



Högskolan
Kristianstad

Högskolan Kristianstad

291 88 Kristianstad

044 250 30 00

www.hkr.se

**Självständigt arbete (examensarbete), 7,5 hp, för
Högskoleexamen med inriktning VA-teknik
VT 2020
Fakulteten för naturvetenskap**

Järn- och manganreducering vid Österbybruks vattenverk

Förstudie till nytt processteg

Johan Trygg

Författare

Johan Trygg

Titel

Järn- och manganreducering vid Österbybruks vattenverk - Förstudie till nytt processteg

Engelsk titel

Reducing iron and manganese at Österbybruks water treatment plant – A pilot study to a new process stage.

Handledare

Mikael Ahlbom, Enhetschef Drift Syd, Östhammar Vatten AB

Danuta Nestorowicz, Kvalitetssamordnare, Östhammar Vatten AB

Stefan Trobro, Universitetslektor i vatten- och miljöteknik, Högskolan Kristianstad

Examinator

Lennart Mårtensson, Professor i miljöteknik, Högskolan Kristianstad

Sammanfattning

Österbybruks vattenverk har haft problem med höga mängder järn och mangan vid en av de tre råvattentäkter (Kyrkholmen) som används i nuläget. Delar av det nuvarande processteg som behandlar reduktionen av dessa ämnen byggdes i början av 70-talet och behöver nu ses över. Utöver detta har Östhammars kommun, som vattenverket ligger i, haft problem med tillgången av råvatten.

För att motverka detta har man nu påbörjat bygga en vattenledning mellan Österbybruks vattenverk och Örbyhus vattenverk som ligger i grannkommunen Tierp. Utifrån detta har olika driftstrategier tagits fram som kommer påverka beslutet om hur man bör hantera mängden järn och mangan i råvattnet från Kyrkholmen. En nulägesanalys sammanfattar även den situation som vattenverket och kommunen befinner sig i. Flera tekniker har analyserats i denna förstudie genom SWOT-analyser. Två alternativ väger tyngre i slutändan: antingen förnya nuvarande teknik och optimera driften eller införskaffa en bioreaktor som genom mikrobiologisk aktivitet oxiderar järn och mangan i råvattnet. Ytterligare förslag till kompletterande och förebyggande rening föreslås angående halten av organiskt material som finns i Kyrkholmens råvatten.

Ämnesord

Dricksvattenproduktion, Järnreducering, manganreducering, Grundvatten, Omvärldsanalys, Driftstrategi.

Förord

Examensarbetet är den avslutande delen av VA- kretsloppsteknikerprogrammet vid Högskolan Kristianstad och kursen har utförts under vårterminen 2020. Arbetet har utförts i samarbete med Östhammar Vatten AB & Gästrike Vatten AB.

Tack till samtlig personal vid Drift Syd, har fått lära mig mycket och intresset för ämnet VA-teknik har blivit större efter den VFU-period jag fått utföra innan examensarbetes början.

Tack till Lina Danielsson vid Gästrike Vatten som svarade på mina frågor och hjälpte mig med att få fram information om de driftstrategier som gäller vid Österbybruks vattenverk, både för den nuvarande situation och inför framtiden.

Jag vill tacka mina handledare vid Östhammar Vatten AB, Mikael Ahlbom och Danuta Nestorowicz, som hjälpt mig att utföra detta examensarbete från start och svarat på mina ständiga frågor.

Slutligen vill jag tacka min handledare vid Högskolan Kristianstad, Stefan Trobro, som hjälpt mig under kursens gång med snabba svar på mina många frågor, hur utformningen av rapporten bör vara och bidragit med ett rent allmänt intresse av ämnet.

Innehåll

Förord	3
Innehåll	4
Inledning.....	5
Syfte.....	6
Avgränsningar	6
Bakgrund	6
Vattenverkets verksamhetsområde.....	6
Järn och mangan	6
Organiskt material	8
Material och metoder.....	9
Resultat	10
Omvärldsanalys	10
Vad används inom Sverige.....	10
Kemisk- och biologisk avskiljning.....	10
Återinfiltration.....	11
Fällning.....	11
Vyredox- och markoxidation.....	11
SWOT-analys	12
Nulägesanalys.....	17
Förslag till nytt processteg	19
Alternativ 1 - Biologisk avskiljning	20
Alternativ 2 - Oxidation genom tillsats av oxideringsmedel.....	20
Diskussion	21
Slutsatser	22
Referenser.....	23
Bilaga 1 – Diagram och tabeller.....	1

Inledning

Dricksvatten är en av våra viktigaste resurser och tillgången till det är en förutsättning för att vårt samhälle och vår livsstil ska vara möjlig. I Sverige har vi generellt haft gynnsamma förutsättningar för att kunna producera säkert dricksvatten och i tillräckliga mängder (Svenskt Vatten, 2007). Dock finns det vissa områden i nuläget där tillgången till råvatten är ansträngt och Östhammars kommun är ett sådant exempel (Gästrike Vatten [GVAB], 2020a).

Österbybruks vattenverk har problem med förhöjda järn- och manganhalterna i råvattnet, där största bidragande faktorn är Kyrkholmens råvattentäkt. Den nuvarande reningsprocessen innehåller processteg som byggdes 1971 och behöver bytas ut för att säkerställa att vattenverket inte upplever längre driftstörningar eller anmärkningar på producerat dricksvatten.

För att reducera mängden järn- och mangan ur råvattnet använder sig man av kaliumpermanganat (KMnO_4) som oxidationsmedel. Det doseras efter att inkommande vattenledning från Kyrkholmen kommer in i vattenverket. Råvattnet går sedan vidare till ett tryckkärl med uppsatta metallskivor, vars syfte är att förlänga kontakttiden mellan vattnet och oxidationsmedlet. Efter detta passerar vattnet genom två parallella sandfilter, ett kolfilter och sedan två avhärdningsfilter. Luftning med hjälp av en ”gastripper” används för att höja pH-värdet genom att frigöra kolsyra. Natriumhypoklorit (NaClO) och UV-ljus används som desinfektion innan det når ut till abonnenterna.

