resultat för varmt vatten utan krittillsats

För att undersöka efter hur lång tid som fällningskemikalien skall tillsättas, krävs en utvärdering av upplösningshastigheten för de olika råvatten. Upplösningen skiljer sig från försöksomgång I, vilket troligtvis beror på förändringar av råvattenkvaliteten.

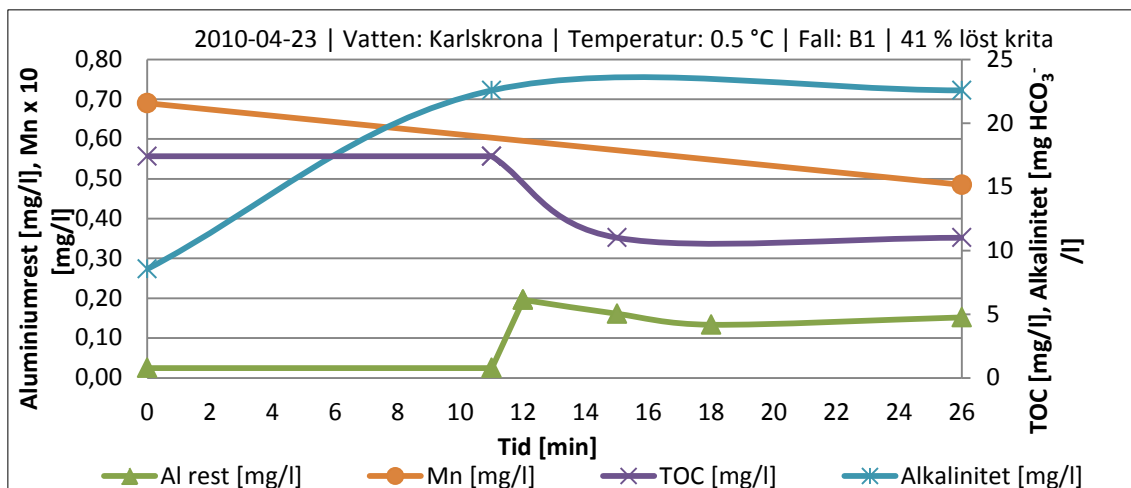


Figur 7-7. Kritans löslighet i varmt respektive kallt vatten

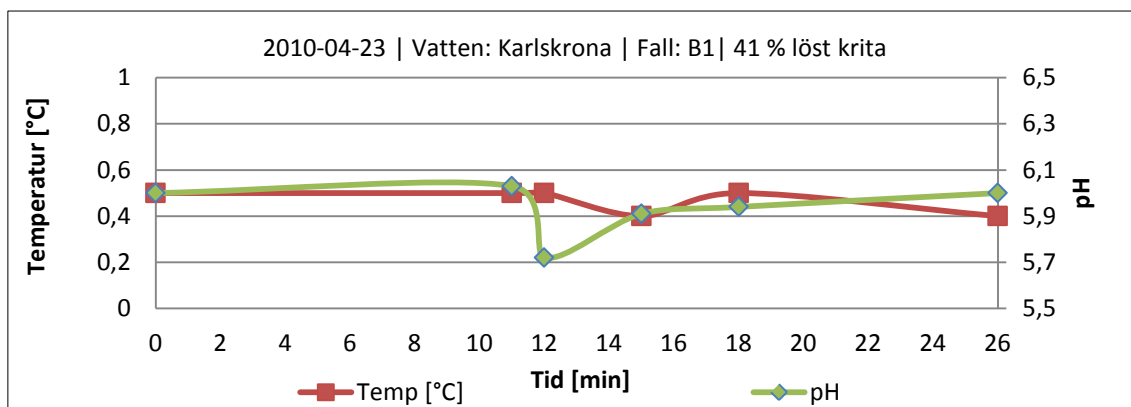
Både Kristinehamn och Karlskrona uppvisar en lägre upplösningshastighet vid andra försöksomgången. Lerum uppvisar inte någon större skillnad avseende upplösningshastighet eller alkalinitet mellan de olika försökstillfällena. I figur 7-7 kan utläsas att fällningsmedel skall tillsättas vid ca 3 eller 11 minuter för varmt respektive kallt vatten för 40 % upplösning. Motsvarande tidpunkter för 50 % upplösning är efter ca 7 respektive 19 minuter och efter omkring 23 respektive 55 minuter för 70 % upplösning av krita.

Nedan presenteras fall B1-B3 vid olika upplösningsgrad av krita. Värden vid försökets start var ursprungliga värden för råvattnet. Vid tidpunkten 0 doserades 30 mg krita och pH hölls konstant fram tills det att önskad upplösningsgrad uppnåddes enligt fall B för respektive verk och temperatur, då doseras fällningskemikalien. Tiden för att uppnå önskad upplösningsgrad skiljer sig mellan de olika råvattnen och är även temperaturberoende. Det tar längre tid vid låga temperaturer. När krita tillsätts ökar vattnets alkalinitet. Ökningen avstannar då fällningskemikalien tillsätts, eftersom den förbrukar alkalinitet i provet. Efter tillsats av fällningskemikalie sjunker pH-värdet till följd av kemikaliedoseringen och ökar därefter sakta till följd av en ökad upplösning av krita.

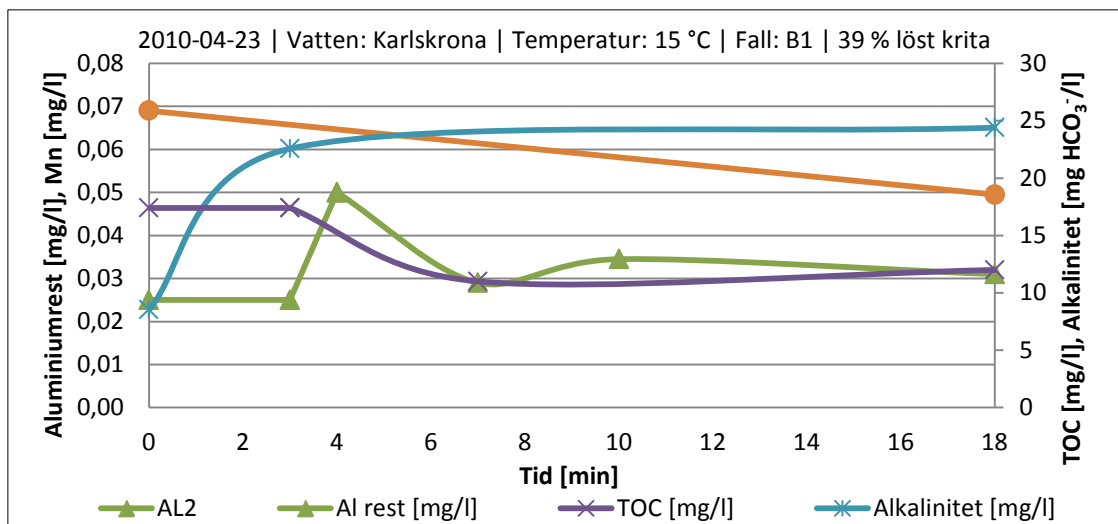
Mangan och TOC uppför sig ungefär likvärdigt för de olika försöken, medan tydliga skillnader uppstår för aluminiumrest och alkalinitet. Aluminiumresthalten är lägre i försök med varmt vatten, 15 °C, och högre för försök med kallt vatten, 0,5°C. Lågst aluminiumrest uppträder ca 5 minuter efter tillsats av fällningskemikalien.



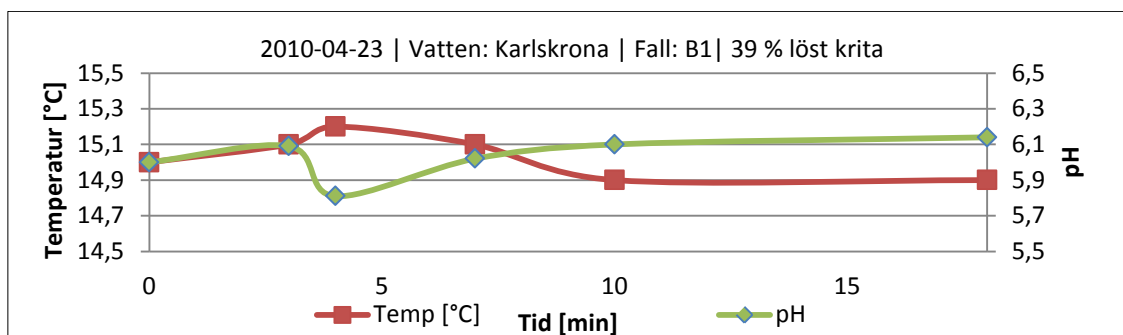
Figur 7-8. Resultat för **kallt** vatten vid 41 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



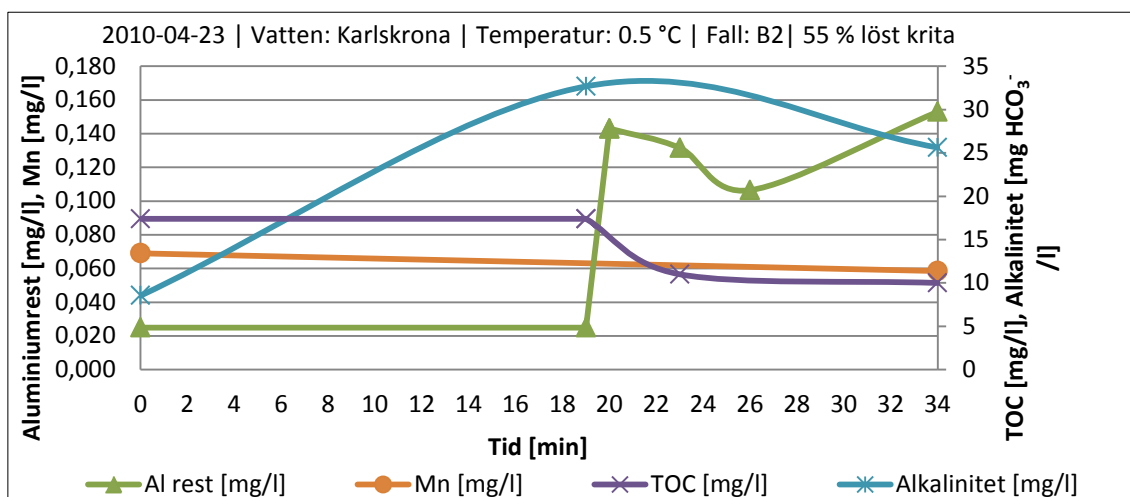
Figur 7-9. Resultat för **kallt** vatten vid 41 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



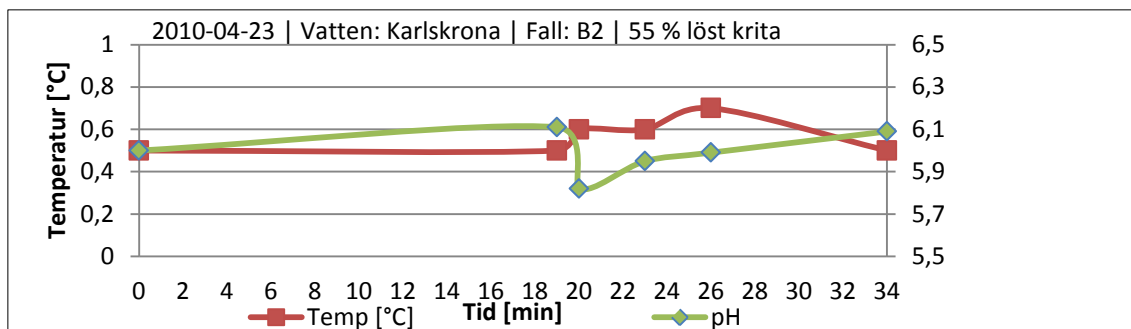
Figur 7-10. Resultat för **varmt** vatten vid 39 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



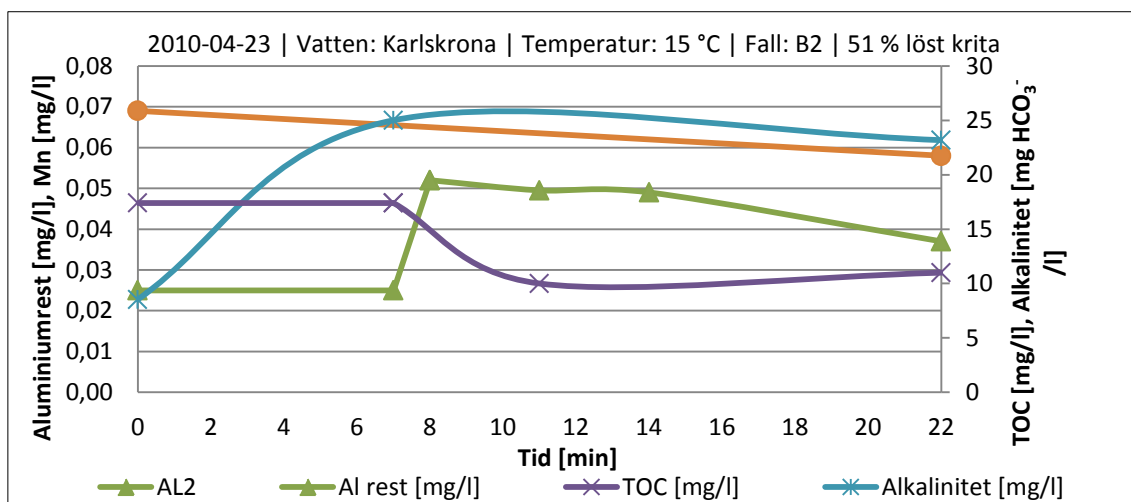
Figur 7-11. Resultat för **varmt** vatten vid 39 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



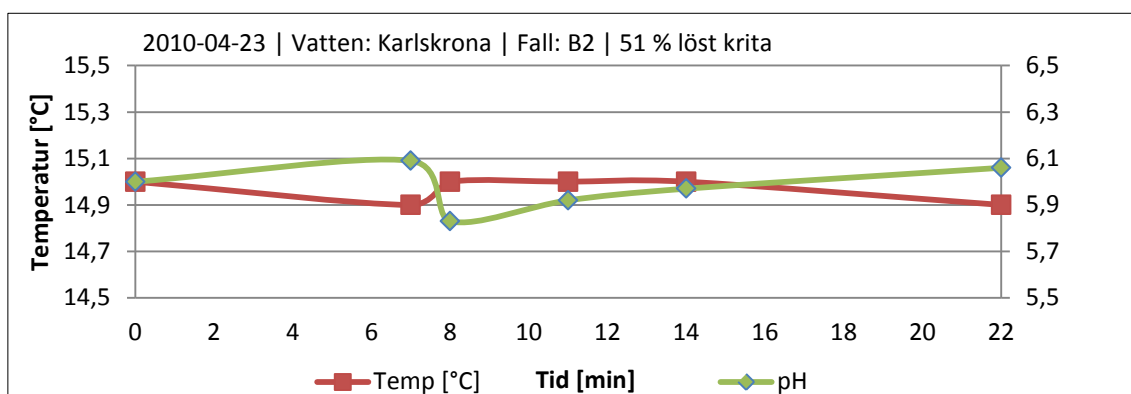
Figur 7-12. Resultat för **kallt** vatten vid 55 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



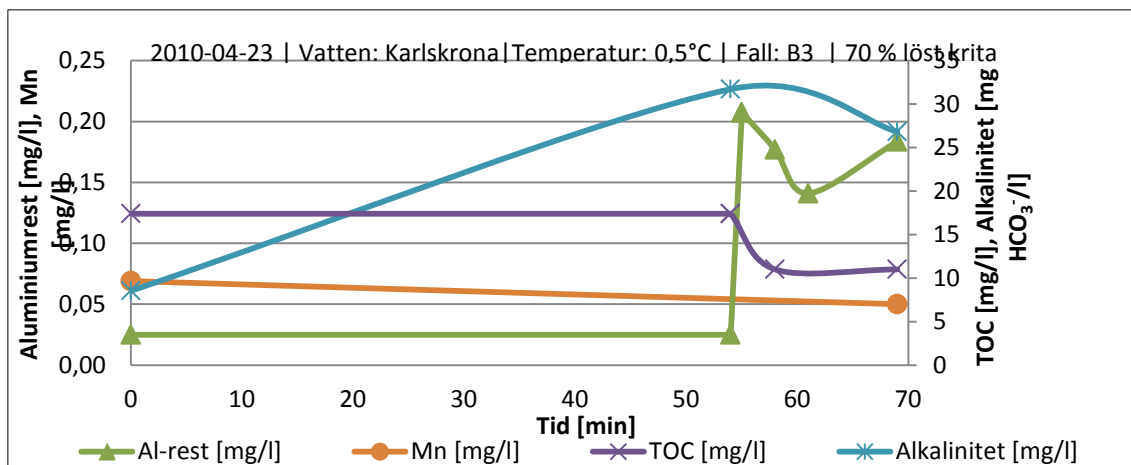
Figur 7-13. Resultat för **kallt** vatten vid 55 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



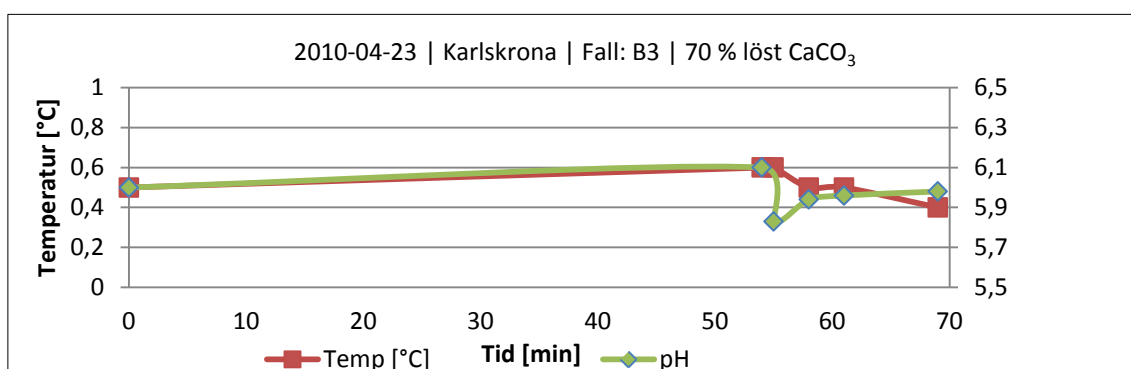
Figur 7-14. Resultat för **varmt** vatten vid 51 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



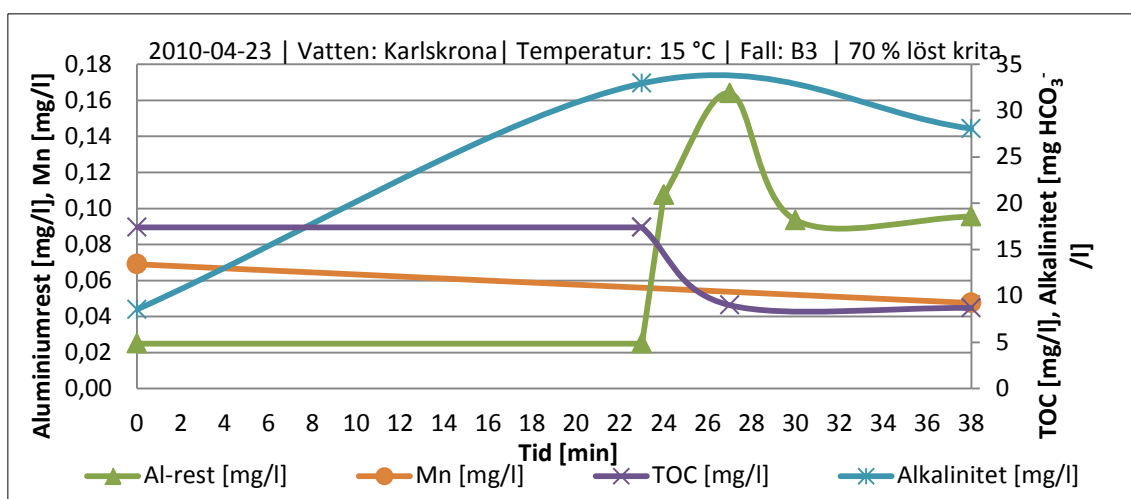
Figur 7-15. Resultat för **varmt** vatten vid 51 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