I nuläget byggs det en vattenledning mellan Örbyhus i Tierps kommun och Österbybruk i Östhammars kommun. Anledningen är att säkerställa leveransen av dricksvatten till boende i Österbybruk och nästa etapp blir att bygga ledningen vidare till Alunda, där tillgången på dricksvatten har satt stopp för nybyggen inom orten (Sveriges Television [SVT], 2019). Detta kommer minska belastningen på nuvarande råvattentäkter, men för att undvika vattenbrist på grund av framtida problem med ledningen vill man att råvattentäkterna ska kunna producera tillräckligt med råvatten. Därför bör nya processteg i vattenverket dimensioneras utifrån detta scenario. Olika driftstrategier tas därför fram där kravet på den mängd vatten som kommer ifrån råvattentäkterna samt den nya ledningen sammanställs.

Denna förstudie tar upp det nuvarande läget vid Österbybruks vattenverk samt en omvärldsanalys av de olika tekniker som används inom Sverige för reduktion av järn och mangan. Olika tekniker kommer sammanställas med för- och nackdelar, vilket avgör den slutgiltiga rekommendationen av ett nytt processteg för just järn- och manganreduktion vid Österbybruks vattenverk.

Syfte

Syftet med denna förstudie är att ta fram förslag till ett nytt processteg för reduktion av järn och mangan vid Österbybruks vattenverk. Förslaget ska byggas på den nuvarande situationen samt olika driftstrategier för framtida behov. Detta görs med hjälp av en omvärldsanalys som berör hur andra vattenverk i Sverige reducerar järn- och mangan och genom en nulägesanalys där den nuvarande situationen vid Österbybruks vattenverk sammanfattas.

Avgränsningar

Studien fokuserar på reduktionen av järn- och mangan vid inkommande vatten från Kyrkholmens råvattentäkt. Efterföljande processteg tas i åtanke angående förslaget på det nya processteget, men inga fördjupningar görs i dem.

Råvattnet som kommer ifrån Film och Norråsen har inte samma problem som Kyrkholmens råvattentäkt och passerar i nuläget inte det järn- och manganreducerade processteg som finns, därför antas de inte komma att påverka det slutgiltiga resultatet.

Inga ekonomiska analyser har utförts i samband med arbetet, urvalet av processteg har gjorts enligt det behov och förutsättningar som finns.

Bakgrund

Vattenverkets verksamhetsområde

Östhammars kommuns yta består delvis av kustområden då det gränsar till Östersjön och detta bidrar delvis till problemet med tillgången av grundvatten då marken vid kustområden innehåller mycket berg, vilket ofta har små grundvattenlager (Sveriges geologiska undersökning [SGU], u.å.) De grundvattenmagasin som finns i Östhammar är i överlag av mindre storlek och kapacitet, vilket försämrar förutsättningarna med tillgången av råvatten vid dålig nederbörd (GVAB, 2020a) (SGU, 2020).

Österbybruk är en tätort som befinner sig inom Östhammars kommun och består av ca 2377 invånare, varav 2225 är anslutna till det kommunala distributionsnätet.

I nuläget finns det ett vattenverk och tre råvattentäkter (Film, Norråsen, Kyrkholmen) i drift som försörjer orten med dricksvatten. Då tillgången till vatten redan är ansträngt inom kommunen (GVAB, 2020a) krävs det att den nuvarande dricksvattenproduktionen förbättras.

Årsproduktionen av dricksvatten vid Österbybruks vattenverk har haft ett medelvärde på ca 215 590 m³ mellan perioden 2015 - 2019 (GVAB, 2020b).

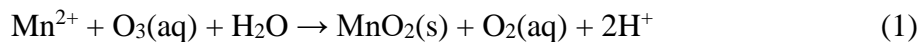
Järn och mangan

Järn (Fe) är ett viktigt näringsämne och förekommer ofta i marken och i naturliga vattendrag. Problem som kan uppstå på grund av järn i dricksvatten är framförallt av estetiska skäl, där missfärgningar av sanitetsgods kan förekomma, tvätt riskerar få rostfläckar, vattnet blir grumligt och kan få en metallisk smak (Svenskt vatten, 2010a). Varför dessa problem uppstår kan bero på korrosion ute på ledningsnätet eller att

reduktionen av järn vid vattenverket inte är tillräcklig. Livsmedelsverket har satt ett gränsvärde på 0,1 mg/l Fe för tjänligt med anmärkning på utgående dricksvatten och 0,2 mg/l Fe hos användare och förpackat vatten (LIVSFS 2017:2). Likaså är mangan ett viktigt näringsämne för människor, men högre halter i dricksvattnet kan skapa svarta utfällningar och missfärgningar på sanitetsgods och porslin (Andersson, Hedberg, & Hermansson, 2001). De kopparledningar som ofta används inom fastigheter för kopplingar och mindre ledningar kan drabbas av korrosion redan vid låga koncentrationer av mangan (Svenskt Vatten, 2010a). Gränsvärdet för tjänligt med anmärkning ligger på 0,05 mg/l Mn vid dricksvatten hos användaren enligt LIVSFS 2017:2. Höga halter av både järn och mangan i råvatten är ett av de allra vanligaste problem som uppstår vid dricksvattenproduktion från grundvatten (SGU, 2013).

Järn och mangan förekommer ofta i form av tvåvärdade positiva joner (+II) när det befinner sig i grundvatten och under reducerade förhållanden är de stabila. Järn kan oxideras i många fall genom tillförsel av syre i råvattnet medan mangan ofta kräver starkare oxidationsmedel (Svenskt vatten, 2010a) (Crittenden, Hand, Howe, Tchobanoglous och Trussel, 2012).

Oxidering vid dricksvattenproduktion består av att elektroner avges från det ämne som önskas avskiljas (järn och mangan), vilket bildar svårslösliga former av ämnet som går att separera från dricksvattnet genom filtrering (Crittenden et al. 2012). I följande formel visas hur mangan oxideras för att skapa en fällning genom att tillsätta ett oxidationsmedel (ozon) i råvattnet:



Manganet förlorar i detta fall två elektroner och ozonet tar upp två elektroner, vilket producerar en fällning av manganet (mangandioxid) och ozon reduceras till syre i vattnet. Fällningen kan sedan filtreras ur vattnet.

En liknande reaktion uppstår vid oxidation av järn med syre som oxidationsmedel:



Formeln visar att med syre som oxidationsmedel så oxideras tvåvärt järn till trevärt järn, vilket ger de fällningar som kan skiljas från dricksvattnet genom efterföljande filtrering (Crittenden et al. 2012).

Österbybruks vattenverk använder sig som tidigare nämnt i inledningen kaliumpermanganat (KMnO_4) vid oxideringen av järn och mangan.

Reaktionsformeln för KMnO_4 oxidation av järn ses i ekvation nr 3:



Reaktionsformeln för KMnO_4 oxidation av mangan ses i ekvation nr 4:



Organiskt material

I sammanhang av organiskt material i vatten menar man ofta föreningar av kol med andra ämnen som kväve, väte eller syre. (Crittenden et al. 2012). Det kan komma ifrån naturligt förekommande källor eller genom mänsklig påverkan. Förekomsten av organiskt material i råvatten eller dricksvatten kan bidra till bla. färg, smak och lukt. Utöver detta kan biprodukter skapas om organiskt material förekommer vid desinfektion av dricksvatten med exempelvis klor, vilket har visat sig vara cancerframkallande eller bidra med andra negativa effekter på människors hälsa (Crittenden et al 2012). Man sammanfattar de många olika former av naturligt organiskt material genom benämningen "Natural organic matter" (NOM). NOM mäts ofta som "Total organic carbon" (TOC) i dricksvattensammanhang. I grundvatten förekommer mängder av TOC mellan 0,1 – 2 mg/l i de flesta fall och i ytvatten varierar det mellan 1 – 20 mg/l TOC (Crittenden et al. 2012).

COD_{Mn} (Chemical oxygen demand) är ännu ett mått på mängden organiskt material i vattnet. Det visar på mängden syre som har gått åt för att bryta ned det organiska materialet i vattnet (Andersson et al. 2001).

Organiskt material har visat sig skapa komplexa bindningar med olika metaller, ex. järn och mangan (Crittenden, 2012) (Svenskt Vatten 2010a). Dessa bindningar löser sig lätt i vatten och försvårar frångiljningen vid behandlingen av råvatten, därmed är det viktigt att minska mängden organiskt material.

Material och metoder

Arbetet har utförts genom litteraturstudier av diverse publikationer inom ämnet vattenrening, publikationer från branschorganisationen Svenskt Vatten samt rapporter innehållande undersökningar av liknande situationer angående reducering av järn- och mangan vid dricksvattenproduktion.

Undersökning av råvattnets kvalitet har utförts på egen hand genom att studera de provtagningar, samt resultat, som utförts av ackrediterat labb (SYNLAB). De provsvar som undersöktes utfördes mellan perioden 2016 – 2020. Nivåerna för järn och mangan vid Kyrkholmens råvattentäkt redovisas som ett diagram i bilaga 1, figur 6.

Notera dock att vid provtagning är det svårt att mäta exakta mängder under 0,05 mg/l för järn och 0,02 mg/l mangan, därmed benämns inrapporterade värden som ”mindre än 0,05 mg/l” eller ”mindre än 0,02 mg/l” när det blir så pass små mängder av ämnet.

Därmed visar diagrammet dessa svar som 0,05mg/l och 0,02 mg/l respektive.

Frågeställning om framtida planeringar, driftstrategier samt inkommande och utgående flöden av råvatten/dricksvatten har ställts till Gästrike Vattens processingenjörer.

Omvärldsanalysen har utförts genom att studera Svenskt Vattens publikationer angående dricksvattenproduktion. Med hjälp av litteraturen har olika tekniker för att minska mängderna järn och mangan inom Sverige kunnat presenteras och sammanställas i omvärldsanalysen.

Resultat

Under denna rubrik kommer olika alternativ till järn- och manganreducering som används vid dricksvattenproduktion inom Sverige presenteras. SWOT-analyser över de olika alternativen sammanställs i samband med respektive presentation. Detta följs av en nulägesanalys vilket beskriver den nuvarande situationen vid vattenverket samt dess driftstrategier (nuvarande & framtida). Slutligen presenteras de alternativ som anses vara lämpliga utifrån de parametrar och förhållanden som krävs.

Omvärldsanalys

Vad används inom Sverige

Inom Sverige finns det ca 1750st kommunala vattenverk, varav över 1500st är grundvattenverk. Resterande använder sig av ytvatten som råvatten, antingen genom direkt rening av ytvatten eller genom konstgjord infiltration av ytvatten (Svenskt Vatten, 2016).

De vanligaste metoderna för att minska halten av järn och mangan i råvattnet är genom oxidation och infiltration (Svenskt Vatten, 2010a) i olika former, exempelvis tillsättning av kemikalier som kaliumpermanganat som oxidationsmedel. Det förekommer även olika varianter av biologisk avskiljning för att reducera mängderna och flera pilotförsök har utförts som visar på goda resultat (Andersson et al. 2001) (Hedlund Nilsson, 2019) (Winkler, 2017).

Kemisk- och biologisk avskiljning

Den vanligaste metoden i Sverige för att reducera järn- och mangan är att tillsätta ett kemiskt oxidationsmedel, detta omvandlar ämnena till svårslösliga former som sedan kan filtreras bort i efterföljande processteg (Svenskt Vatten, 2010a). Järn och manganjoner kan bilda starka komplex med organiskt material, vilket kan komplicera processen med att försöka avskilja ämnena i vattnet via kemisk oxidering. Viktiga faktorer att ha i åtanke är vattnets pH-värde, typ och mängd av oxidationsmedel samt temperaturen i vattnet. En pH-höjning ökar hastigheten för oxideringen av järn och mangan (Svenskt Vatten, 2010a).

Förutom genom tillsatts av kemikalier kan man även använda sig av järn- och mangan oxiderande bakterier, där den vanligaste typen av processteg är i form av en bioreaktor. Dessa bakterier bildar en biofilm över det bärarmaterial som finns i bioreaktorn och när råvattnet passerar reaktorn fastläggs järnet och manganet genom den mikrobiologiska aktivitet som förekommer i biofilmen (Svenskt Vatten, 2010b). Då det krävs en aerob mikrobiologisk aktivitet i filtret så behöver syre tillsättas i bioreaktorn. Ofta krävs det efterföljande filtreringssteg som skiljer organiskt material (Svenskt Vatten, 2010b).