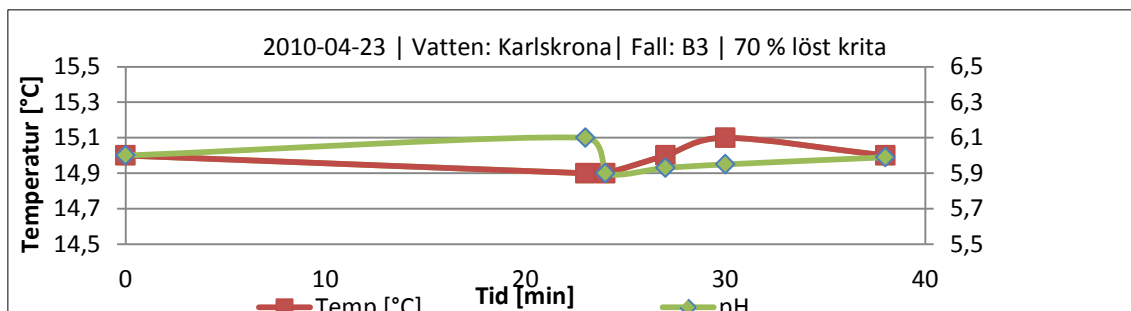
Figur 7-16. Resultat för **kallt** vatten vid 70 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



Figur 7-17. Resultat för **kallt** vatten vid 70 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



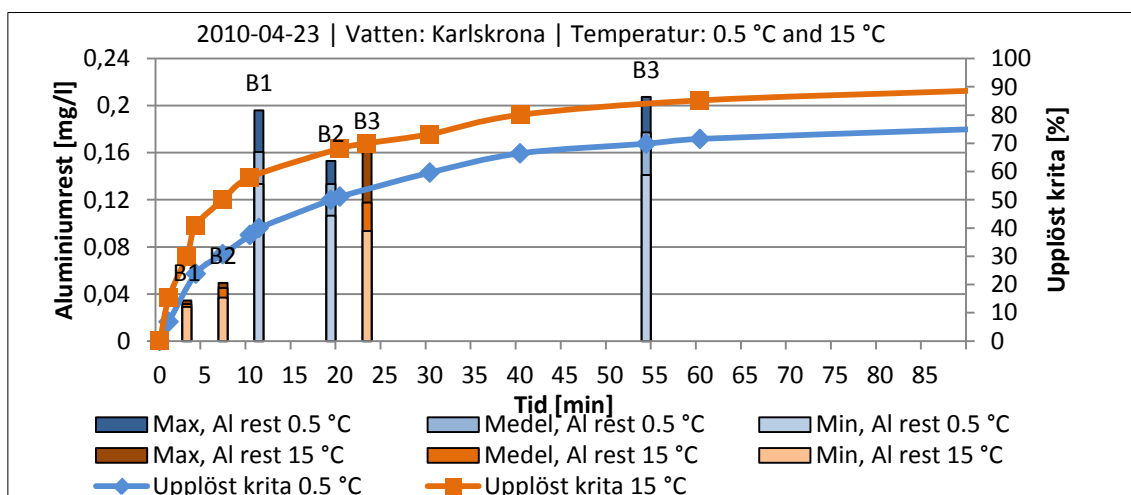
Figur 7-18. Resultat för **varmt** vatten vid 70 % löst krita samt pH- och temperaturvariation



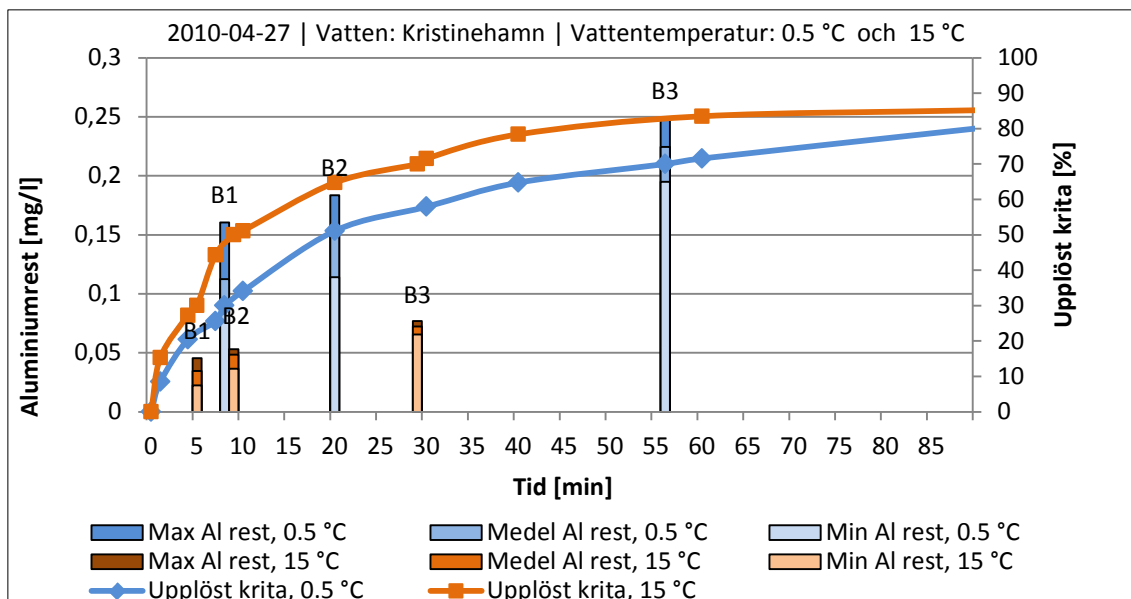
Figur 7-19. Resultat för varmt vatten vid 70 % löst krita samt pH- och temperaturvariation

7.2.2 Aluminiumrest vid olika grader av löst krita

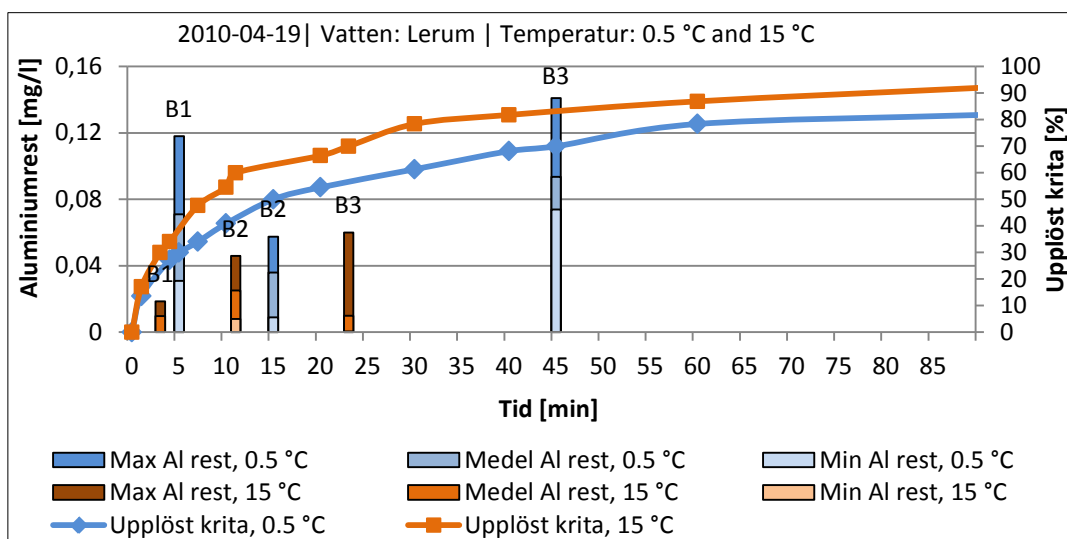
Figur 7-20 – figur 7-22 nedan redovisar kritans löslighet samt aluminiumrester enligt försöken. Staplarna visar min-, max- och medelvärde för aluminiumresten vid respektive försök (B1-B3). Placeringen baseras på hur stor upplösningen av krita var vid tillsättning av fällningskemikalien (skalan till höger).



Figur 7-20. Aluminiumrest (max, min och medelvärde) vid olika upplösningsgrad av krita i varmt och kallt vatten, Karlskrona

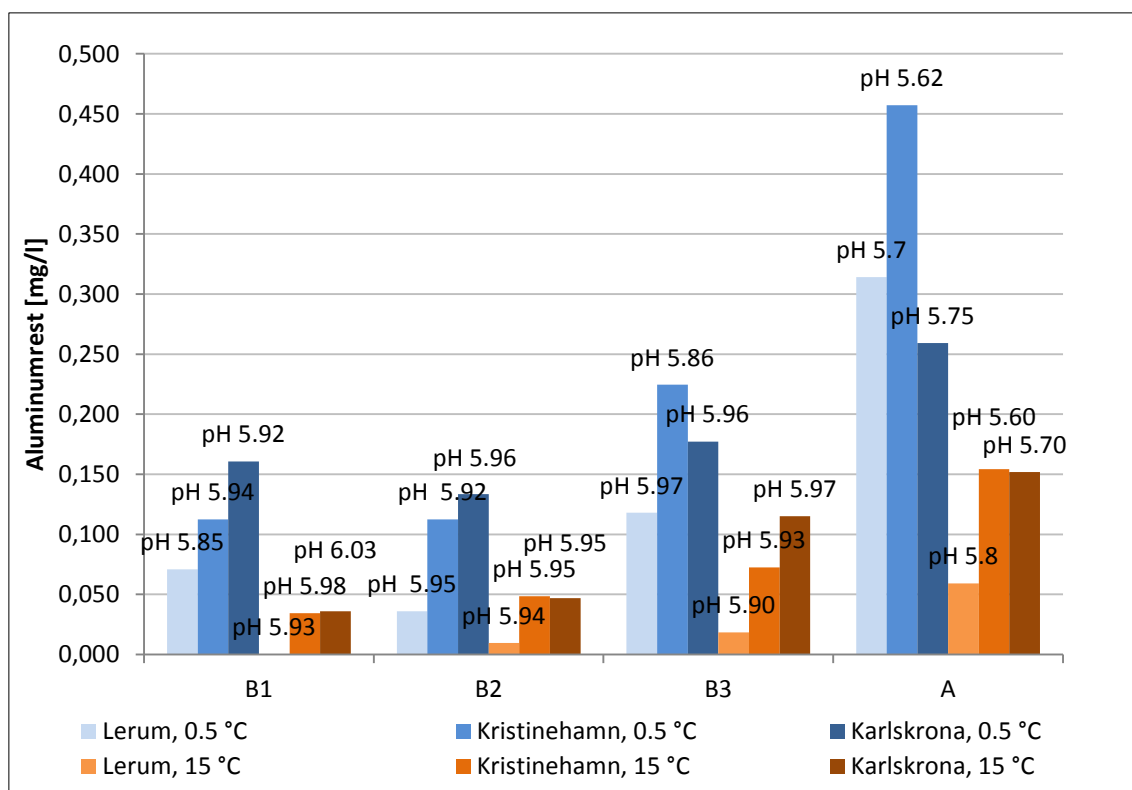


Figur 7-21. Aluminiumrest (max, min och medelvärde) vid olika upplösningsgrad av krita i varmt och kallt vatten, Kristinehamn



Figur 7-22. Aluminiumrest (max, min och medelvärde) vid olika upplösningsgrad av krita i varmt och kallt vatten, Lerum.

Figur 7-23 nedan visar medelhalten aluminiumrest efter det att fällningskemikalien har tillsatts. Samtliga fall A-B presenteras för vattenverken. Över staplarna anges uppmätt pH-värde för respektive försök. Mätningarna antyder att ökad upplösning innan tillsats av fällningskemikalien ger en högre aluminiumrest. Även råvattnen skiljer sig åt. Enligt mätningarna påvisas att utan tillsats av krita så erhålls en avsevärt mycket högre aluminiumrest till slut, men detta kan vara en effekt av ett lägre pH-värde. Den rådande uppfattningen vid vattenrening är att en hög upplösning av krita ger en hög alkalinitet och därmed en bättre och stabilare reningsprocess med lägre aluminiumrest. Det som är anmärkningsvärt vid denna studie är att en begränsad upplösning av krita innan aluminiumtillsatsen ger en lägre aluminiumrest, till skillnad från tidigare försök. Fenomenet med begränsad kritaupplösning syns i synnerhet för kalla vatten.



Figur 7-23. Medelaluminiumrest vid fall B1-B3 samt A. A ingen tillsatt krita, B1≈30 % löst krita, B2≈50 % löst krita, B3≈70 % löst krita.

I tabell 7-2 och tabell 7-3 nedan jämförs aluminiumresten för olika upplösningsgrad av krita. Utan tillsats av krita (fall A) erhålls en mycket hög aluminiumrest. Av tabellerna framgår att aluminiumresten inte är entydigt negativt korrelerad med kritans löslighet. Vid 16 av 18 jämförelser är aluminiumresten högre vid högre upplösningsgrad av krita. Sannolikt finns ett optimum som ger en minimal aluminiumrest.

Tabell 7-2. Schematisk jämförelse av medelaluminiumresten (mg/l) från de olika försöken vid temperaturen 0.5 °C. A) ingen tillsatt krita, B1) ≈ 30 % löst krita, B2) ≈ 50 % löst krita, B3) ≈ 70 % löst krita. AKa är fall A Karlskrona, B1Ka är fall B1 Karlskrona etc. Kr är Kristinehamn och Le är Lerum.

	AKa = 0.32 AKr = 0.45 ALe = 0.35	B1Ka = 0.16 B1Kr = 0.11 B1Le = 0.07	B2Ka = 0.13 B2Kr = 0.15 B2Le = 0.04	B3Ka = 0.18 B3Kr = 0.22 B3Le = 0.09
AKa = 0.32 AKr = 0.45 ALe = 0.35		AKa > B1Ka AKr > B1Kr ALe > B1Le	AKa > B2Ka AKr > B2Kr ALe > B2Le	AKa > B3Ka AKr > B3Kr ALe > B3Le
B1Ka = 0.16 B1Kr = 0.11 B1Le = 0.07			B1Ka > B2Ka B1Kr < B2Kr B1Le > B2Le	B1Ka < B3Ka B1Kr < B3Kr B1Le < B3Le
B2Ka = 0.13 B2Kr = 0.15 B2Le = 0.04				B2Ka < B3Ka B2Kr < B3Kr B2Le < B3Le
B3Ka = 0.18 B3Kr = 0.22 B3Le = 0.09				

Tabell 7-3. Schematisk jämförelse av medelaluminiumresten (mg/l) från de olika försöken vid temperaturen 15 °C. A) ingen tillsatt krita, B1) ≈ 30 % löst krita, B2) ≈ 50 % löst krita, B3) ≈ 70 % löst krita. AKa är fall A Karlskrona, B1Ka är fall B1 Karlskrona etc. Kr är Kristinehamn och Le är Lerum.

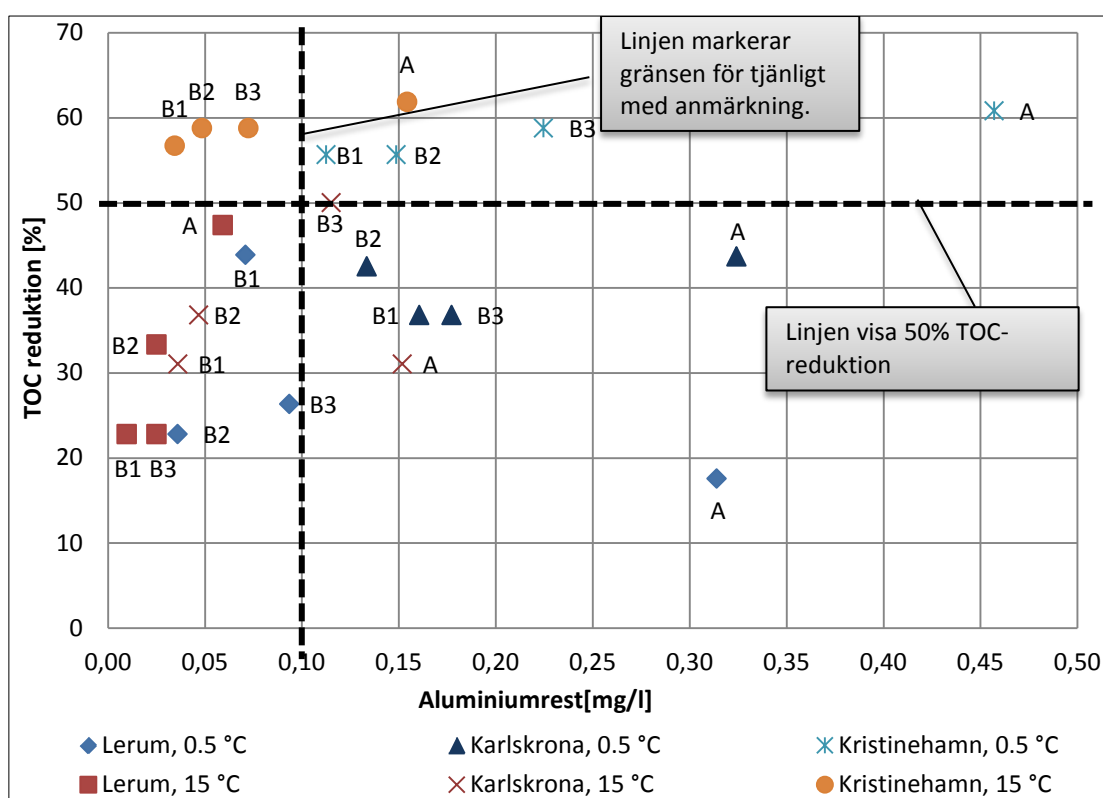
	AKa = 0.15 AKr = 0.15 ALe = 0.059	B1Ka = 0.036 B1Kr = 0.035 B1Le = 0.01	B2Ka = 0.047 B2Kr = 0.049 B2Le = 0.020	B3Ka = 0.115 B3Kr = 0.072 B3Le = 0.025
AKa = 0.15 AKr = 0.15 ALe = 0.059		AKa > B1Ka AKr > B1Kr ALe > B1Le	AKa > B2Ka AKr > B2Kr ALe > B2Le	AKa > B3Ka AKr > B3Kr ALe > B3Le
B1Ka = 0.036 B1Kr = 0.035 B1Le = 0.01			B1Ka < B2Ka B1Kr < B2Kr B1Le < B2Le	B1Ka < B3Ka B1Kr < B3Kr B1Le < B3Le
B2Ka = 0.047 B2Kr = 0.049 B2Le = 0.020				B2Ka < B3Ka B2Kr < B3Kr B2Le < B3Le
B3Ka = 0.115 B3Kr = 0.072 B3Le = 0.025				

Normal text = högre lösningsgrad av krita ger högre aluminiumrest.

Fet text = högre lösningsgrad av krita ger lägre aluminiumrest.

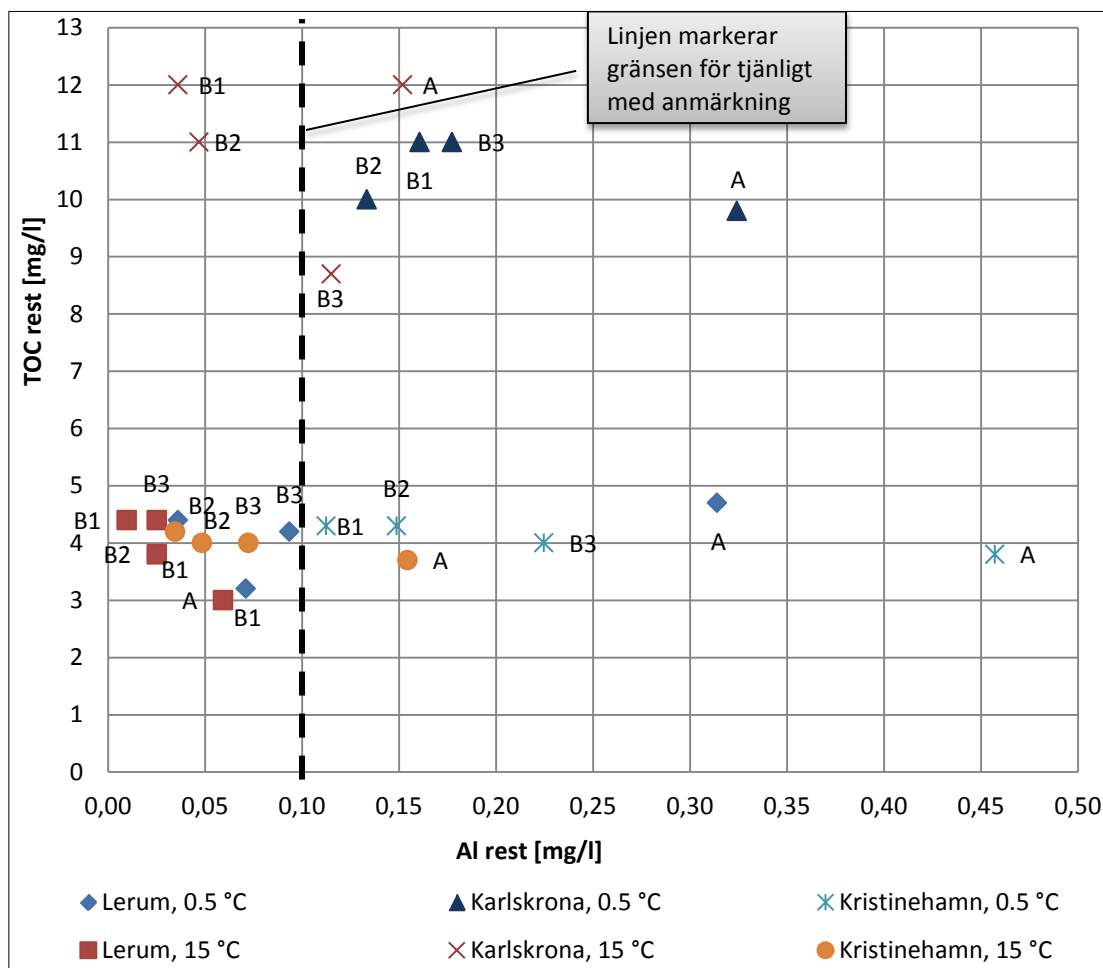
7.2.3 TOC-reduktion och aluminiumrest

I figur 7-24 jämförs aluminiumresten med reduceringsgraden av TOC för filtrerat vatten. De olika fallen i försöksomgång II (A, B1, B2, B3) är utskrivna i figur 7-24 och på axlarna markeras TOC-reduktion (%) och restaluminium (mg/l). Lerum har en relativt låg reduceringsgrad av TOC medan aluminiumresten är låg för samtliga fall. Lerum har en låg TOC-halt i råvattnet, vilket är orsaken till den låga reningsgraden. Karlskronas låga reningsgrad beror troligtvis på underdosering av fällningskemikalie. Aluminiumresten i Karlskrona är hög för kalla vatten. TOC-reduceringsgraden är över 50 % för samtliga försök på Kristinehamnsvatten, vilket är en följd av en välavvägd kemikaliedos. Restaluminiumhalten över 0,1 mg/l för kalla vatten, < 1 °C. Aluminiumresten och TOC-reningsgraden är okorrelerade och inget samband mellan aluminiumrest och TOC-reduktion kan påvisas. I samtliga fall är restaluminiumhalten högre när inte krita tillsätts. Inget tydligt samband mellan temperatur och TOC-reduceringsgrad kan noteras.