Återinfiltration

Återinfiltration är en metod där grundvattnet pumpas upp ur grundvattenmagasinet, luftas och infiltreras genom en konstgjord infiltrationsbädd till ett separat grundvattenmagasin (Svenskt Vatten, 2010a). Det järnoxidhydroxid och manganoxiden som faller ut när det kommer i kontakt med syret fastnar i infiltrationsbädden. Vid högre halter av järn och mangan i råvattnet kan det behövas ett separat kontaktfiler före infiltrationsbädden för att få en tillräcklig reduktion av ämnena.

Fällning

Fällning via flockningsmedel är en annan metod som används framförallt vid vattenverk som använder sig av ytvatten som råvattnet (Svenskt Vatten, 2010b). I de fall där organiskt material förekommer i grundvattnet kan det även användas som reduktion av järn, mangan och organiskt material, exempelvis om grundvattnet har blivit påverkat av ytvatten (Svenskt Vatten, 2010a). Risken med högre halter av organiskt material är att järn- och manganjonerna kan bli svåra att oxidera, eftersom jonerna då riskerar skapa starka komplex med det organiskt material som finns i vattnet. Genom tillsättning av flockningsmedel bildas flockar som sedan går att avskilja genom filtrering.

Vyredox- och markoxidation

Oxidation av järn- och mangan kan utföras i vissa fall redan i grundvattenmagasinet, genom Vyredox- eller markoxidationsmetoden. Genom Vyredoxmetoden pumpas vatten upp från en akvifer och intensivluftas. Sedan pumpas det syresatta vattnet ner i olika satellitbrunnar som cirkulerar runt en eller flera uttagsbrunn/ar. Där bildas det en syresatt zon runt uttagsbrunnen, vilket bidrar till utfällning av järn och mangan, både genom kemisk (syre som oxidationsmedel) och med hjälp av mikroorganismer (Svenskt Vatten, 2010a.) Markoxidationsmetoden fungerar på ett liknande sätt, men istället för att pumpa upp vattnet från marken så tillsätts syre i marken via injektionsbrunnar. Brunnarna blir syremättade och det bildas en zon runt brunnarna som oxiderar både järn och mangan.

SWOT-analys

En SWOT-analys är ett hjälpmedel för att finna olika styrkor, svagheter, möjligheter och hot (Strengths, Weaknesses, Opportunities & Threats) inom en utvald strategi. Hjälpmedlet används framförallt inom företagsekonomi, men principen fungerar inom andra verksamheter. I denna rubrik görs en analys enligt denna modell för samtliga processteg som tagits upp i tidigare: oxidation med kemiskt oxidationsmedel, oxidering genom biologisk avskiljning, återinfiltration, kemisk fällning och oxidering i grundvattenmagasinet (Vyredox- och markoxidationsmetoden). ”Styrkor” och ”svagheter” fokuserar på teknikens egenskaper medan ”möjligheter” och ”hot” handlar om externa faktorer, i detta fall exempelvis beslut från myndigheter, klimatpåverkan etcetera.

Kemisk oxidering

Oxidering via dosering av ett kemiskt oxidationsmedel används i nuläget vid Österbybruks vattenverk, se figur 1 för SWOT-analys. Denna typ av processteg ger en effektiv reducering av järn och mangan (Svenskt Vatten, 2010a). Fördelen om det nuvarande processteg skulle förnyas är att efterföljande processteg i nuläget är anpassat efter detta. Dock kräver det att bästa möjliga dosering av oxidationsmedel eftersträvas, vilket kan variera om råvattnets kvalitet och egenskaper förändras (Svenskt Vatten, 2010a). Vid scenarion där doseringen inte är optimal ökar risken med att reduktionen av järn och mangan försämras samt att restprodukter hamnar i efterföljande processteg. Eftersom det är en vanlig reningsprocess vid många av Sveriges vattenverk (Svenskt Vatten, 2010a) finns det en större ”kunskapsbank” om ämnet och tekniken i överlag. Dock krävs det att tillgång av oxidationsmedel finns tillgängligt och inte påverkas av externa faktorer.

<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effektiv järn- och manganreducering. • Kompatibelt med efterföljande processteg i nuläget 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kräver lämplig koncentration av oxidationsmedel • Kemikalieförbrukning
<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Används på flera vattenverk i Sverige, vilket ger en större "kunskapsbank". 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förändringar i råvattentäkt kan påverka rätt doseringsmängd. • Leverans av oxidationsmedel kan påverkas av utomstående händelser.

Figur 1: SWOT-analys över oxidation med kemiskt oxidationsmedel.

Biologisk avskiljning

Som tidigare nämnt finns möjligheten att använda sig av järn- och mangan oxiderande bakterier och mikroorganismer för att få bort järn och mangan i råvattnet.

I figur 2 redovisas den SWOT-analys som utförts för denna typ av processteg.

De pilotförsök som utförts har visat på en effektiv reduktion av järn och mangan, speciellt vid tillfällena då högre koncentrationer av mangan har uppstått i råvattnet under vissa perioder på året (Andersson et al. 2001). Förutom att järn och mangan reduceras i vattnet har det även visat sig att lukt- och smakämnen har skiljts från det producerade dricksvattnet (Andersson et al. 2001). Då inga kemikalier tillsätts i processen minskar risken även för problem som kan uppstå vid hantering av kemikalier. Nackdelen med denna typ av processteg är att den fortfarande är relativt ny jämfört med andra tekniker, vilket gör att tillgången till information och exempel på liknande situationer för jämförelse är något svårare att få fram. Vid några av de pilotförsök som utförts har det visat sig att högre halter av organiskt material i råvattnet har försämrat oxidationen av järn i vattnet (Andersson et al. 2001). I dessa fall kan efterföljande fällning med flockningsmedel vara aktuellt.

<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effektiv järn- och manganreducering. • Inga kemikalier behöver tillsättas • Pilotförsök har visat på att det producerade vattnet har fått bättre lukt. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kräver lufttillförsel i reaktorn. • Sämre järnreducering vid råvatten innehållande högre halter av organiskt material
<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flera pilotförsök har utförts de senaste åren och gett goda resultat. • ”Miljöintressant” 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relativt ny teknik jämfört med andra alternativ (Oxidation med kaliumpermanganat etc.).

Figur 2: SWOT-analys över oxidering av järn och mangan via biologisk avskiljning.

Återinfiltration

I figur 3 presenteras analysen för återinfiltration. Tekniken fungerar i princip som konstgjord grundvattenbildning, där man låter vattnet passera genom en infiltrationsbädd och sedan genom marken ytterligare en gång för att reducera mängden järn och mangan. Det har visat sig att man har lyckats reducera mängden järn och mangan upp till respektive 2 mg/l och 0,4 mg/l med tillfredställande resultat (Svenskt Vatten, 2010a). Denna typ av processteg skulle kunna fungera som ett kompletterande processteg innan vattnet når vattenverket, dock kräver detta processteg att separata grundvattenmagasin finns tillgängliga i närheten av varandra. I många fall brukar syre vara ett svagt oxidationsmedel när det gäller oxidering av mangan (Svenskt Vatten, 2010a) (Crittenden et al. 2012). Externa faktorer kan även påverka infiltrationsbädden, vid exempelvis kraftig nederbörd. Slutligen finns ett problem om nya råvattentäkter behöver uppföras, då detta processteg enbart behandlar råvattnet direkt vid den brunn där det pumpas upp och ej direkt i vattenverket.

<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tillfredställande reducering upp till 2mg/l Fe och 0,4mg/l Mn. • Användas som utökning till nuvarande processteg. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vid höga nivåer av mangan kan reduceringen försämrats • Syre brukar i överlag vara ett svagt oxideringsmedel för mangan.
<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan fungera som ett kompletterande steg. 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infiltrationsbädd kan påverkas av externa faktorer (Kraftig nederbörd, miljöpåverkan etc). • Om nya råvattentäkter uppförs hjälper inte denna metod med reducering då den inte befinner sig vid vattenverket utan vid nuvarande råvattentäkt.

Figur 3: SWOT-analys över återinfiltration av råvatten.

Fällning

I de fall där grundvattnet har blivit påverkat av ytvatten finns risken att högre mängder organiskt material förekommer, vilket kan försvåra reduceringen av järn och mangan då dessa ämnen kan bilda starka komplex med det organiska materialet. Vid dessa fall bör det övervägas att införa en flockningsanläggning, där man tillsätter ett flockningsmedel som bildar flockar med det organiska materialet som i sin tur är lätta att avskilja från råvattnet. Detta kräver ofta en flockningskammare, sedimenteringsbassäng och slutligen någon form av filtrering (Svenskt Vatten, 2010b). Principen kallas även för fällning och används även inom rening av spillvatten. SWOT-analysen i figur 4 tar upp dessa punkter. De andra punkterna som tas upp är risken för framtida ytvattenpåverkan i grundvattenmagasinet, vilket kan öka mängden organiskt material i råvattnet. Med ett fällningsmoment i vattenverket finns möjligheten att åtgärda det om problemet skulle uppstå. Nackdelar och hot omfattar, likt andra processer innehållande tillsatsen av kemikalier, de risker som kan uppstå vid hantering av kemikalier samt tillgången från leverantörer kan påverkas av externa faktorer. Ytterligare kostnader för fällningskemikalier är också värt att ha i åtanke.

<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> • God reducering av järn och mangan om jonerna är bundna till organiskt material. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flockningskemikalier behöver användas. • Behov av kompletterande steg kan behövas.
<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Om råvatten blir ytvattenpåverkat i framtiden kan det tillföras mer organiskt material i råvattentäkten, vilket den kemiska fällningen är kapabel till att behandla. 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tillgången av flockningsmedel kan påverkas av externa händelser • Reglering av kemikaliehantering

Figur 4: SWOT-analys över kemisk fällning.

Vyredox- och markoxidationsmetoden

Det sista alternativet som tas upp i denna rapport är att oxidera järnet och manganet i grundvattenmagasinet, se figur 5 för SWOT-analys. Två alternativ tas fram i denna rapport, Vyredox- och markoxidationsmetoden. Principen mellan de två olika metoderna är snarlik då både använder sig av syre som oxidationsmedel, den stora skillnaden är hur syresättningen av grundvattnet utförs. Syre är ett tillräckligt kraftfullt oxidationsmedel för järn i de flesta fall (Crittenden et al. 2012) och då oxideringen redan sker i grundvattenmagasinet minskas risken att utfällningar sker i ledningsnätet. Dock är sällan syre tillräckligt kraftfullt för att oxidera mangan, vilket är det större problemet vid Österbybruks vattenverk utifrån detta perspektiv. Metoden kan eventuellt vara ett kompletterande processteg, likt återinfiltration, för att minska mängden järn som kommer in i vattenverket. Denna process delar samma ”hot” som återinfiltration, då om nya råvattentäkter skulle börja användas kan det behövas införas nya processteg.

<p>Styrkor</p> <ul style="list-style-type: none"> • God reducering av järn. • Oxideringen sker redan i grundvattenmagasinet. 	<p>Svagheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Syre är ett svagt oxidationsmedel vid reducering av mangan.
<p>Möjligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Om halten av järn skulle öka i råvattentäkten kan det fungera som ett kompletterande processteg utöver ordinarie reducering i vattenverket. 	<p>Hot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Om nya råvattentäkter uppförs hjälper inte denna metod med reducering då den inte befinner sig vid vattenverket utan vid nuvarande råvattentäkt.

Figur 5: SWOT-analys över oxidering i grundvattenmagasin (Vyredox- och Markoxidationsmetoden).

Nulägesanalys

Tre råvattentäkter bidrar till Österbybruks vattenförsörjning i nuläget: Kyrkholmen, Film och Norråsen. Det är enbart Kyrkholmens råvatten som i nuläget doseras med kaliumpermanganat och passerar genom det kontaktfilter/blandfilter som finns i vattenverket. Råvattnet från Film och Norråsen har så pass god kvalitet att behovet av oxidering är i nuläget försumbart. Fokus bör då ligga på Kyrkholmens råvattentäkt vid planering av nya processteg.

Den rådande situationen med tillgången till dricksvatten inom kommunen är ansträngd, vilket kommer delvis åtgärdas när den nya vattenledningen mellan Tierps kommun och Östhammars kommun blir färdig. Ledningen planeras vara klar runt år 2022 (SVT, 2020) och kommer då försörja både Österbybruk och Alunda med dricksvatten.

Medelvärdet av de nuvarande flödena från råvattentäkterna samt utgående dricksvatten redovisas i tabell 1. Kyrkholmens råvattentäkt producerar i nuläget den största mängden av råvatten in till vattenverket. I bilaga 1, figur 7 visas de högsta flöden per dygn som registrerades varje månad under perioden april 2019 – April 2020. Högsta flöde per dygn under hela perioden mättes till 419 m³/d, vilket var under februari 2020.