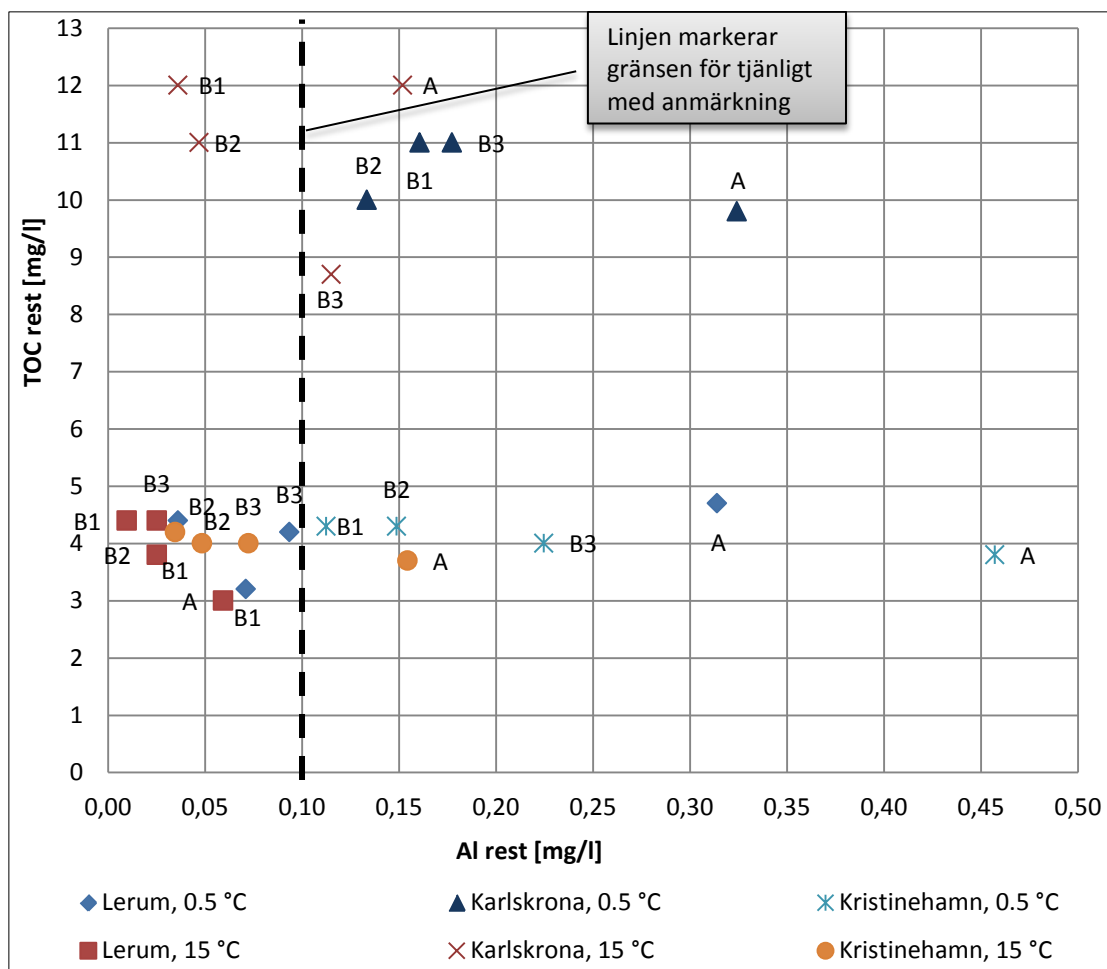
Figur 7-24. TOC-reduktion (%) i förhållande till aluminiumrest för de olika vattenverken och försöksfallen. 0,100 mg Al/l och 50 % TOC-reduktion är markerad.

I figur 7-25 redovisas sista mätvärdet för TOC (mg/l) och aluminiumrest (mg/l) i försöken. Lerum och Kristinehamn når approximativt samma slutvärde avseende TOC. Kristinehamn har en högre aluminiumrest än Lerum. Karlskrona har högre slutvärde för TOC och en varierande aluminiumrest. Aluminiumresten för kallt vatten är högre än för varmt vatten. Med hänsyn till Karlskronas råvatten antyder resultaten att kemikaliedoseringen varit för låg.



Figur 7-25. TOC-rest (mg/l) 15 minuter efter tillsats av Ekoflock 70 för de olika vattenverken och försöksfallen

I figur 7-26 visas den totala avskiljningen av TOC (mg/l) vid försöken. Lerum har en låg avskiljning, beroende på att ingående TOC-halt är låg. Kristinehamn och Karlskrona har ungefär samma nivå på avskiljning, vilket troligtvis beror på att fällningskemikalien utnyttjats maximalt samt att det inte går att avskilja mer TOC utan att öka dosen. Noteras bör att TOC-avskiljningen inte påverkas av temperaturen eller andelen löst krita.

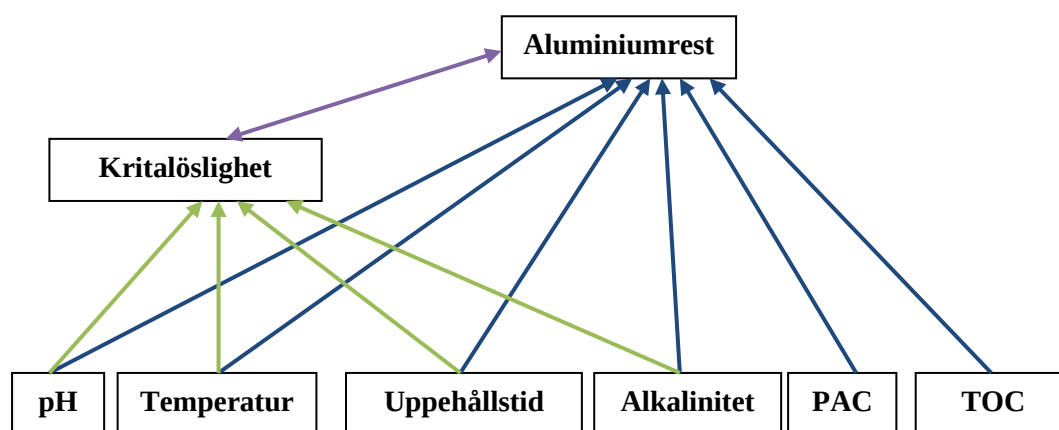


Figur 7-26. TOC-reduktion (mg/l) 15 minuter efter Ekoflock 70 tillsats för de olika vattenverken och försöksfallen.

8 Diskussion

Problemen som återfinns vid vattenverken i Karlskrona och Kristinehamn med förhöjd aluminiumrest registrerades även vid laboratorieförsöken. Uppehållstiden innan DynaSand-filtren skiljer sig mellan vattenverken enligt tabell 4-4. En lång uppehållstid före filtrering ger en högre upplösningsgrad för krita, vilket enligt försöken påverkar aluminiumresten.

Första försöksomgången verifierar viktiga faktorer för kritaupplösning (pH- och temperaturberoende) enligt litteraturstudien, medan aluminiumresten ej uppför sig som förväntat. I verkligheten påverkar ett flertal faktorer varandra, men ett förenklat schema över de viktigaste faktorerna illustreras nedan. De olika faktorerna och dess effekter beskrivs nedan.



Figur 8-1. Förenklat relationsschema mellan kritaupplösning och aluminiumrest baserat på labbförsök

8.1 pH

Sambandet mellan pH och kritaupplösning finns beskrivet i litteraturen och bekräfts genom försöken. Lågt pH ger en snabb kritaupplösning medan högt pH ger långsam kritaupplösning. Med hänsyn till övriga processer och reningskrav kan inte pH sänkas för lågt för att öka upplösningen av krita.

Optimalt fällnings-pH för aluminiumbaserade fällningskemikalier ligger mellan 6,0 och 6,5 vilket är en del i förklaringen till att försöksomgång II, fall A (endast aluminiumdosering) uppvisar högre aluminiumrest.

Variationen av pH i vattnet påverkas av i vilken ordning krita respektive fällningskemikalie tillsätts. När krita först löses blir pH-variationen lägre medan pH-variationen blir större när fällningskemikalien först tillsätts.

8.2 Temperatur

Vattentemperaturen har en tydlig påverkan på hastigheten för de kemiska processerna. Temperaturen påverkar både kritans löslighet och aluminiumrest, medan TOC-reduktionen ej påverkas nämnvärt. Anledningen till att TOC-reduktionen inte påverkas nämnvärt bedöms vara att utfällningen sker snabbt även i kallt vatten.

I samband med utprovning av försöksupplägget noterades ingen distinkt skillnad mellan 4,7 °C och 15 °C avseende kritans upplösning, vilket ökar misstanken om att det är först vid extremt låga temperaturer som problem uppkommer. I såväl Karlskrona som i Kristinehamn påträffas periodvis råvattentemperaturer under 1 °C.

Försöken bekräftar att upplösningshastigheten för krita blir avsevärt lägre vid extremt låg temperatur (< 1 °C). Den lägre upplösningsgraden för krita syns i praktiken framförallt vid Kristinehamns vattenverk.

Vid lika upplösningsgrad av krita blir aluminiumresten i vattnet högre vid låg temperatur än vid hög, vilket troligtvis beror på längre reaktionshastighet vid kallt vatten. Noterbart i första försöksomgången var att aluminiumresten för kallt vatten sjönk till samma nivå som för varmt då krita tillsattes efter aluminium. Fenomenet kan bero på att olöst krita har en katalytisk effekt eller att löst krita har adsorberats till humus och det krävs större energi för att ersätta kalciumjonerna med aluminiumjoner i sternskikt och i det diffusa lagret.

För TOC-reduktionen kunde ingen skillnad påvisas mellan kallt och varmt vatten. Trolig orsak är att utfällningen sker snabbare än analysintervallen, varför ingen skillnad kan uppmätas. Avseende TOC bör däremot halten TOC i råvattnet noggrant hållas under uppsikt för att säkerställa att tillräckligt med fällningskemikalie tillsätts. Vid mild vinter uppvisar Lyckebyån en fördubbling av TOC-halten, vilket bör medföra approximativt en fördubbling av kemikaliedoseringen. En kall vinter gav istället ett råvatten med lägre TOC samt högre pH och alkalinitet.

8.3 Uppehållstid och omrörningshastighet

Ökad uppehållstid medför en ökad kritaupplösning och därmed ett bättre kemikalieutnyttjande för alkalinitetshöjning. Ökad uppehållstid är positivt för alkalinitetshöjningen. Karlskrona har längst uppehållstid mellan tillsats av krita och fällningskemikalien (45 minuter), medan Kristinehamn har kortast (< 1 minut) och båda har en hög aluminiumrest vintertid. I Kristinehamn återförs en stor andel av den olösta krita i löst form till processen via rejektvatten från lamellsedimentering, vilket i praktiken ökar upplösningsgraden. Detta medför att frågan om upplösningstidens betydelse blir tvetydig avseende målet ett bra dricksvatten.

För ökad alkalinitet är en lång uppehållstid före filtrering önskvärt, men avseende aluminiumresten ger en ökad upplösningsgrad av krita högre aluminiumrest för kalla vatten. Orsaken till att krita ger högre aluminiumrest är troligtvis en högre andel kalciumjoner som i det diffusa lagret. Kristinehamn och Karlskrona doserar lut vintertid istället för krita och kolsyra p.g.a. förhöjd aluminiumrest. Försöksomgång II visar att en kritaupplösning om ca 50 % i kallt vatten gav lägst aluminiumrest, medan försöksomgång I påvisade en låg aluminiumrest om först aluminiumet/PAC tillsattes och därefter krita.

Inblandningshastigheten antogs ha en stor betydelse för upplösningen av krita. I första försöksomgången kunde dock inte påvisas någon ökad kritaupplösning vid ökning av rotationshastigheten från 20 rpm till 50 rpm. Orsaken till detta bedöms vara att hela vätskevolymen kom i rotation med låg intern turbulens istället för en ökad turbulens i försökskärlet som var målet. Eventuellt skulle en högre rotationshastighet ge en högre upplösning.

8.4 Alkalinitet och krita

Kritans egenskaper påverkar upplösningen av krita. Krita är en mjuk bergart och faller sönder vid hantering, men det föreligger även en risk att fukt sammanfogar mineralkornen till större korn vilket är negativt. Tester med samma sorts (samma leverantör och samma fraktion) krita från olika leveranser till vattenverken har gett olika upplösning troligtvis beroende på variationer i kritans kornstorleksfördelning.

Alkalinitet hos råvattnet verkar påverka upplösningen av krita. Vid jämförelse mellan försöksomgång I och II är kritaupplösningen lägre i försöksomgång II än i försöksomgång I för Karlskrona och Kristinehamn. Båda råvattnen hade lägre alkalinitet försöksomgång II. För Lerum var upplösningen ungefär likvärdig vid de båda försöksomgångarna och alkaliniteten var likvärdig vid båda försöksomgångarna.

Från försöksomgång II fall A (endast pH-justering med lut) påvisades att alkaliniteten förbrukades av fällningskemikalien. För Kristinehamn minskade alkaliniteten från 6,1 till omkring 0 mg HCO_3/l (under detektionsgränsen) för både varmt och kallt vatten, vilket betyder att all alkalinitet förbrukats. För kallt vatten i Lerum och Karlskrona förbrukades all alkalinitet, från 11 till ca 0 mg HCO_3/l för Lerum och från 8,4 till ca 0 mg HCO_3/l för Karlskrona. Vid 15 °C blev alkalinitetssänkningen mindre, från 11 till 4 mg HCO_3/l för Lerum och från 8,4 till 5 mg HCO_3/l för Karlskrona. Orsak till att PAC sänker alkaliniteten olika för varmt respektive kallt är osäker.

Mätning av alkalinitet i försöksomgång II efter dosering av fällningskemikalie uppvisar ett intressant mönster. I fall B1 med endast 30 % löst krita förblir alkalinitet konstant efter PAC-tillsatsen. Konstant alkalinitet kan förklaras med att krita löses i sådan omfattning att alkaliniteten förblir konstant. I B3 fallen med ca 70 % löst krita syns en tydlig sänkning av alkalinitet efter tillsats av PAC, vilket beror på att det finns för lite olöst krita kvar för att hålla alkalinitet konstant. För att det skall finnas alkalinitet kvar i vattnet efter kemisk behandling krävs att alkalinitet tillsätts vattnet i de olika vattenverken.

8.5 Fällningskemikalie

Vid tillsättning av fällningskemikalien reagerar aluminiumet med föroreningens negativt laddade yta så att Sternlagret och det diffusa fylls av aluminiumjoner och därigenom ger förutsättning för föroreningarna att flockas. Samtidigt bildas aluminiumhydroxid som sammanfogar föroreningarna till större flockar, svepkoagulering.

Det finns ett flertal tumregler för att bestämma ungefärlig dos fällningskemikalie som krävs vid en viss färg eller COD innehåll i råvattnet. Exakt dos bör tas fram genom fullskaleförsök och driftövervakning.

Det bör dock beaktas att doseringen i försöken inte är optimerad med avseende på innehåll av humus och COD, utan frångår den normala doseringen som sker vid respektive verk. Resultaten blir något missvisande eftersom laboratedosen är optimal för ett råvatten och inte ett annat.

För både Lerum och Kristinehamn sänktes TOC-halten till ca 3 mg/l, vilket förefaller vara en gräns för hur lågt det går att nå med den aktuella kemikalien och försöksmetoden. Kemikaliendosen var sannolikt för låg för Karlskronas råvatten och högre TOC-rest jämfört med de andra vattnen kunde konstateras i försöksomgång II.

Fällningskemikaliens förmåga att reducera TOC i försöken påverkades ej av temperaturen. I verklig drift försämras reningen något vid kallt vatten men detta kan vara en effekt av högre TOC-halt i råvattnet och därmed en för låg kemikaliedosering.

Vid tillsats av fällningskemikalien sänktes alkaliniteten i vattnet. Alkalinitetssänkningen visade sig vara större i kallt vatten än i varmt och därmed ökar risken att pH i processen avviker från optimalt pH.

8.6 Aluminiumrest

En ökad kemikaliedosering medför att aluminiumresten blir lägre om fällnings-pH hålls konstant inom ramarna för optimalt fällnings-pH. I annat fall uteblir de positiva effekterna av ökad dosering av fällningskemikalie.

Lerum har haft lägst aluminiumrest i båda försöksomgångarna. Lerums råvatten har bäst kvalitet av de som deltagit i försöken, med lägst färgtal, turbiditet, COD och TOC. För Lerum erfordras således endast en låg kemikaliedos för att uppnå ett gott fällningsresultat, vilket medfört att en ökad svepfällning har kunnat ske.

Från försöksomgång II var aluminiumresten lägre ju lägre upplösningsgraden för kritan var i samband med dosering av fällningskemikalien för varmt vatten. För kallt vatten verkar ca 50 % löst krita vid doseringen ge lägst aluminiumrest.

Vid drift i reningsverken har både Karlskronas och Kristinehamns vattenverk hög rest-aluminiumhalt vid kritadosering vintertid. Karlskrona har en lång upplösningstid för kritan och därmed en hög upplösningsgrad. I Kristinehamn återförs en stor del av kritan i löst form via lamellsedimenteringen, vilket i praktiken ger en hög upplösningsgrad. Både försök och drift under vinterdriftförhållande antyder att en hög upplösningsgrad av krita före kemikaliedoseringen orsakar förhöjd aluminiumrest för kalla vatten.

Lerum har konstant låg aluminiumrest i sitt vattenverk. Lerum har en uppehållstid på ca 1 minut från det att fällningskemikalien tillsätts i alkaliserat vattnet till dess att vattnet leds in i filtren. Denna kontakttid kan vara viktig för att minska aluminiumresten då detta är en faktor som skiljer Lerum från de övriga studerade vattenverken. I försöken hade Lerum alltid lägre aluminiumrest, vilket troligtvis beror på överdosering och svepflockning.

Från försöksomgång I uppmärksammades att aluminiumresten blev avsevärt lägre när kritan tillsattes efter fällningskemikalien i kallt vatten. Orsaken till detta kan vara att de positivt laddade kalciumjonerna gör det svårare för aluminiumjoner att binda till TOC-föreningars Stern- och diffusa lager (se figur 3.1). Frågan är om förhållandet mellan aluminium och kalcium i Sternlagret och det diffusa lagret påverkar hur mycket aluminium som förblir löst när kemisk jämvikt råder.

8.7 TOC

TOC-halten används som ett mått på hur väl fällningskemikalien fungerar vid aktuell dosering. Låg aluminiumrest antas vara ett tecken på god fällningsprocess. Enligt utförda försök har aluminiumresten inget samband med hur väl TOC-reduktionen fungerar. Det förefaller som att en gräns för resthalt TOC i vattnet vid kemiskfällning och filtrering ligger runt 3 mg/l även vid överdosering av fällningskemikalie, då både Lerum och Kristinehamn landar på detta slutvärde.