Tabell 1: Medelvärden av nuvarande flöden (m³/d) vid Österbybruks vattenverk. Källa: Gästrike Vatten, Lina Danielsson.

Kyrkholmen (m ³ /d)	Film (m ³ /d)	Norråsen (m ³ /d)	Utgående (m ³ /d)
276	124	177	516

Inför den dag då den nya vattenledningen tas i bruk har Gästrike Vatten tagit fram olika driftstrategier som behandlar mängden råvatten som bör tas från respektive råvattentäkt till Österbybruks vattenverk, vilket redovisas i tabell 2. Man utgår ifrån att i början kunna använda ca 200 m³/d av det dricksvatten som kommer ifrån Örbyhus i Tierps kommun, vilket sedan kommer direkt gå ner i lågreservoaren vid Österbybruks vattenverk och blandas med det färdigproducerade dricksvattnet från vattenverket. Kyrkholmens flöde kommer minska till ca 100 m³/d vid normaldrift, vilket minskar belastningen på grundvattenmagasinet. Om det skulle förekomma läckage eller annat driftstopp från Örbyhus ökas det uttagna flödet till 300 m³/d, vilket är maxkapaciteten i dessa scenarion. Man har tagit fram driftstrategier inför framtidens befolkningsökning inom orten där man utgår från år 2040, där flödet ökar något vid Kyrkholmens råvattentäkt vid normaldrift men maxkapaciteten vid störningar på ledningen består. Mängden levererat vatten från Örbyhus kommer då planeras ökas till ca 400 m³/d.

Tabell 2: Framtida dimensioneringar och driftstrategier. Källa: Gästrike Vatten, Lina Danielsson

	Kyrkholmen (m ³ /d)	Film (m ³ /d)	Norråsen (m ³ /d)	Odens Källa (Örbyhus) (m ³ /d)	Utgående (m ³ /d)
Normaldriftsfall, 2021	100	110	160	200	500
Läcka Odens Källa, 2021	300	125	200	0	555
Normaldriftsfall, 2040	130	110	160	400	730
Läcka Odens källa, 2040	300	125	200	0	555
Normaldrift, m ³ /d	Ca 100 - 130	Ca 110	Ca 160	200 - 400	570 - 800
Uthålligt Maxkapacitet, m ³ /d	300	125	200	720	-

Dessa driftstrategier är i nuläget teoretiska och kommer troligtvis behövas ses över ytterligare. Trots att belastningen på Kyrkholmens råvattentäkt vid normaldrift kommer minska bör man utgå efter maxkapaciteten vid dimensioneringen av ett nytt processteg.

I bilaga 1, figur 6 redovisas de provsvar mellan 2016 - 2020 som studerats angående mängden järn och mangan vid Kyrkholmens råvattentäkt. Livsmedelverkets har satt gränsvärdet 0,05 mg/l för mangan och 0,2 mg/l för järn vid dricksvatten hos användaren (LIVSFS 2017:2). Den största mängden mangan som mättes under denna period var 0,23 mg/l, vilket är lite drygt fyra gånger mer än det utsatta gränsvärdet. För järn var den största mängden 0,45 mg/l. Det är värt att notera under denna period så ligger den näst högsta mängden järn som mätts runt 0,16 mg/l, vilket gör att provsvaret på 0,45 mg/l verkar väldigt högt. Anledningen kan ha varit en tillfällighet, men bör tas med i åtanke vid val av processteg. I majoriteten av provsvaren för mängden järn är värdena under eller runt gränsvärdet i de flesta fallen. Mängden mangan är dock i de allra flesta fallen över det utsatta gränsvärdet och bör därför vara den viktigaste parametern att utgå efter vid val av nytt processteg.

Förslag till nytt processteg

Av tidigare nämnda alternativ är det två processer som kan utses som mer lämpliga alternativ i detta scenario:

- Förnya nuvarande processteg (Oxidation med kaliumpermanganat) med nya filter och tillhörande teknik för att säkerställa reduktionen av mangan och järn, samt att förhindra att rester från oxidationsmedlet följer med ut i efterföljande processteg. Möjlighet till ett kompletterande processteg vid råvattentäkten är också ett alternativ.
- Införa en bioreaktor som minskar mängden järn och mangan via mikrobiologisk aktivitet i reaktorn. Denna metod kräver efterföljande filtrering, vilket passar in i den nuvarande processen.

Resterande alternativ som tagits upp i denna rapport har inte samma effektivitet när det gäller att minska mängden mangan som krävs för Kyrkholmens råvatten. De kan dock användas som kompletterande steg för att förbättra processen i överlag.

Då påtagliga mängder organiskt material förekommer i Kyrkholmens råvatten (se bilaga 1, figur 8 - 9 för provsvar för COD-mn och TOC) finns risken att det bildar starka bindningar med det järn och mangan som finns i vattnet, vilket försvårar avskiljningen när vattnet når vattenverket. Ett kompletterande alternativ till något av de två alternativ som presenteras är då att införa någon form av kemisk fällning. Mängden organiskt material minskas då vilket underlättar oxideringen av järn och mangan i efterföljande steg (Svenskt Vatten, 2010a). Ett förbehandlingssteg är också ett alternativ till att minska mängden organiskt material (Hägg, K., Persson, K., Persson, T. och Zhao, Q., 2018), exempelvis med ett snabbfilter som frånskiljer lösa partiklar innan råvattnet kommer in i vattenverket.

Alternativ 1 - Biologisk avskiljning

I de pilotförsök som sammanställts av Andersson et al. (2001) deltar flera orter där några av dem har snarlika mängder av mangan i sitt råvatten som Kyrkholmen. Trots vissa perioder med höga toppar av mangan i råvattnet lyckades bioreaktorerne minska mängden mangan i utgående vatten till under utsatta gränsvärdet. Viktiga parametrar att ha i åtanke vid användning av denna typ av teknik är val av bioreaktorns bärarmaterial, där den specifika arean och porstorlek är av stor betydelse enligt Andersson et al. (2001). Olika typer av bärarmaterial kan bestå av kaldnesmaterial, lecakross, basalt, aktivt kol, antracit eller olika flytande bägare gjorda i plast. Av de försök som utfördes visade det sig att bioreaktorn innehållande leca-material gav bäst resultat. Anledningen tros vara den mindre porstorleken jämfört med de andra bärarmaterial som användes i de olika pilotanläggningarna. Bioreaktorn bör kunna hantera ett dygnsflöde mellan 100 - 300 m³/d, vilket är den nya normaldriften samt maxkapaciteten när den nya vattenledningen tas i bruk. Värt att notera är att vissa pilotförsök inte fått en tillräcklig oxidering av mangan i samband när reaktorn eller biofiltret tas i drift (Hedlund Nilsson, 2019) (Winkler, 2017). I dessa två fall var uppstartstiden mellan ca 40 - 70 dagar, därefter var reningen av mangan uppåt 95%.