Någon förändring av TOC-reduktionen kunde ej påvisas vid olika upplösningsgrad av kritan.

TOC-halten i råvattnet varierar och därmed förändras kemikaliebehovet. Av försöksresultaten framgår att en för låg dos fällningskemikalie medför en procentuell TOC-reduktion.

Vid försöksomgångarna var råvattenkvaliteten i Lyckebyån avsevärt bättre än normalt avseende färg och turbiditet. Råvattenkvaliteten i Lyckebyån påminde mer om ett sommarvatten avseende sammansättningen. TOC-halten var endast hälften så hög som vintern 2007-2008. Råvattnet i Lyckebyån blev aldrig så förorenat som önskat för försöken p.g.a. den kalla vintern och låga ytavrinningen på ofrusen mark.

8.8 Osäkerheter/begränsning i utredningen

I studien undersöktes om fler parametrar än temperaturen spelar in under vintertid och ger upphov till en försämrad kemisk fällning. Vid inhämtandet av råvatten var temperaturen låg men vattenkvaliteten kan ha påverkats mellan provuttag och försök.

Vattnet var inte representativt för extremförhållande, då vintern var mycket kall och den ökade föroreningsmängden som uppstår vid en varm vinter aldrig inträffade vintern 2009-2010.

Två testomgångar genomfördes för att undersöka om det är temperaturen som påverkar eller säsongvariationer. Dock är det endast omkring en månad mellan försöksomgångarna och vattenkvaliteten skiljer sig inte nämnvärt mellan omgångarna. 2010 var råvattenvariationen avsevärt lägre än 2008 och 2009, troligtvis beroende på klimatet.

Försöken var tidskrävande, vilket fick till följd att ett tillräckligt statistiskt säkerställt underlag inte kunde åstadkommas. Försöken baseras på stickprov och är därför endast representativt för ett enskilt tillfälle.

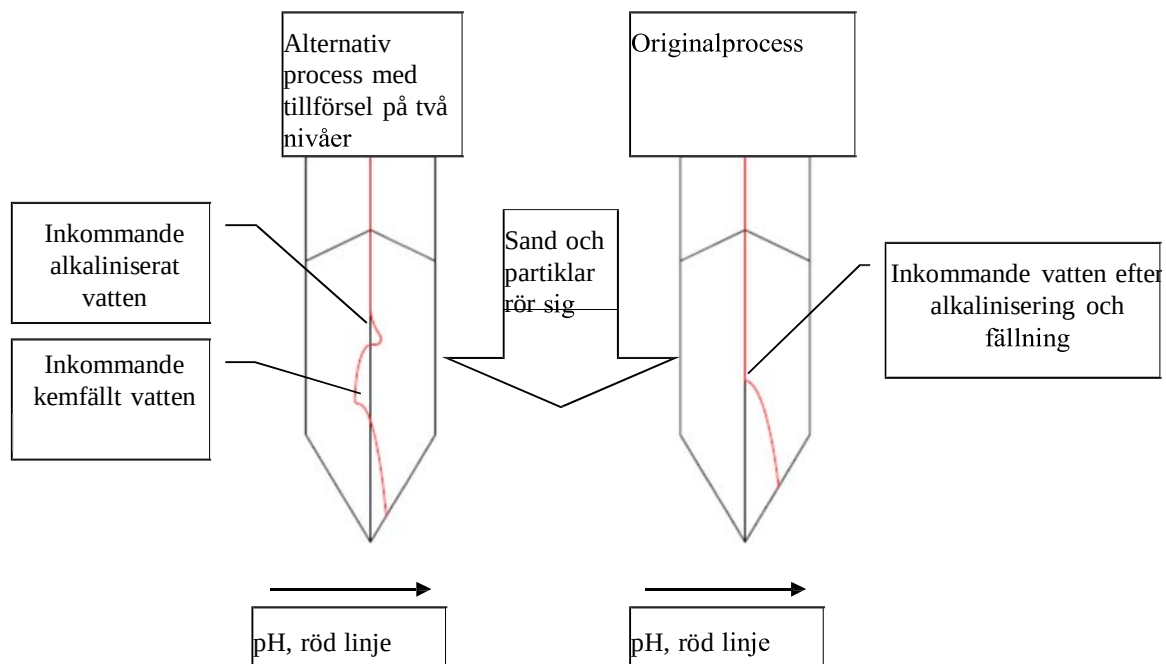
8.9 Alternativprocess

Enligt utförda försök påvisas inte bättre TOC-reduktion med en högre upplösningsgrad av krita innan dosering av fällningskemikalie. Fällning utan krita och pH-justering med lut gav en likvärdig TOC-reduktion trots att pH understeg 6.

Olöst krita orsakar högre slambelastning på lamellsedimenteringen i Kristinehamn samtidigt som kritan istället upplöses i lamellsedimenteringen. Vid ökad upplösning av krita i lamellsedimenteringen återförs en större mängd aluminium till processen via rejektvattnet.

Enligt mätning av turbiditet på olika nivåer i filtren kan ingen förhöjd turbiditet detekteras över nivån för vattentillförseln i sanden. Detta borde ge en möjlighet att tillsätta kritan högre upp i filtret så att kontakttiden med vattenmassan ökar och därmed kan mer krita lösas i huvudprocessen istället för i tvättvattenreningen.

Ett alternativ till att utnyttja befintlig utformning kan vara att leda en delström av vattnet till alkalisering (ca 10 – 20 %) medan resten (ca 80 – 90 %) endast genomgår kemisk fällning innan dynasandfiltren (figur 8-1). Det kemiskt fällda vattnet tillförs som tidigare längst ner i Dynasandfiltret medan det alkaliserade vattnet tillförs högre upp (ca 1 m) så att avskild krita-rest kan röra sig ner genom det sura vattnet och där lösas så att alkalinitet och pH ökar. Förändringen gör att den krita-rest som avskiljs i Dynasandfiltren transporteras nedåt genom en zon med lägre pH som medför att kritaupplösningen ökar. Någonstans mellan de båda doseringspunkterna uppstår ett optimalt fällnings-pH, vilket kan komma att minska aluminiumresten i vattnet.



Figur 8-2. Schematisk pH-variation, röd linje, för alternativ process och originalprocess

9 Slutsatser

TOC-reduktion

- TOC-reduktionen påverkas inte av temperatur, alkalinitet eller pH enligt försöken.
- TOC-reduktionen påverkas av kemikaliedoseringen i förhållande till TOC-innehållet.

Kritalöslighet

- pH är den faktor som har störst betydelse för kritans upplösningshastighet.
- pH-sänkningen från fällningskemikalien påverkar kritas upplösningshastighet positivt.
- Alkalinitet hos råvattnet tycks påverka kritaupplösningen.
- Upplösningshastigheten sker snabbare i varmt vatten.
- Partikelstorleken påverkar upplösningshastigheten av krita.
- Kritans upplösningsgrad ökar med upplösningstiden.

Aluminiumrest

- Aluminiumresten är högre för kallt vatten än för varmt, både i försök och i verklig drift.
- Lägst aluminiumrest återfinns när både aluminium och krita tillförs vattnet.
- Olöst krita minskade aluminiumresten i försöken.
- Optimalt fällnings-pH är 6-6,5 och pH. Utanför intervallet ökar aluminiumresten.

Alkalinitet

- De undersökta vattnen har en låg alkalinitet och alkalinitetshöjning krävs.
- Kemisk fällning sänker vattnets alkalinitet.
- Kemisk fällning sänker alkaliniteten mer i kallt vatten än i varmt enligt försöken.
- Alkalinitet påverkar inte reningsprocessen direkt utan indirekt genom pH-stabilitet.

10 Källor

- Alkattan, M., Oelkers, E. H., Dandurand, J.-L., & Schott, J. (1998, Oktober 1). An experimental study of calcite and limestone dissolution rates. *Chemical Geology*, 151(14), 199-214.
- Avdelningen för VA-teknik. (1986). *Kompendium i VA-teknik*. Institutionen för tekniks vattenresurslära, Avdelningen för VA-teknik. Lund: Lunds universitet.
- Cullio, P. A. (1996). *Industrial Minerals and Their Uses - A Handbook and Formulary*. Westwood, New Jersey, USA: Noyes Publications.
- Göthe, D., & Israelsson, B. (1992). *Hårdgöring av dricksvatten med krita-kolsyra - ett alternativ till kalk-kolsyra*. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV.
- Göthe, D., & Israelsson, B. (1995). *Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra - Ett alternativ till kalk-kolsyra*. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV.
- Hammer, M. J. (1986). *Water and Wastewater Technology* (Second edition ed.). Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall Career & Technology.
- Hedberg, T. (1969). *Optimering av den kemiska reningsprocessen samt hårdhetshöjning av mjuka ytvatten*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Inst. för vattenförsörjnings- och avloppsteknik.
- Hernebring, C. (2003). *Drifterfarenheter vid vattenverk med kemisk fällning under hösten/våren 1998-99*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.
- Karageorgiou, K., Paschalis, M., & Anastassakis, G. N. (2007, January 31). Removal of phosphate species from solution by adsorption onto calcite used as natural adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 193(3), 447-452.
- Karlskrona kommun. (2010). *Årsrapport för år 2009*. Karlskrona Vattenverk. Karlskrona: Karlskrona kommun.
- Kemira Kemwater. (2003). *Konsten att rena vatten*. Helsingborg, Sweden: Kemira Kemwater.
- Nordic Water. (2006). *DynaSand Clean Water*. Retrieved April 16, 2010, from Nordic Water Products: <http://www.nordicwater.se>
- Parsiegla, K. I., & Katz, J. L. (2000, June 1). Calcite growth inhibition by copper(II): II. Effect of solution composition. *Journal of Crystal Growth*, 213(3-4), 368-380.
- Sjöberg, L., & Rickard, D. (1984, Mars 3). Temperature dependence of calcite dissolution kinetics between 1 and 62°C at pH 2.7 to 8.4 in aqueous solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(3), 485-493.
- SLU. (2010). *SLU*. Hämtat från [http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi\\$StationC&ID=StationData&S=310](http://info1.ma.slu.se/ma/www_ma.acgi$StationC&ID=StationData&S=310)
- SMHI (a). (2009, July 7). *Normal årsmedeltemperatur | Temperatur | Meteorologi | Klimatdata | SMHI*. Retrieved March 26, 2010, from SMHI: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/1.3973>
- SMHI (b). (2009, October 26). *Normalt antal dygn med snötäcke per år | Snö | Meteorologi | Klimatdata | SMHI*. Retrieved March 26, 2010, from SMHI:

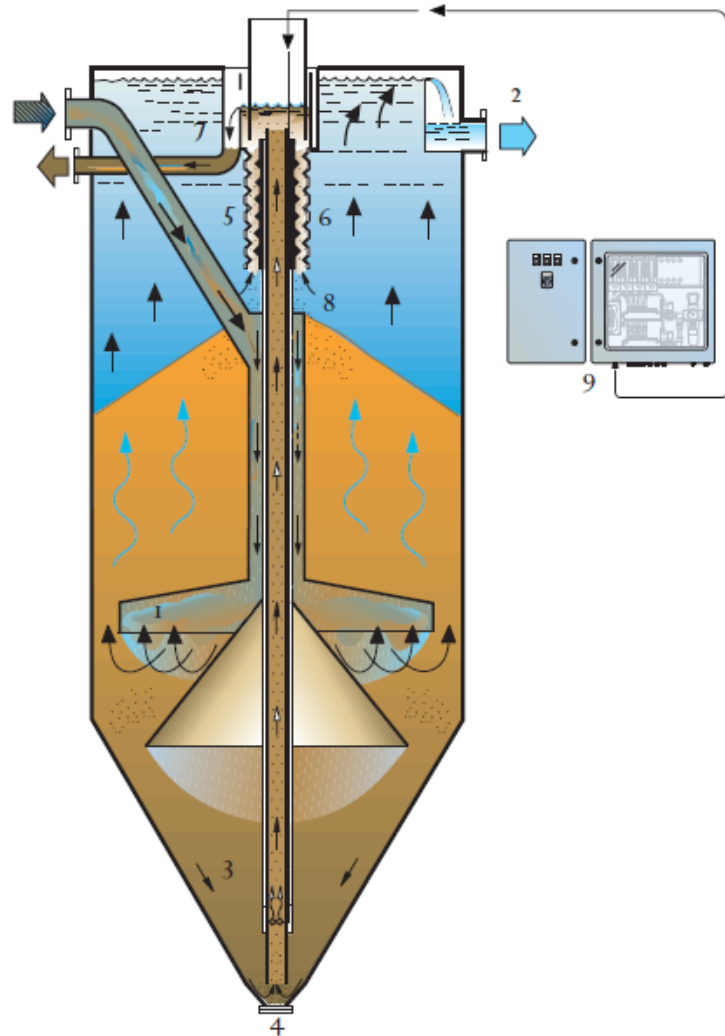
- <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/sno/Normalt-antal-dygn-med-snotacke-per-ar-1.7937>
- SMHI (c). (2009, July 13). *Normal uppmätt årsnederbörd, medelvärde 1961-1990 | Nederbörd | Meteorologi | Klimatdata | SMHI*. Retrieved March 26, 2010, from SMHI: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord/1.4160>
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. New York, California, USA: Oxford University Press.
- Sverdrup, H. U. (1985). *Calcite dissolution kinetics and lake neutralization*. Lund: Department of Chemical Engineering.
- Swedish Environmental Protection Agency. (2009, October 22). *Alkalinitet och försurningspåverkan*. Retrieved April 22, 2010, from Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se>
- Swedish National Food Administration. (2001). *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*. Stockholm: Swedish National Food Administration.
- Terjesen, S. G., Erga, O., Thorsen, G., & Ve, A. (1961). Phase boundary processes as rate determining steps in reactions between solids and liquids : The inhibitory action of metal ions on the formation of calcium bicarbonate by the reaction of calcite with aqueous carbon dioxide. *Chemical Engineering Science*, 14, 277-288.
- Vinson, M. D., Arvidson, R. S., & Luttge, A. (2007, September 1). Kinetic inhibition of calcite (1 0 4) dissolution by aqueous manganese(II). *Journal of Crystal Growth*, 307(1), 116-125.
- Wilén, B.-M. (2008). Lecture handouts in the course Drinking Water Engineering. *Drinking Water Production - Chemical Treatment - Chemical precipitation, coagulation, and flocculation*. Göteborg: Chalmers tekniska Högskola.

DynaSand[®] filter

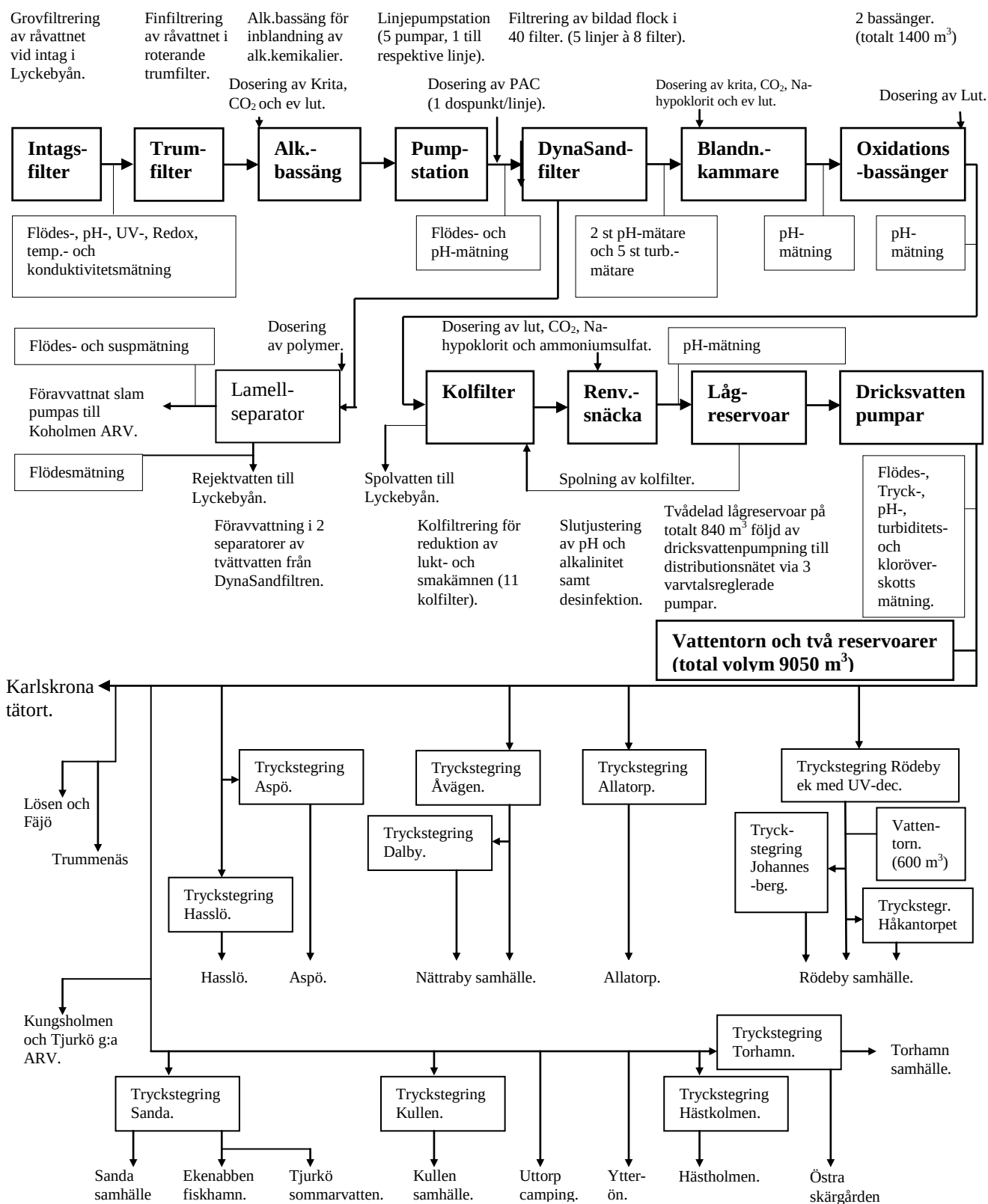
— operation

The DynaSand filter is based on the counterflow principle. The water to be treated is admitted through the inlet distributor (1) in the lower section of the unit and is cleaned as it flows upwards through the sand bed, prior to discharge through the filtrate outlet (2) at the top. The sand containing the entrapped solids is conveyed from the tapered bottom section of the unit (3), by means of an airlift pump (4), to the sand washer (5) at the top. Cleaning of the sand commences in the pump itself, in which impurities are separated from the sand grains by the turbulent mixing action. The contaminated sand spills from the pump outlet into the washer labyrinth (6), in which it is washed by a small countercurrent flow of clean water. The separated solids are discharged through the wash water outlet (7), while the grains of clean sand (which are heavier) are returned to the sand bed (8). As a result, the bed is in slow, constant downward motion through the unit. Compressed air for the sand pump is provided via the control panel (9).