Alternativ 2 - Oxidation genom tillsats av oxideringsmedel

Då oxidation genom tillsats av kaliumpermanganat normalt sett ger goda resultat (Svenskt Vatten, 2010a) kan nuvarande typ av processteg behållas, dock bör delar av processtegets tillhörande teknik bytas ut då de byggdes i början av 70-talet (Blandfilter för kaliumpermanganat ex.). Enligt Crittenden et al. (2012) är den stökiometriska doseringen av kaliumpermanganat vid oxidering av järn 0,94mg KMnO₄ / mg Fe²⁺ och vid oxidering av mangan 1,92mg KMnO₄ / mg Mn²⁺. Ozon är ett starkare oxidationsmedel och bör därmed teoretiskt kunna oxidera mängden mangan effektivt (Svenskt Vatten, 2010a). Dock finns en risk att ozon och NOM (organiskt material) bildar en hydroxylradikal, vilket är skadligt för människans hälsa (Crittenden et al. 2012). Därför bör det ses som ett mer avancerat alternativ och möjligen inte lämpligt med tanke på mängden NOM som finns i nuläget.

Likt bioreaktorn bör detta dimensioneras efter ett dygnsflöde mellan 100 – 300 m³/d. Ett kompletterande processteg med anslutning direkt vid råvattentäkten kan förenkla reduktionen när råvattnet når vattenverket, exempelvis med snabbfilter eller med konstgjord infiltration.

Diskussion

Utgångspunkten för detta arbete har varit att finna olika alternativ för att minska järn och mangan i råvattnet och det har visat sig att mängden mangan är det behov som väger tyngst i detta fall. Men eftersom organiskt material förekommer vid Kyrkholmen i högre än normala mängder för grundvatten enligt Crittenden et al. (2012), vilket är 0,1 - 2,0 mg/l TOC, kan det som nämnts tidigare i rapporten försvåra oxideringen av mangan. I bilaga 1, figur 9 visas att mängden TOC i utgående dricksvatten ligger mellan 4 – 5,8 mg/l, som är snarlikt ytvatten enligt Crittenden et al. (2012). Utredningar över hur detta påverkar oxideringen vid vattenverket bör utföras för att avgöra om mängden organiskt material är ett större problem än mängden mangan i sig.

Den teknik som används vid Österbybruks vattenverk är enligt litteraturen en passande lösning för reducering av järn och mangan. Dock som tidigare nämnts finns behovet av att byta ut nuvarande trycktankar och filter eftersom de i nuläget är gamla (togs i bruk runt 70-talet) och risken att driftstörningar och haveri uppstår kommer då öka med tiden. Med tiden kan även processtegets effektivitet försämrats pga. slitage.

Eftersom det har visat sig att användningen av mikroorganismer vid oxidering av mangan har gett goda resultat (Andersson et al, 2001) anser jag att det vore ett passande alternativ om man beslutade att utföra en större förändring eller ombyggnation vid vattenverket. Efterföljande processteg uppfyller fortfarande sina funktioner och det är enbart den kemiska oxideringen som tas ur bruk i detta scenario.

Som tidigare nämnts i denna rapport har Östhammars kommun i överlag problem med tillgången av vatten. Utredningar av nya råvattentäkter med bättre förutsättningar vore om möjligt lämpligt i liknande scenarion som dessa. Ett problem med en sådan lösning är att grundvattenmagasinen runt omkring kommunen normalt sett är mindre i storlek. Detta kan i sin tur försvåra situationen att få fram nya områden för dricksvattenproduktion med lämplig kvalitet i jämförelse med Kyrkholmen.

Då inga direkta ekonomiska analyser eller kalkyler har utförts i samband med detta arbete finns behovet av fortsatta studier samt undersökningar över vilka alternativ som är mest lämpliga ur ett ekonomiskt perspektiv. Tillgången av dricksvatten är en oerhört viktig faktor för vårt samhälle och behovet av detta ökar när samhällen byggs ut. Med tanke på den nutida bristen på dricksvatten i Östhammars kommun bör man därmed inte bortse från alternativ som möjligen ger bättre resultat men kan komma ha en högre ekonomisk kostnad för VA-verksamheten. Självfallet bör summorna ej vara orealistiska i jämförelse med åtgärder och resultat utan måste noggrant övervägas som för- och nackdelar inför framtida studier.

Slutsatser

Med den nya vattenledningen som kommer anslutas in till Österbybruks vattenverk kommer normaldriften förändras genom att belasta råvattentäkterna i mindre kapacitet än i nuläget. Dock så ska vattenverket kunna behandla dem efter full kapacitet ifall problem uppstår med vattenledningen och bör därför dimensioneras efter maxkapacitet.

Två alternativ väger tyngre med tanke på behovet av att minska mängden järn och mangan. Första förslaget är oxidering via tillförsel av ett oxidationsmedel, som används i nuläget, men med nytt material (trycktankar, sandfilter etcetera) för att förbättra processen. Kompletterande processteg direkt i anslutning till råvattentäkten kan vara aktuellt utöver detta. Det andra alternativet är att ersätta detta processteg med en bioreaktor där mikrobiologisk aktivitet oxiderar järnet och manganet i vattnet, vilket har visat goda resultat i tidigare studier.

Eftersom organiskt material förekommer i Kyrkholmens råvatten kan man utöver ett nytt processteg i vattenverket införa någon form av förbehandling vid råvattentäkten, exempelvis med ett snabbfilter. Oavsett om man väljer att förnya nuvarande processteg eller införskaffa en bioreaktor så kan detta vara värt att ha i åtanke. Alternativt kan man börja använda sig av kemisk fällning för att minska mängden organiskt material. Dock bör man utföra tester angående det organiska materialets påverkan av oxideringen av järn och mangan vid just denna råvattentäkt.