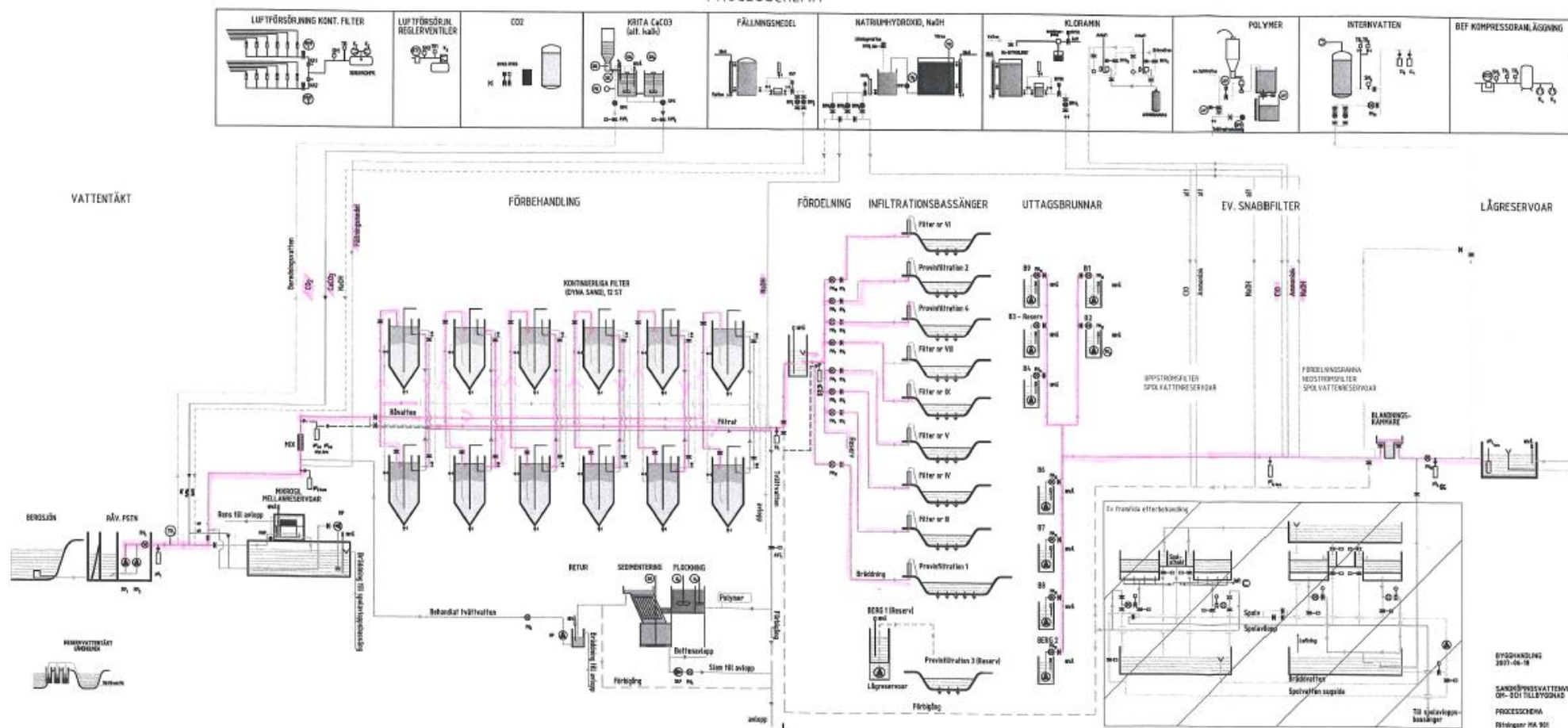
Thus, water purification and sand washing both take place continuously, enabling the filter to remain in service without interruption.



*DynaSand operates continuously
and requires a minimum of attention.*



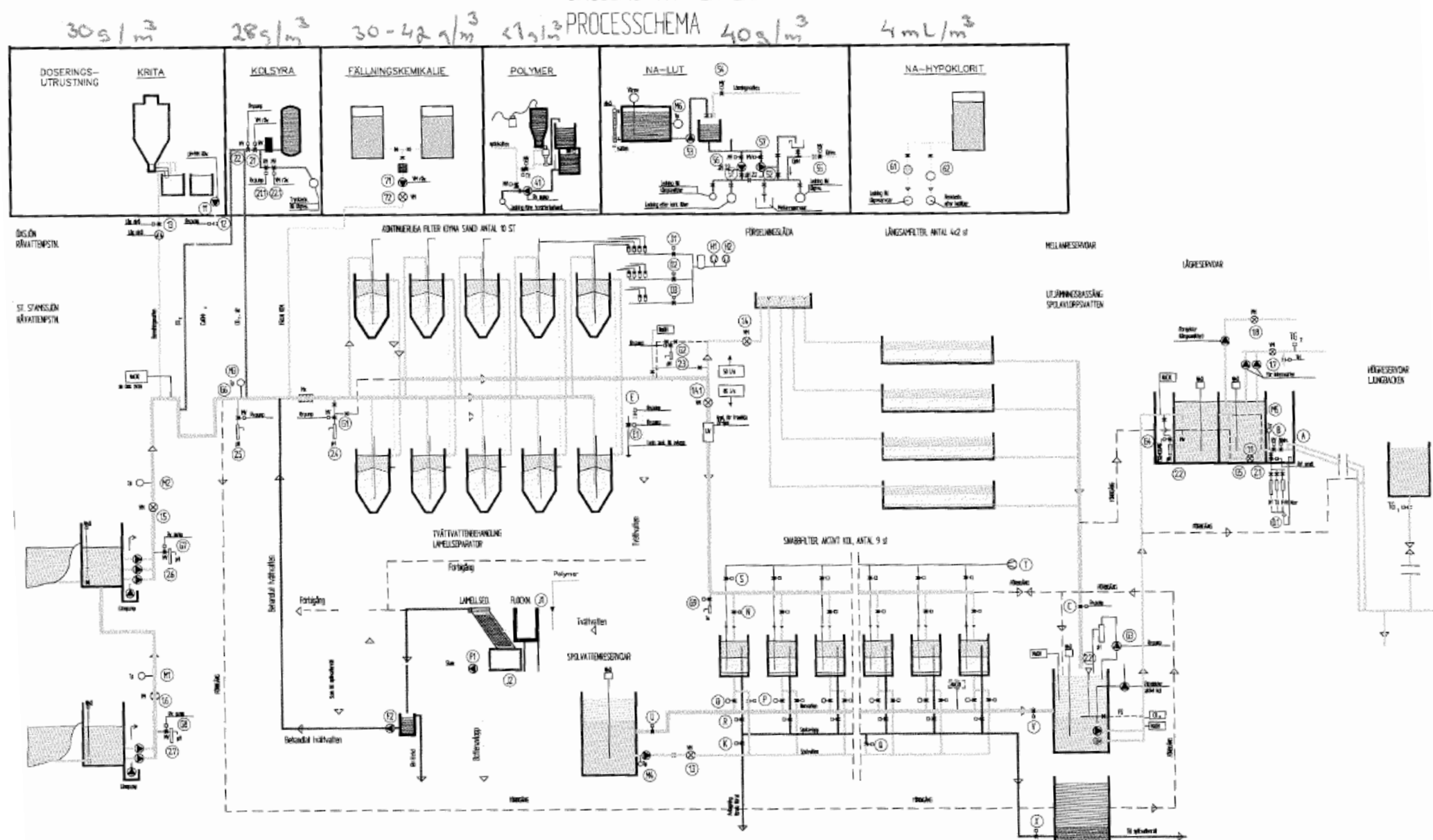
SANDKÖPINGS VATTENVERK PROCESSSCHEMA



BYGGNING
2017-06-18
SANDKÖPINGSVATTENVERK
OP-501 TILLBYGGNAD
PROCESSSCHEMA
Ridinger PA 501

LERUMS KOMMUN ÖXSJÖNS VATTENVERK

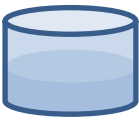
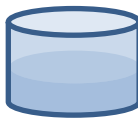
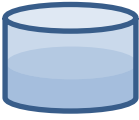
PROCESSSCHEMA



Bilaga 5 - Försökuppställning försöksomgång I

Test round I: The tests are made for pH 5, 6 and 7. pH is kept at the certain pH by continious CO₂ addition.

Water temperature $\approx 0.5^{\circ}\text{C}$ | Raw water = 1 l

pH 5, 20 rpm			
Time [min]	Activity		
0	pH is adjusted to 5 by the use of CO ₂ . 30 mg CaCO ₃ is then added		
1	CaCO ₃ reading		
4	CaCO ₃ reading		
7	CaCO ₃ reading		
10	CaCO ₃ reading		
pH 6, 20 rpm		pH 6, 50 rpm	
Time [min]	Activity	Time [min]	Activity
0	pH is adjusted to 6 by the use of CO ₂ . 30 mg CaCO ₃ is then added	0	pH is adjusted to 6 by the use of CO ₂ . 30 mg CaCO ₃ is then added
1	CaCO ₃ reading	1	CaCO ₃ reading
4	CaCO ₃ reading	4	CaCO ₃ reading
7	CaCO ₃ reading	7	CaCO ₃ reading
10	CaCO ₃ reading. 60 mg PAC is then added	10	CaCO ₃ reading
12	Al residue reading		
14	Al residue reading		
16	Al residue and CaCO ₃ reading		
pH 6, 20 rpm			
Time [min]	Activity		
0	pH is adjusted to 6 by the use of CO ₂ . 60 mg PAC is then added		
2	Al residue reading		
4	Al residue reading		
6	Al residue reading. 30 mg CaCO ₃ is then added		
7	CaCO ₃ reading		
10	CaCO ₃ reading		
13	CaCO ₃ reading		
16	CaCO ₃ and Al residue reading		
pH 7, 20 rpm			
Time [min]	Activity		
0	30 mg CaCO ₃ is added		
1	CaCO ₃ reading		
4	CaCO ₃ reading		
7	CaCO ₃ reading		
10	CaCO ₃ reading		

CaCO₃: Water is sampled after 1,4,7 and 10 min for every test. Water samples are then filtered and the amount of solved calcium carbonate is measured. Mikrostevn is used as calcium carbonate.

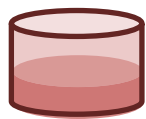
Dosage: 30 mg/l and are dosed for Karlskrona, Kristinehamn and Lerum.

PAC: Water is sampled after 2,4 and 6 min for every test. Water samples are then filtered and the aluminium residue is measured. Ekoflock 91 are used for Kristinehamn and Ekoflock 70 are used for

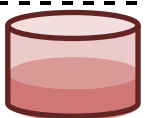
Dosage: 60 mg/l and are dosed for Karlskrona and Kristinehamn and 42mg/l for Lerum.

Test round I: The tests are made for pH 5, 6 and 7. pH is kept at the certain pH by continious CO₂ addition.

Water temperature $\approx 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Raw water = 1 l

pH 5, 20 rpm		
Time [min]	Activity	
0	pH is adjusted to 5 by the use of CO ₂ . 30 mg CaCO ₃ is then added	
1	CaCO ₃ reading	
4	CaCO ₃ reading	
7	CaCO ₃ reading	
10	CaCO ₃ reading	

pH 6, 20 rpm		
Time [min]	Activity	
0	pH is adjusted to 6 by the use of CO ₂ . 30 mg CaCO ₃ is then added	
1	CaCO ₃ reading	
4	CaCO ₃ reading	
7	CaCO ₃ reading	
10	CaCO ₃ reading. 60 mg PAC is then added	
12	Al residue reading	
14	Al residue reading	
16	Al residue and CaCO ₃ reading	

pH 6, 20 rpm		
Time [min]	Activity	
0	pH is adjusted to 6 by the use of CO ₂ . 60 mg PAC is then added	
2	Al residue reading	
4	Al residue reading	
6	Al residue reading. 30 mg CaCO ₃ is then added	
7	CaCO ₃ reading	
10	CaCO ₃ reading	
13	CaCO ₃ reading	
16	CaCO ₃ and Al residue reading	

pH 7, 20 rpm		
Time [min]	Activity	
0	30 mg CaCO ₃ is added	
1	CaCO ₃ reading	
4	CaCO ₃ reading	
7	CaCO ₃ reading	
10	CaCO ₃ reading	

pH 6, 50 rpm		
Time [min]	Activity	
0	pH is adjusted to 6 by the use of CO ₂ . 30 mg CaCO ₃ is then added	
1	CaCO ₃ reading	
4	CaCO ₃ reading	
7	CaCO ₃ reading	
10	CaCO ₃ reading	

CaCO₃: Water is sampled after 1,4,7 and 10 min for every test. Water samples are then filtered and the amount of solved calcium carbonate is measured. Mikrostevn is used as calcium carbonate.

Dosage: 30 mg/l and are dosed for Karlskrona, Kristinehamn and Lerum.

PAC: Water is sampled after 2,4 and 6 min for every test. Water samples are then filtered and the aluminium residue is measured. Ekoflock 91 are used for Kristinehamn and Ekoflock 70 are used for

Dosage: 60 mg/l and are dosed for Karlskrona and Kristinehamn and 42mg/l for Lerum.

Bilaga 6 - Försökupställning försöksomgång II

Test round II: The tests are allowed to be in the intervall of pH 5.5 to 6.5. In case B, B1, B2 and B3 pH are lowered to pH 6.00 before CaCO_3 is added. pH is then kept around pH 6 by continuous CO_2 addition.

Water temperature $\approx 0.5^\circ\text{C}$ | Ekoflock 70 = 60 mg/l | Mikrostevnns = 30 mg/l | Raw water = 1 l

Case A		Case B	
Time [min]	Activity	Time [min]	Activity
0	60 mg PAC addition and possible dosage of NaOH to keep pH within pH 5.5 to 6.5	0	30 mg CaCO_3 addition
1	Al residue reading	1	CaCO_3 reading
4	Al residue & TOC readings	4	CaCO_3 reading
7	Al residue reading	7	CaCO_3 reading
10	Al residue reading	10	CaCO_3 reading
15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings	20	CaCO_3 reading
		30	CaCO_3 reading
		Case B1	
		Time [min]	Activity
		0	30 mg CaCO_3 addition
		at 30-40% solved CaCO_3	CaCO_3 & alkalinity readings. 60 mg PAC addition
		+1	Al residue reading
		+4	Al residue & TOC readings
		+7	Al residue reading
		+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings
		Case B2	
		Time [min]	Activity
		0	30 mg CaCO_3 addition
		at 50-60% solved CaCO_3	CaCO_3 & alkalinity readings. 60 mg PAC addition
		+1	Al residue reading
		+4	Al residue & TOC readings
		+7	Al residue reading
		+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings
		Case B3	
		Time [min]	Activity
		0	30 mg CaCO_3 addition
		at 70-80% solved CaCO_3	CaCO_3 & alkalinity readings. 60 mg PAC addition
		+1	Al residue reading
		+4	Al residue & TOC readings
		+7	Al residue reading
		+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings

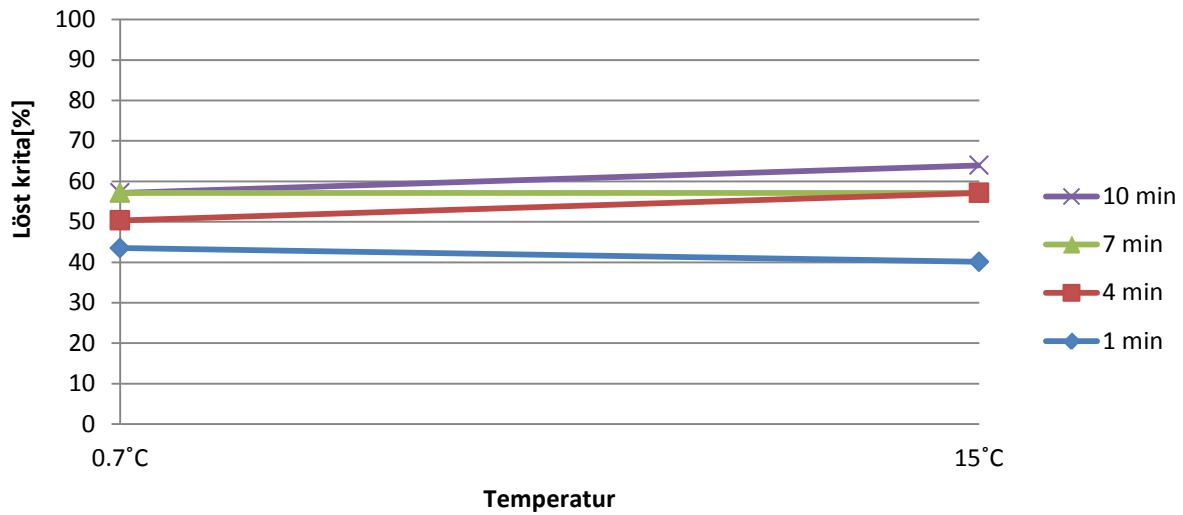
Test round II: The tests are allowed to be in the interval of pH 5.5 to 6.5. In case B, B1, B2 and B3 pH are lowered to pH 6.00 before CaCO₃ is added. pH is then kept around pH 6 by continuous CO₂ addition.

Water temperature ≈ 15°C | Ekoflock 70 = 60 mg/l | Mikrostevnns = 30 mg/l | Raw water = 1 l

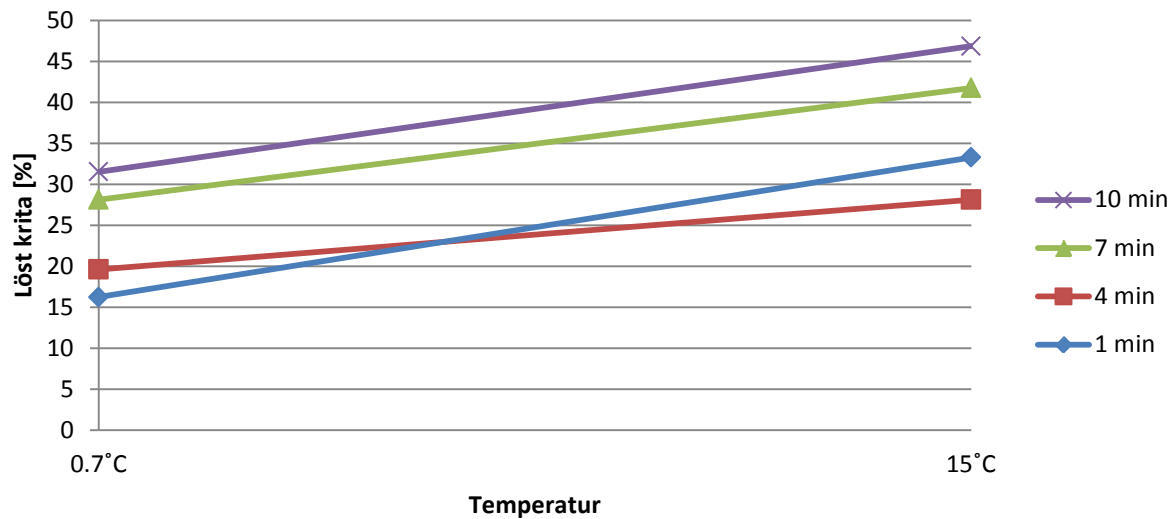
Case A		Case B	
Time [min]	Activity	Time [min]	Activity
0	60 mg PAC addition and possible dosage of NaOH to keep pH within pH 5.5 to 6.5	0	30 mg CaCO ₃ addition
1	Al residue reading	1	CaCO ₃ reading
4	Al residue & TOC readings	4	CaCO ₃ reading
7	Al residue reading	7	CaCO ₃ reading
10	Al residue reading	10	CaCO ₃ reading
15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings	20	CaCO ₃ reading
		30	CaCO ₃ reading
		Case B1	
Time [min]	Activity	Time [min]	Activity
0	30 mg CaCO ₃ addition	0	30 mg CaCO ₃ addition
at 30-40% solved CaCO ₃	CaCO ₃ & alkalinity readings. 60 mg PAC addition	at 30-40% solved CaCO ₃	CaCO ₃ & alkalinity readings. 60 mg PAC addition
+1	Al residue reading	+1	Al residue reading
+4	Al residue & TOC readings	+4	Al residue & TOC readings
+7	Al residue reading	+7	Al residue reading
+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings	+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings
		Case B2	
Time [min]	Activity	Time [min]	Activity
0	30 mg CaCO ₃ addition	0	30 mg CaCO ₃ addition
at 50-60% solved CaCO ₃	CaCO ₃ & alkalinity readings. 60 mg PAC addition	at 50-60% solved CaCO ₃	CaCO ₃ & alkalinity readings. 60 mg PAC addition
+1	Al residue reading	+1	Al residue reading
+4	Al residue & TOC readings	+4	Al residue & TOC readings
+7	Al residue reading	+7	Al residue reading
+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings	+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings
		Case B3	
Time [min]	Activity	Time [min]	Activity
0	30 mg CaCO ₃ addition	0	30 mg CaCO ₃ addition
at 70-80% solved CaCO ₃	CaCO ₃ & alkalinity readings. 60 mg PAC addition	at 70-80% solved CaCO ₃	CaCO ₃ & alkalinity readings. 60 mg PAC addition
+1	Al residue reading	+1	Al residue reading
+4	Al residue & TOC readings	+4	Al residue & TOC readings
+7	Al residue reading	+7	Al residue reading
+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings	+15	Al residue, Mn, alkalinity & TOC readings

Bilaga 7 - Resultat från försöksomgång I

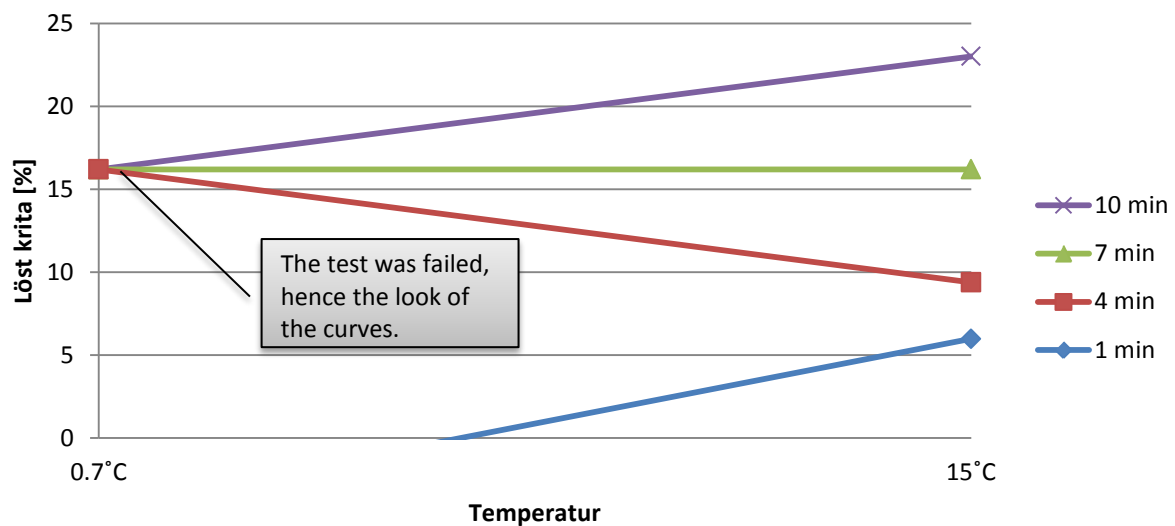
2010-03-08 | Vatten: Lerum | Omrörningshastighet: 20 rpm | pH 5



2010-03-08 | Vatten: Lerum | Omrörningshastighet: 20 rpm | pH 6

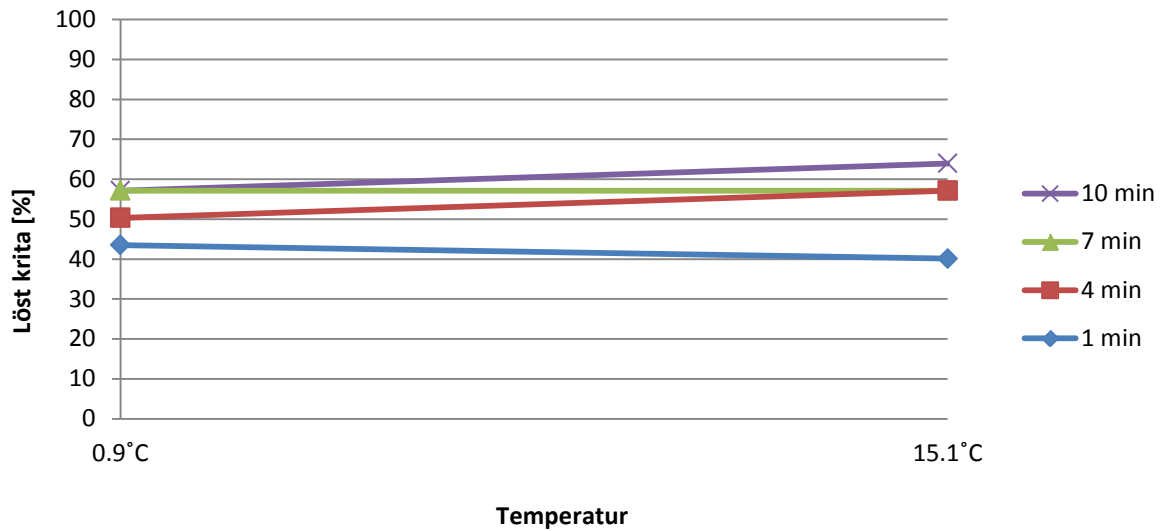


2010-03-08 | Vatten: Lerum | Omrörningshastighet: 20 rpm | pH 7

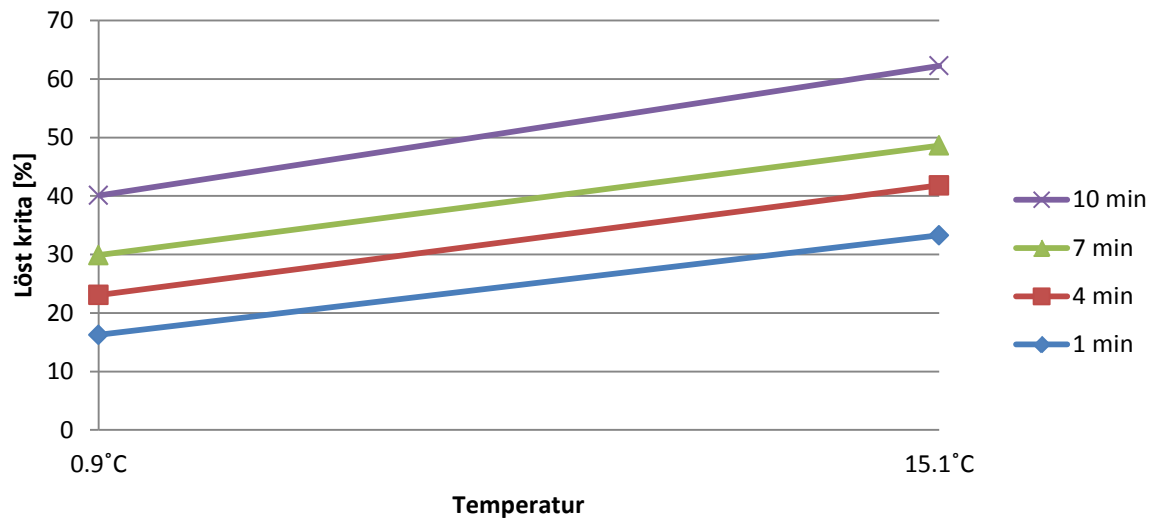


Bilaga 7 - Resultat från försöksomgång I

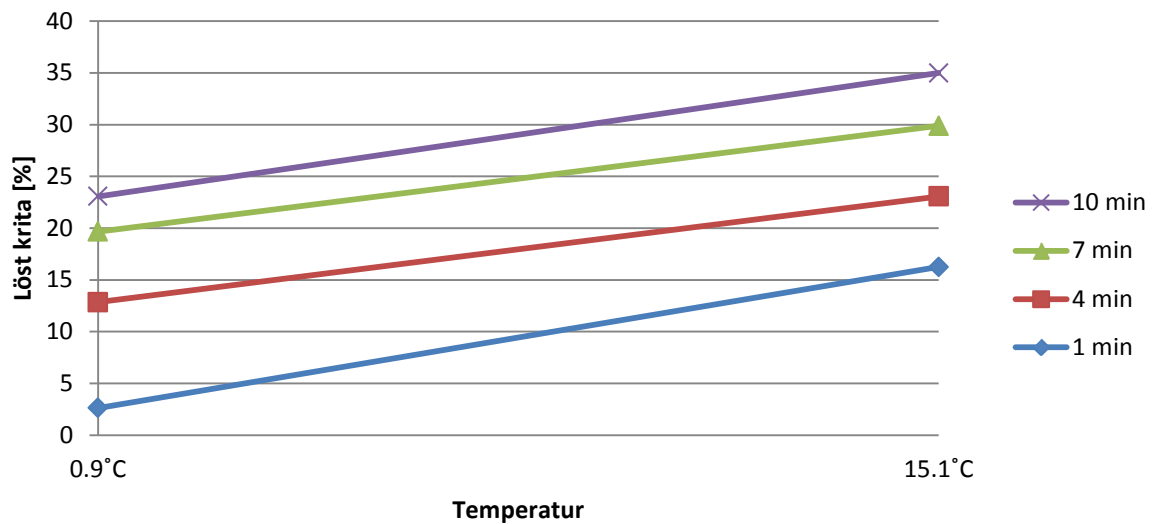
2010-02-23 | Vatten: Kristinehamn | Ömrörningshastighet: 20 rpm | pH 5



2010-02-23 | Vatten: Kristinehamn | Ömrörningshastighet: 20 rpm | pH 6

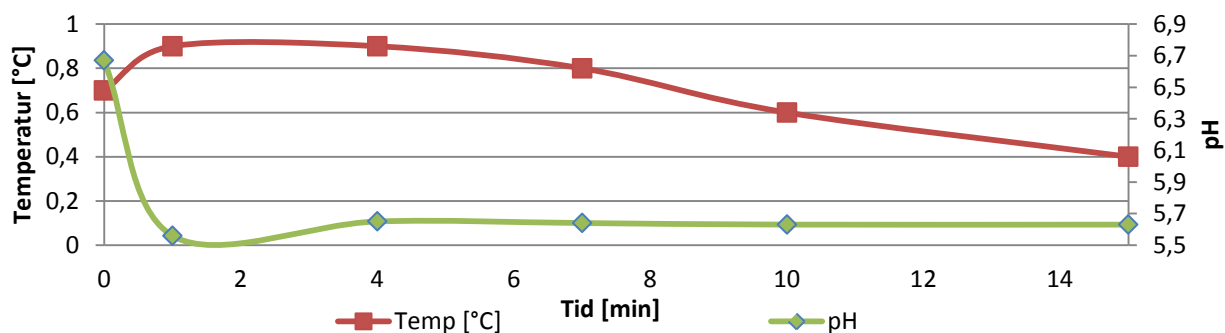
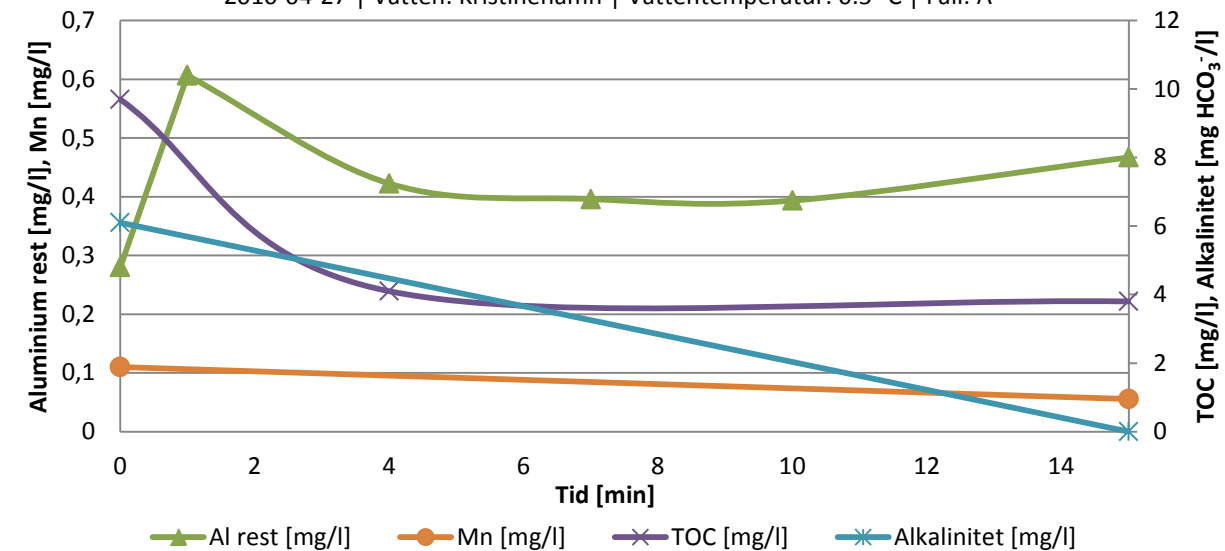


2010-02-23 | Vatten: Kristinehamn | Ömrörningshastighet: 20 rpm | pH 7

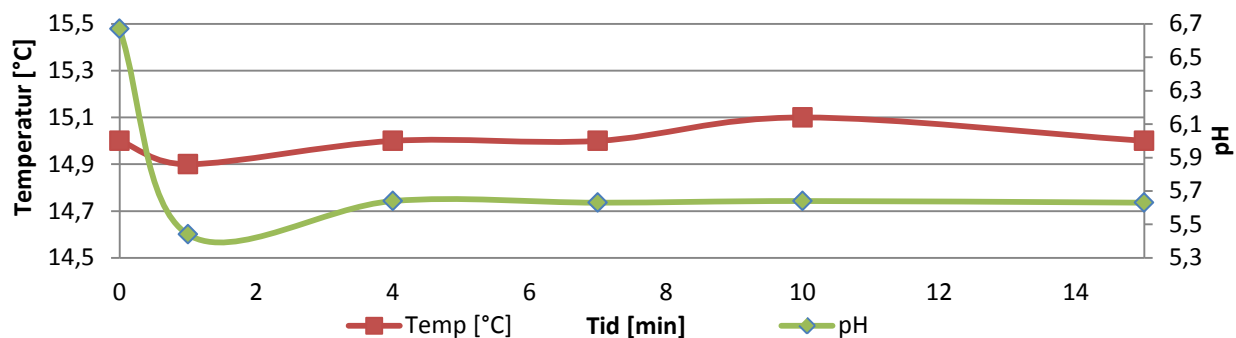
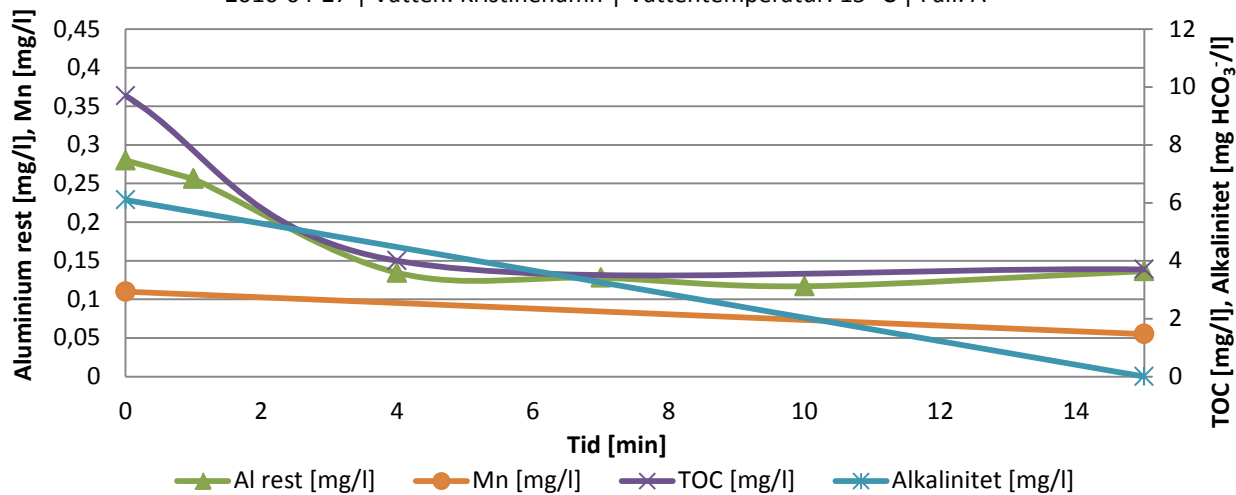


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

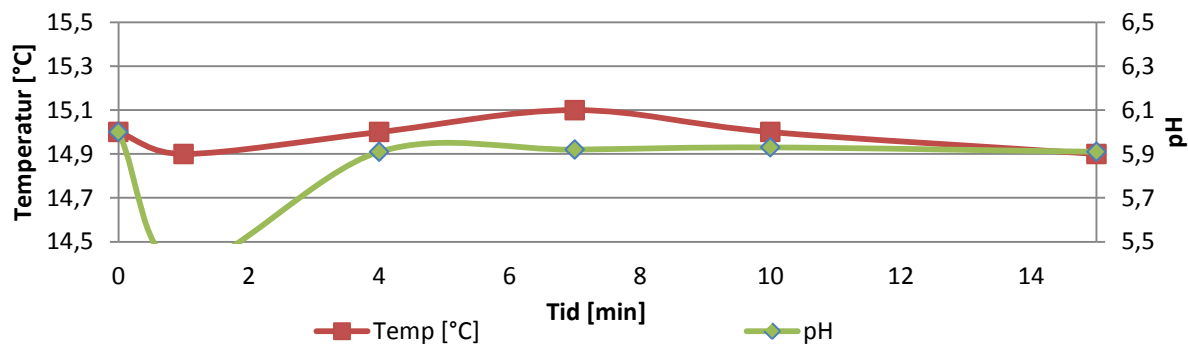
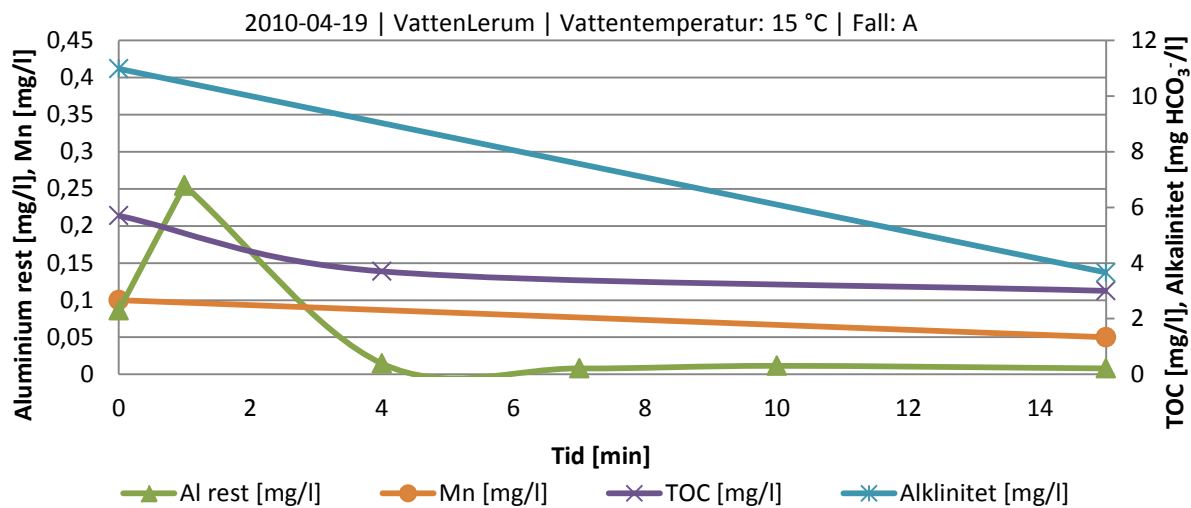
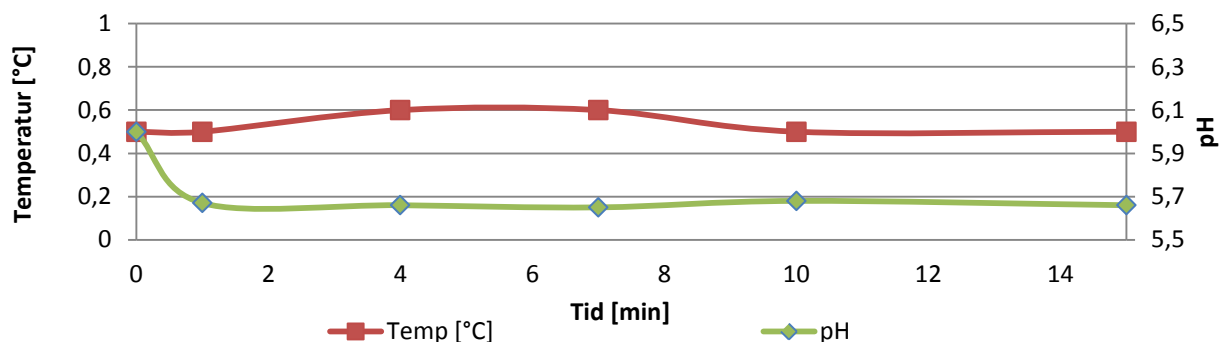
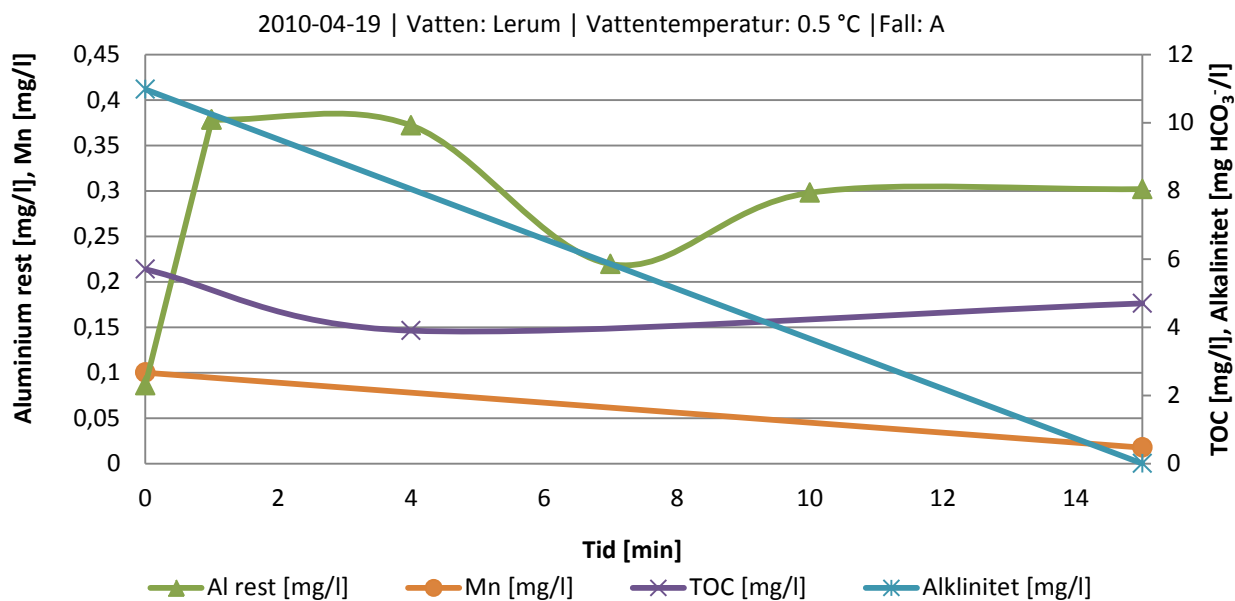
2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: A



2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: A

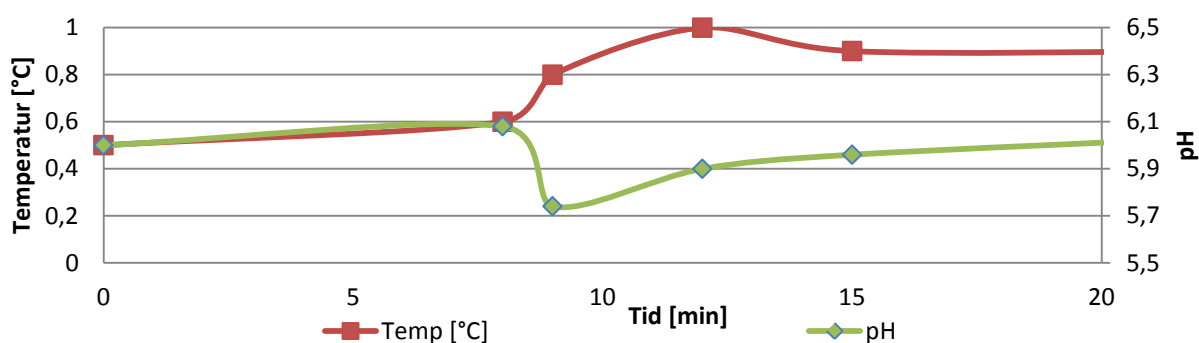
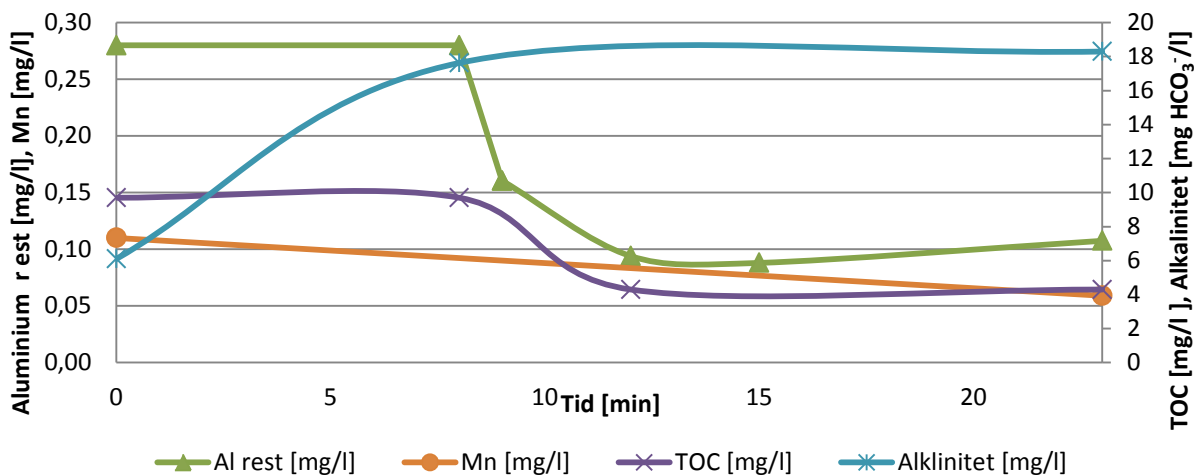


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

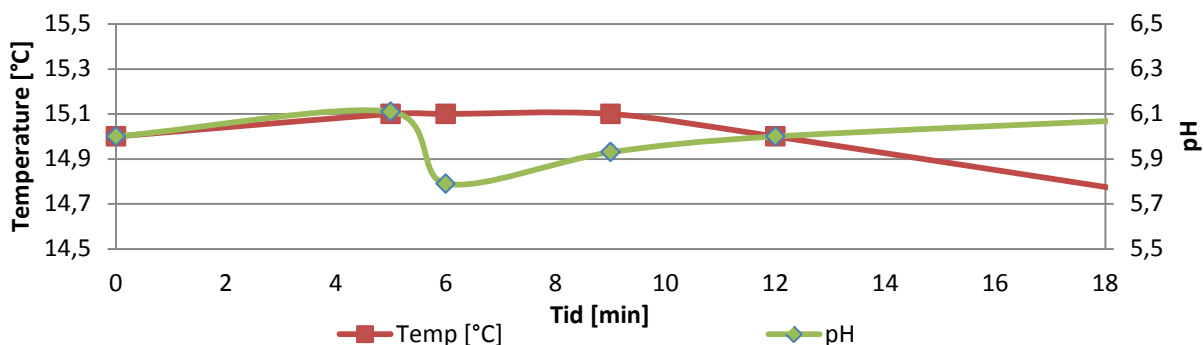
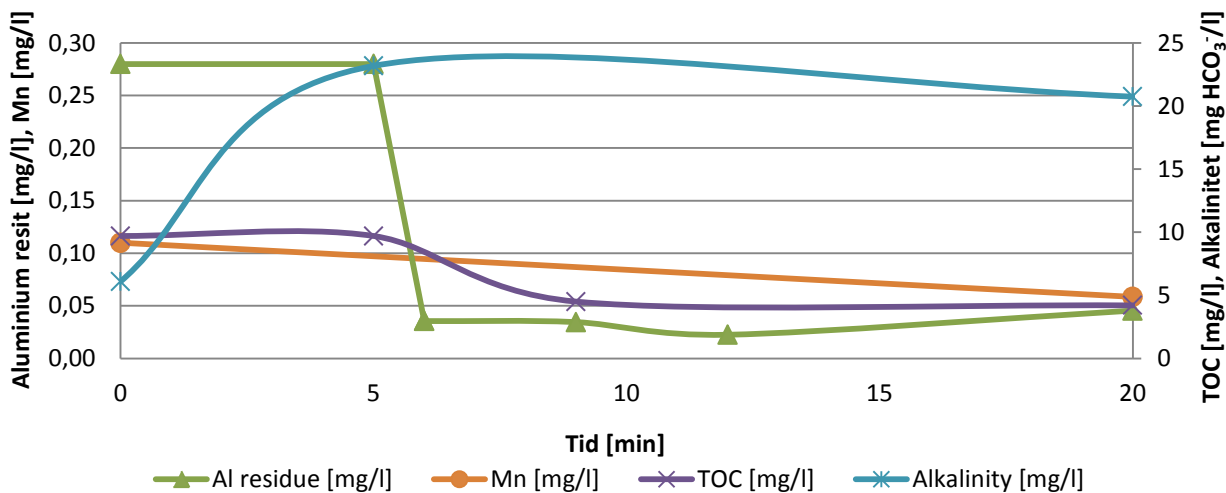


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: B1 | 31 % Löst krita

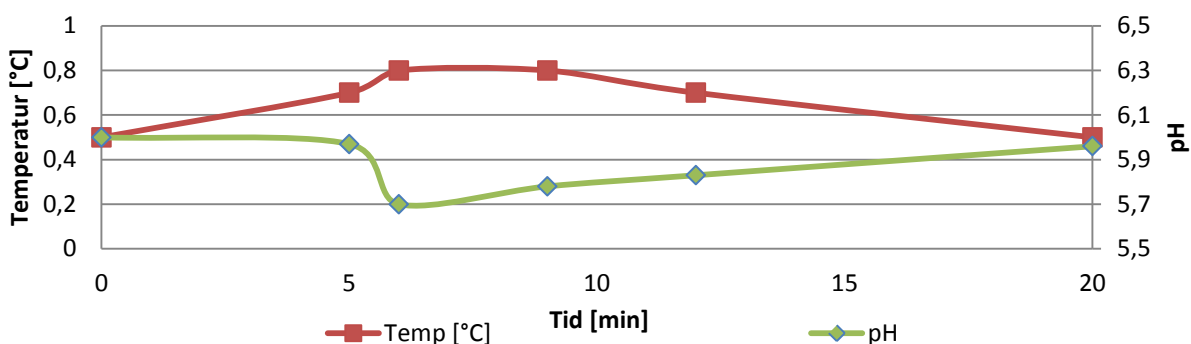
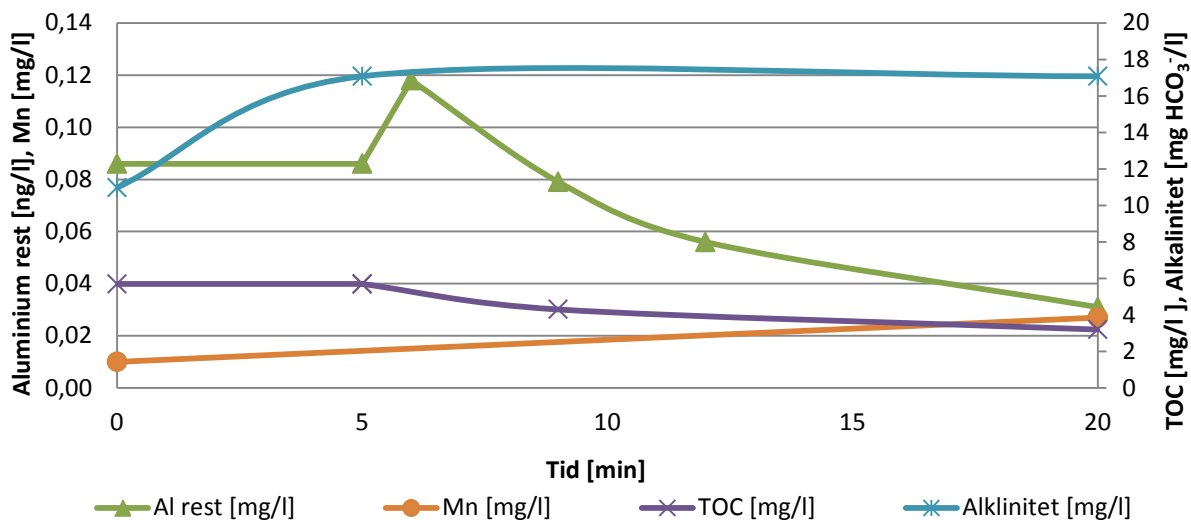


2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: B1 | 41 % löst krita

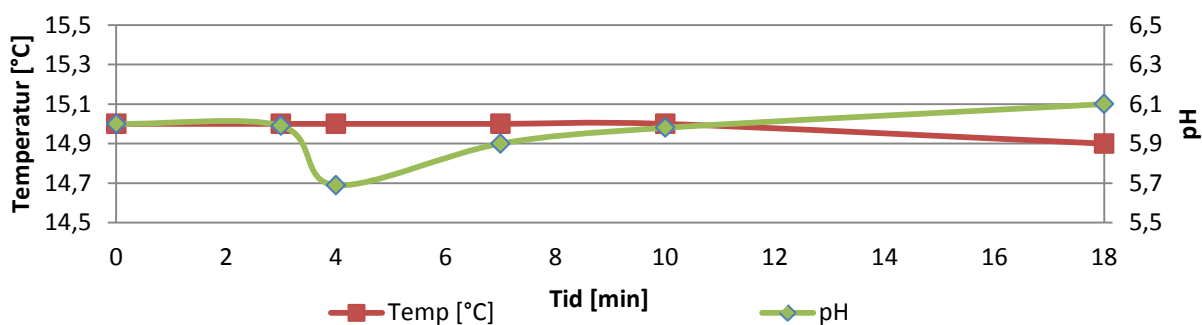
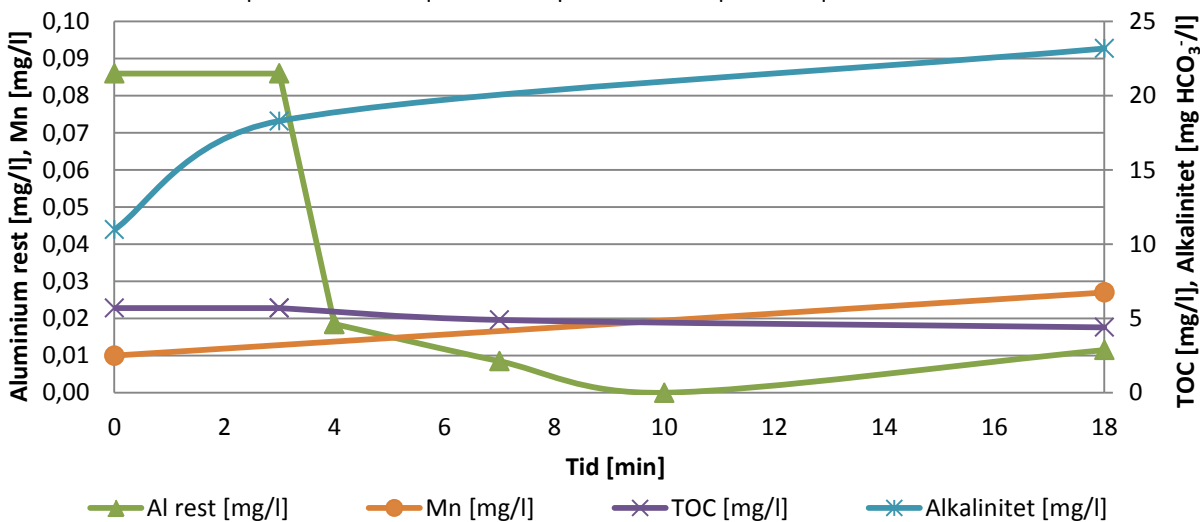


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

2010-04-19 | Vatten: Lerum | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: B1 | 17 % löst krita

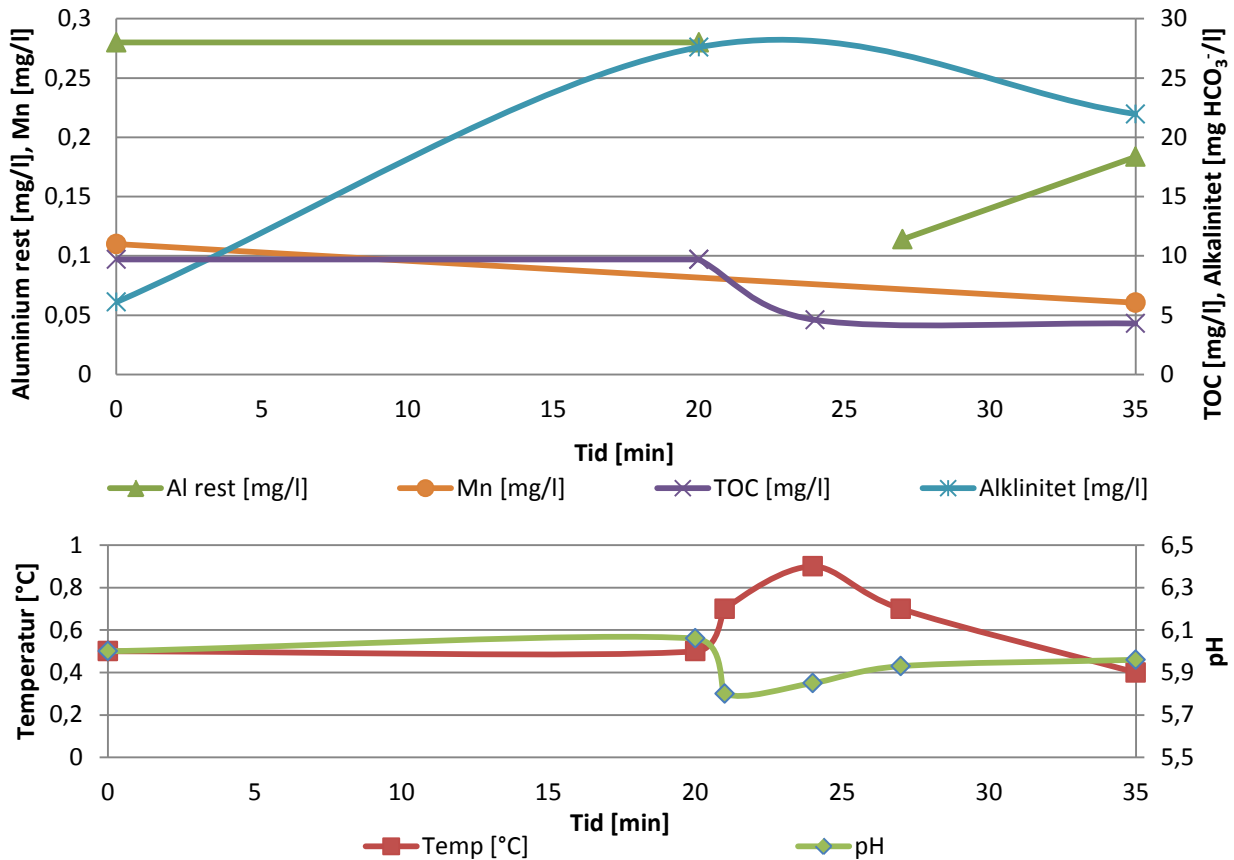


2010-04-19 | Vatten: Lerum | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: B1 | 34 % löst krita

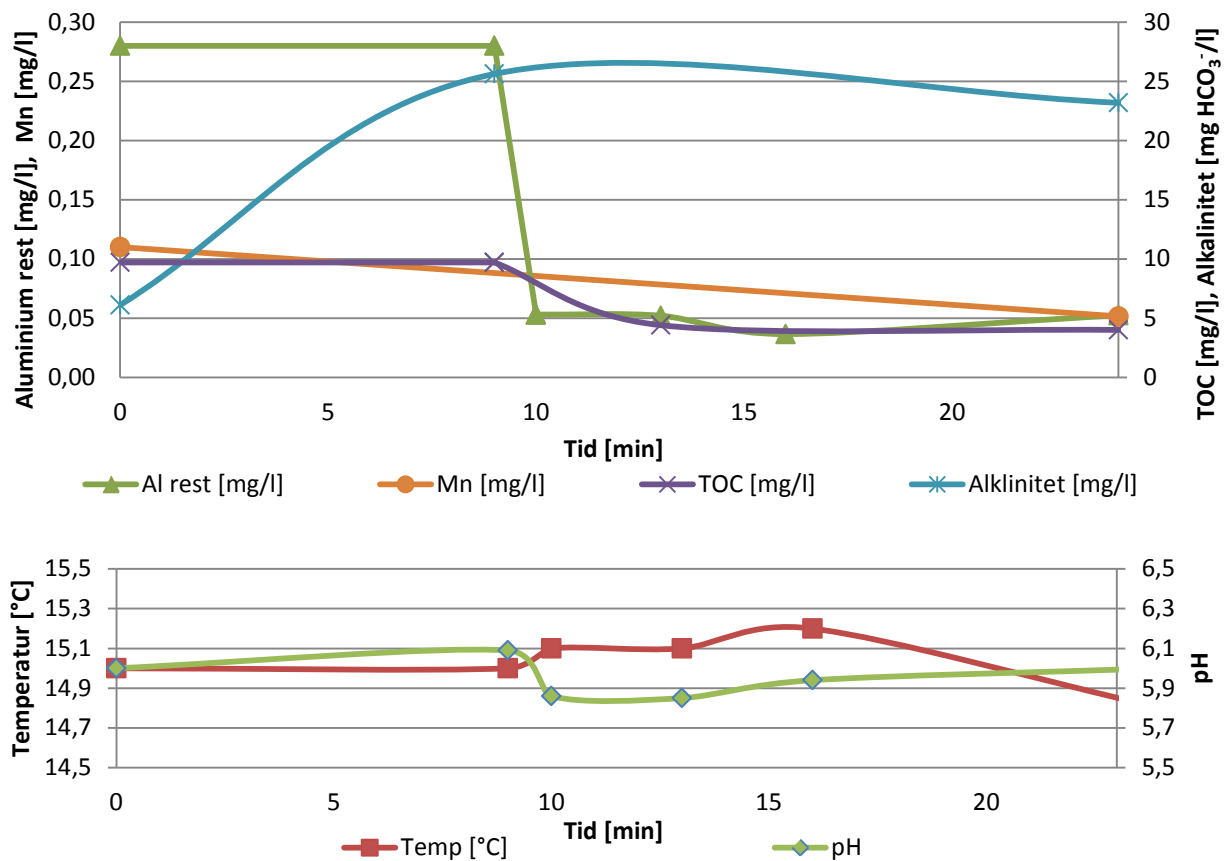


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

2010-04-27 | VattenKristinehamn | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: B2 | 53 % löst krita

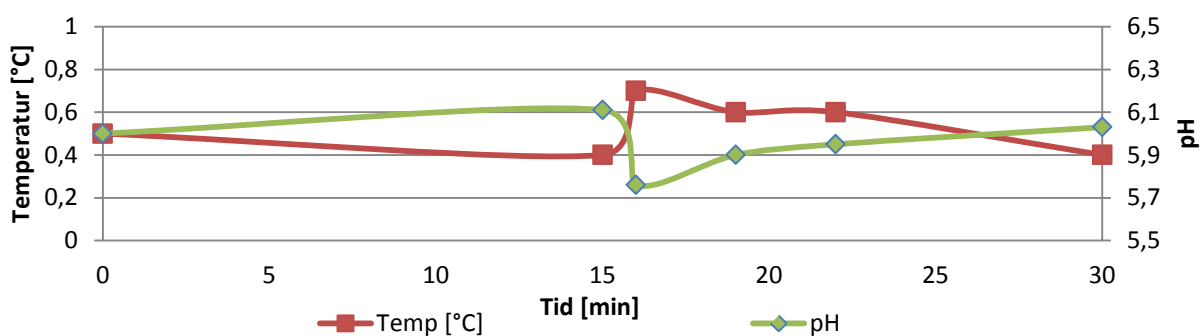
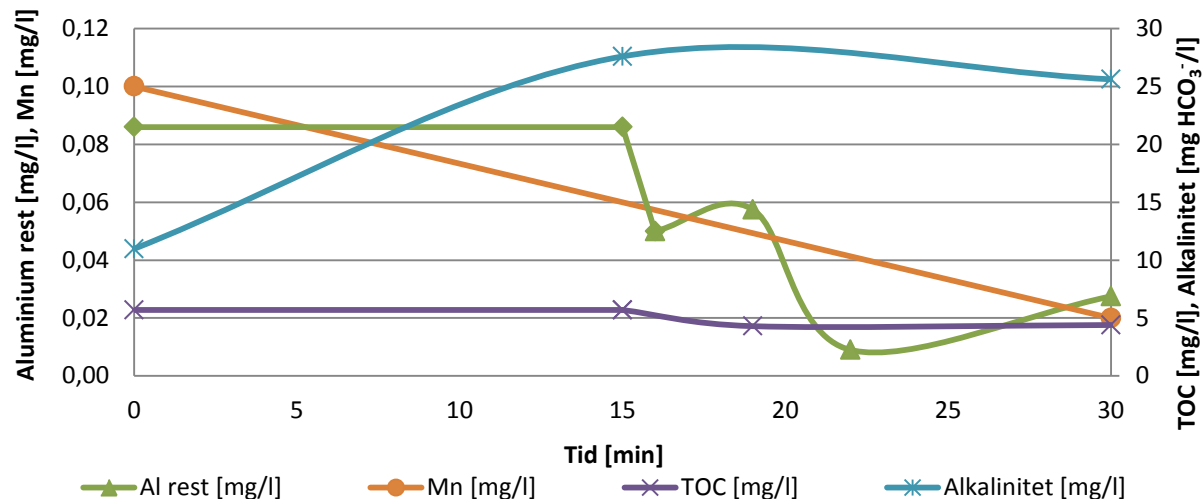


2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: B2 | 51 % löst krita

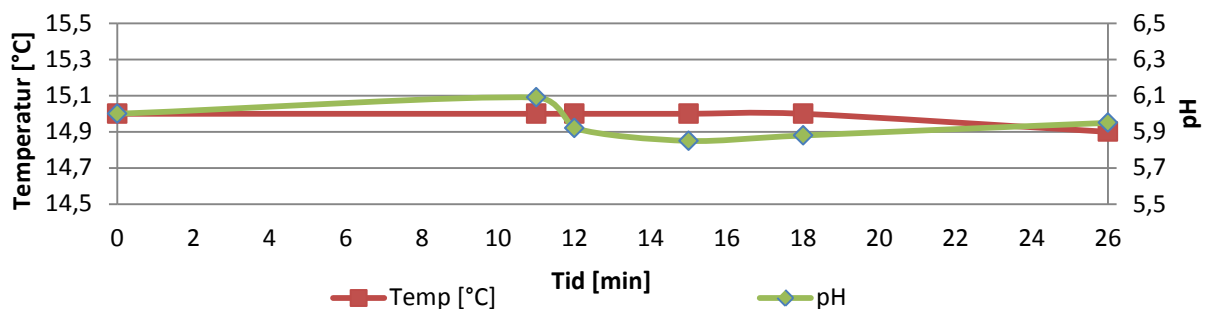
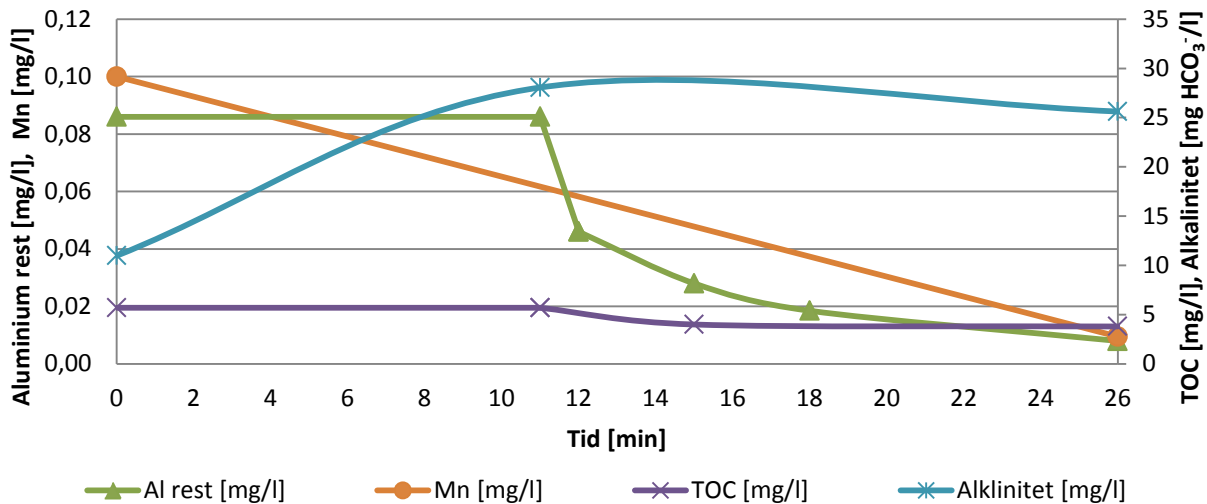


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

2010-04-19 | Vatten: Lerum | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: B2 | 58 % löst krita

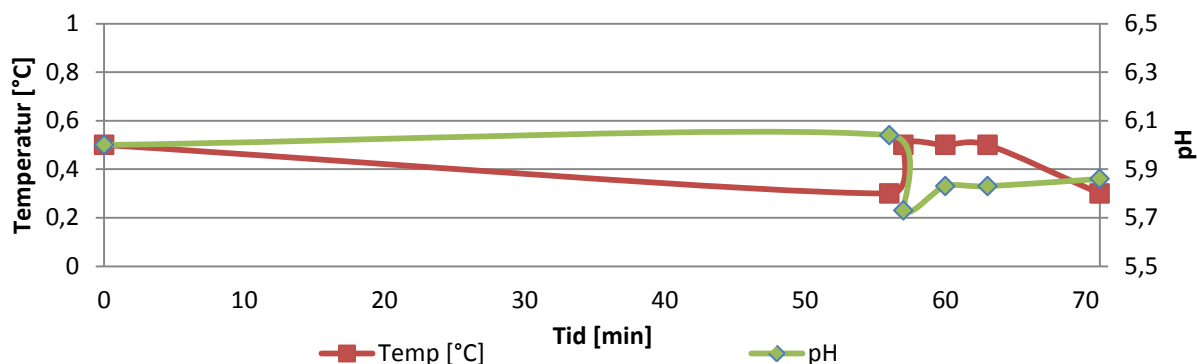
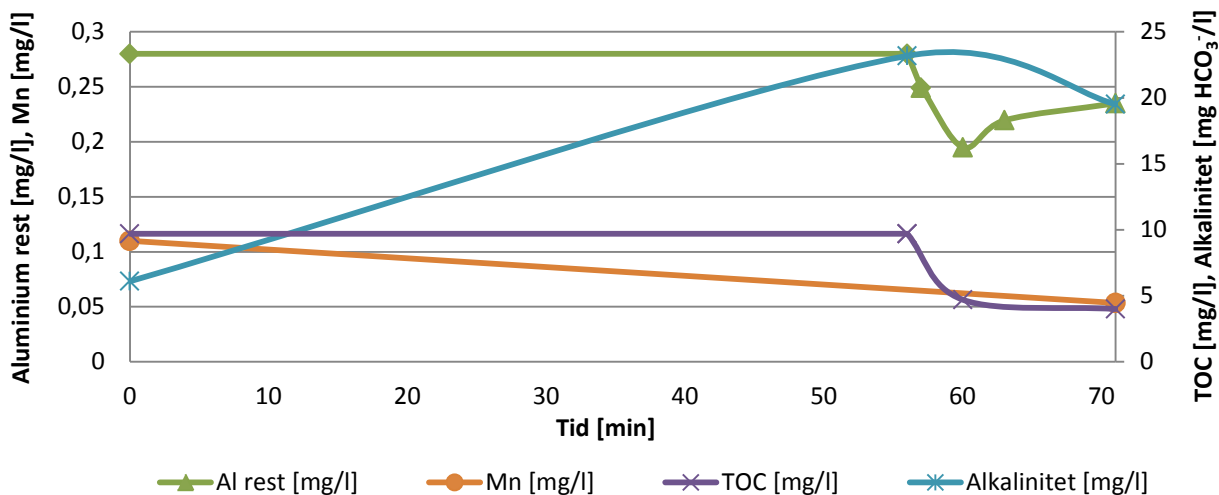


2010-04-19 | Vatten: Lerum | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: B2 | 56 % löst krita

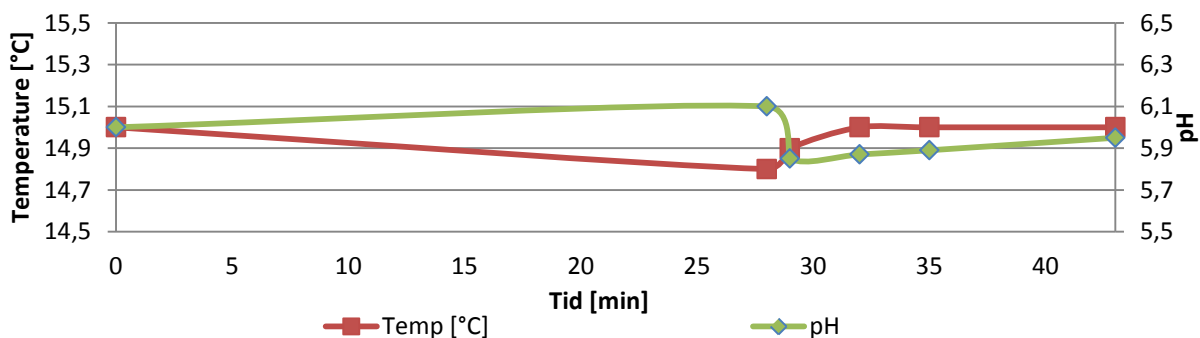
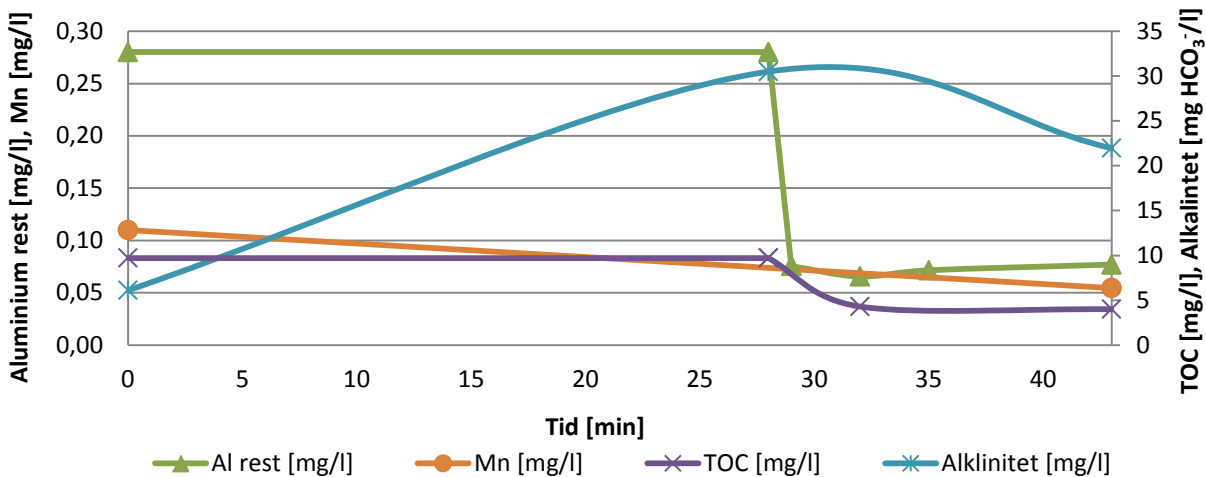


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: B3 | 61 % löst krita

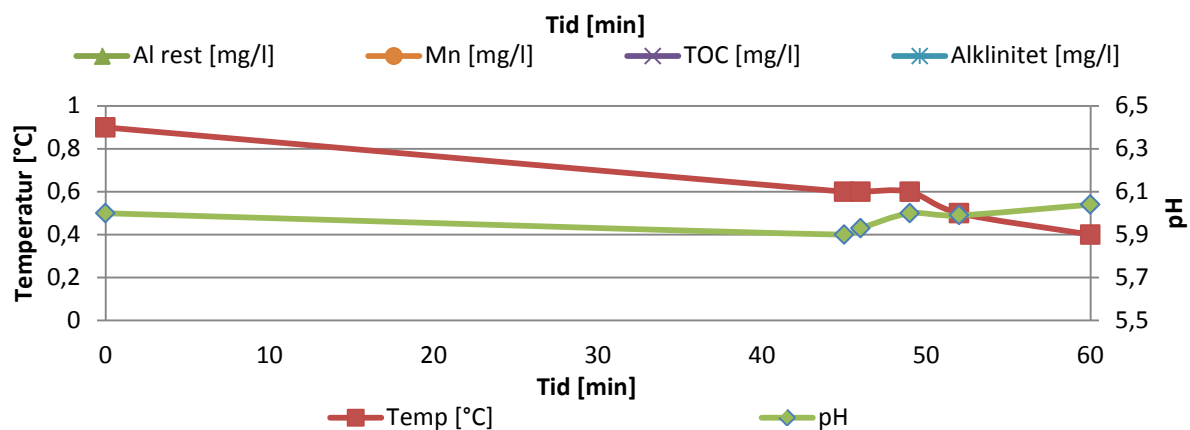
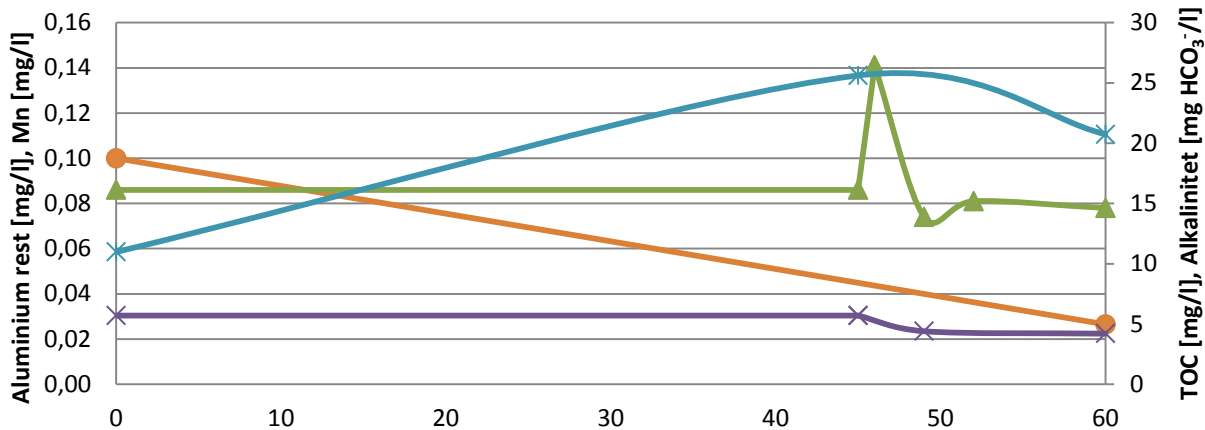


2010-04-27 | Vatten: Kristinehamn | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: B3 | 68 % löst krita

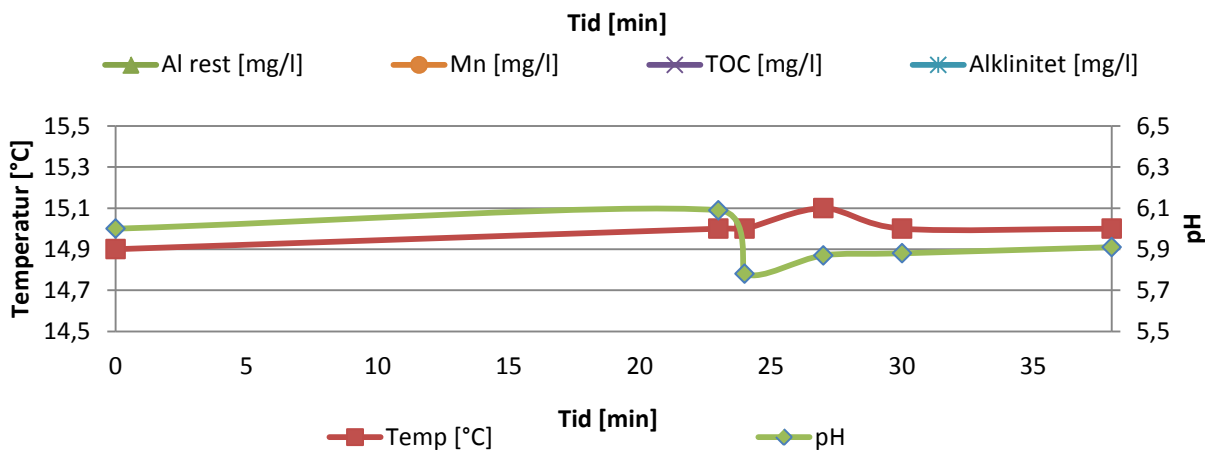
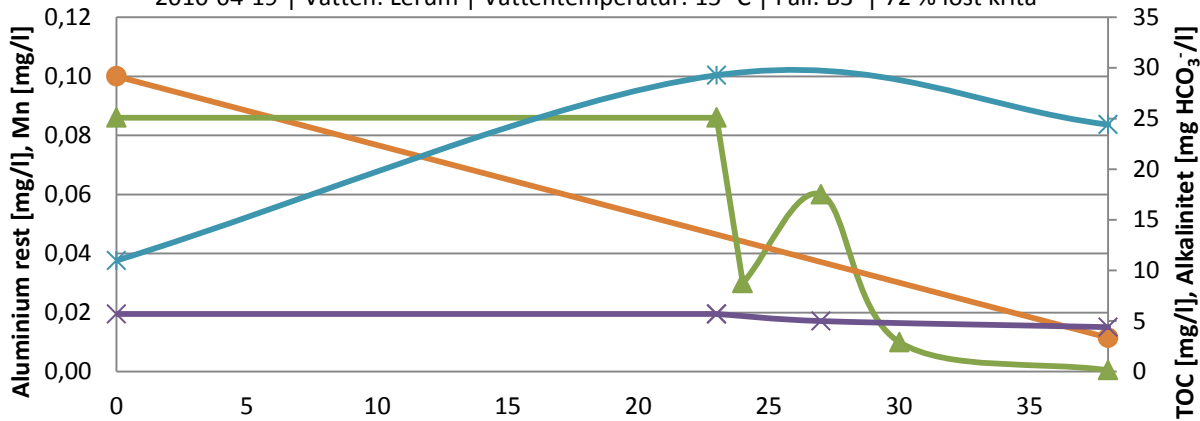


Bilaga 8 - Resultat från försöksomgång II

2010-04-19 | Vatten: Lerum | Vattentemperatur: 0.5 °C | Fall: B3 | 65 % löst krita



2010-04-19 | Vatten: Lerum | Vattentemperatur: 15 °C | Fall: B3 | 72 % löst krita





Norconsult AB

Theres Svensson gata 11

Box 8774, 402 76 Göteborg

031 – 50 70 00, fax 031-50 70 10

www.norconsult.se