Referenser

- Andersson, J., Hedberg, T. och Hermansson, M. (2001). *Bioreaktorer i dricksvattenberedningen*. VA-FORSK Rapport 2001:1. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2001-01.pdf [2020-05-28]
- Crittenden, John C., Hand, David W., Howe, Kerry J., Tchobanoglous, George och Trussel, Rhodes R. (2012). *Water treatment: Principles and design*. 3. uppl. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Gästrike Vatten (2020a). *Låga grundvattennivåer trots nederbörd*. Tillgänglig: <https://www.gastrikevatten.se/SV/News/14676/Laga-grundvattennivaer-trots-nederbord> [2020-05-26].
- Gästrike Vatten AB (2020b). *Årsrapport Dricksvattenproduktion Östhammar Vatten AB*. [internt material]. Gävle: Gästrike Vatten AB.
- Hedlund Nilsson, E. (2019) *Biologisk avskiljning av järn och mangan i Grundvattenverk -En studie i Klöverträsk med avseende på beredningsuppehåll och årstidsvariationer i råvattenkvalitet*. Luleå tekniska universitet. Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser.
- Hägg, K., Persson, K., Persson, T. och Zhao, Q. (2018). *Infiltrationsanläggningar för dricksvattenberedning - Underlag för en drifhandbok*. Svenskt Vatten Utveckling Rapport nr 2018 - 11. Tillgängligt: <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2019/01/svu-rapport-2018-11.pdf> [2020-06-08]
- LIVSFS 2017:2. *Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten*.
- Svenskt Vatten (2007). *Meddelande M135, Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat, Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen*. Stockholm.
- Svenskt Vatten (2010a). *Publikation U7, Dricksvattenteknik 2, Grundvatten*. Stockholm
- Svenskt Vatten (2010b). *Publikation U8, Dricksvattenteknik 3, Ytvatten*. Stockholm
- Svenskt Vatten (2016). *Vattenverk och reningsprocesser*. Tillgänglig: <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/dricksvatten/vattenverk-och-reningsprocesser/> [2020-06-01]

Sveriges Geologiska Undersökning (u.å.), *Dricksvattenförsörjning i kustnära områden*. Tillgänglig: <https://www.sgu.se/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/dricksvattenforsorjning-i-kustnara-omraden/> [2020-05-27]

Sveriges Geologiska Undersökning (2013), *Bedömningsgrunder för grundvatten*. (SGU-rapport 2013 - 01). Uppsala.

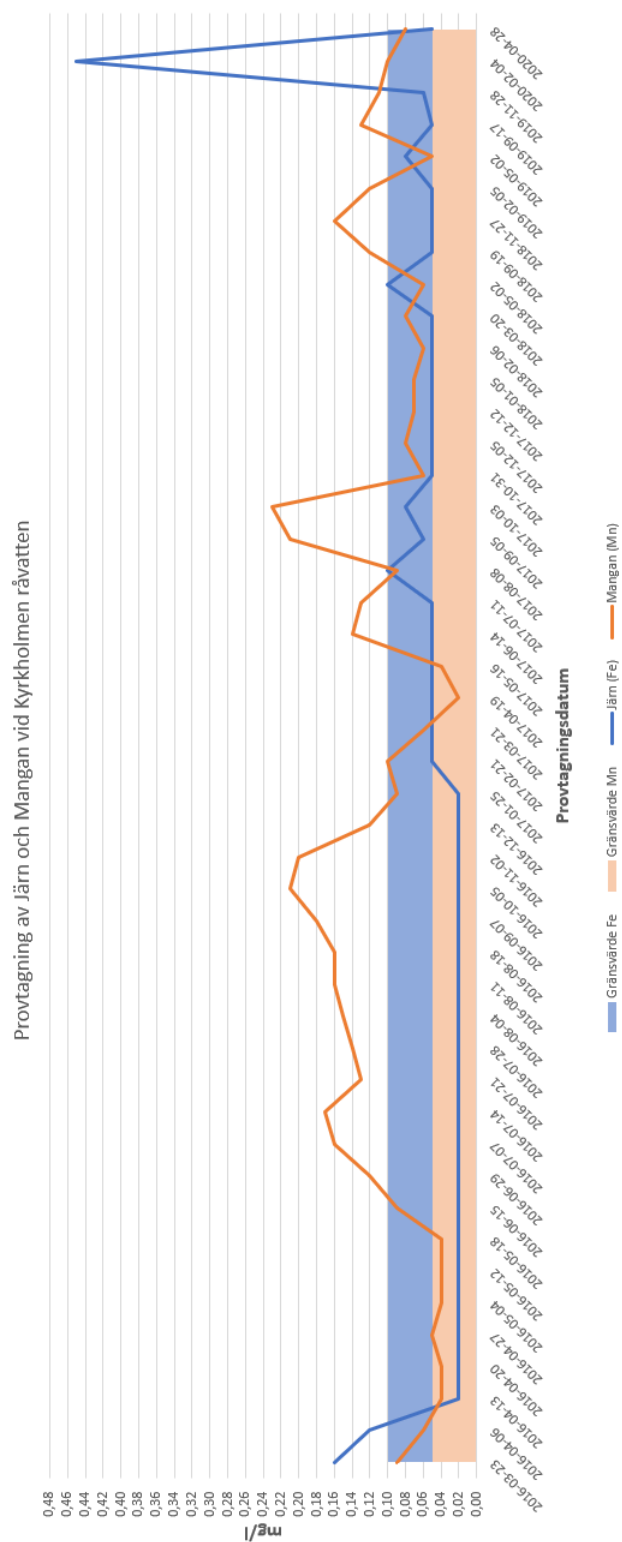
Sveriges Geologiska Undersökning (2020), *Grundvattennivåer i maj*. Tillgänglig: <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2020/Maj/grundvattennivaer-i-maj/> [2020-06-03]

Sveriges Television (2019), *Brist på vatten- och avloppskapacitet stoppar byggnation i Östhammars kommun*. Tillgänglig: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/uppsala/osthammar-kommun-kan-inte-exploatera-sin-mark-i-onskvard-takt-har-inte-vatten-och-avloppskapacitet> [2020-06-03]

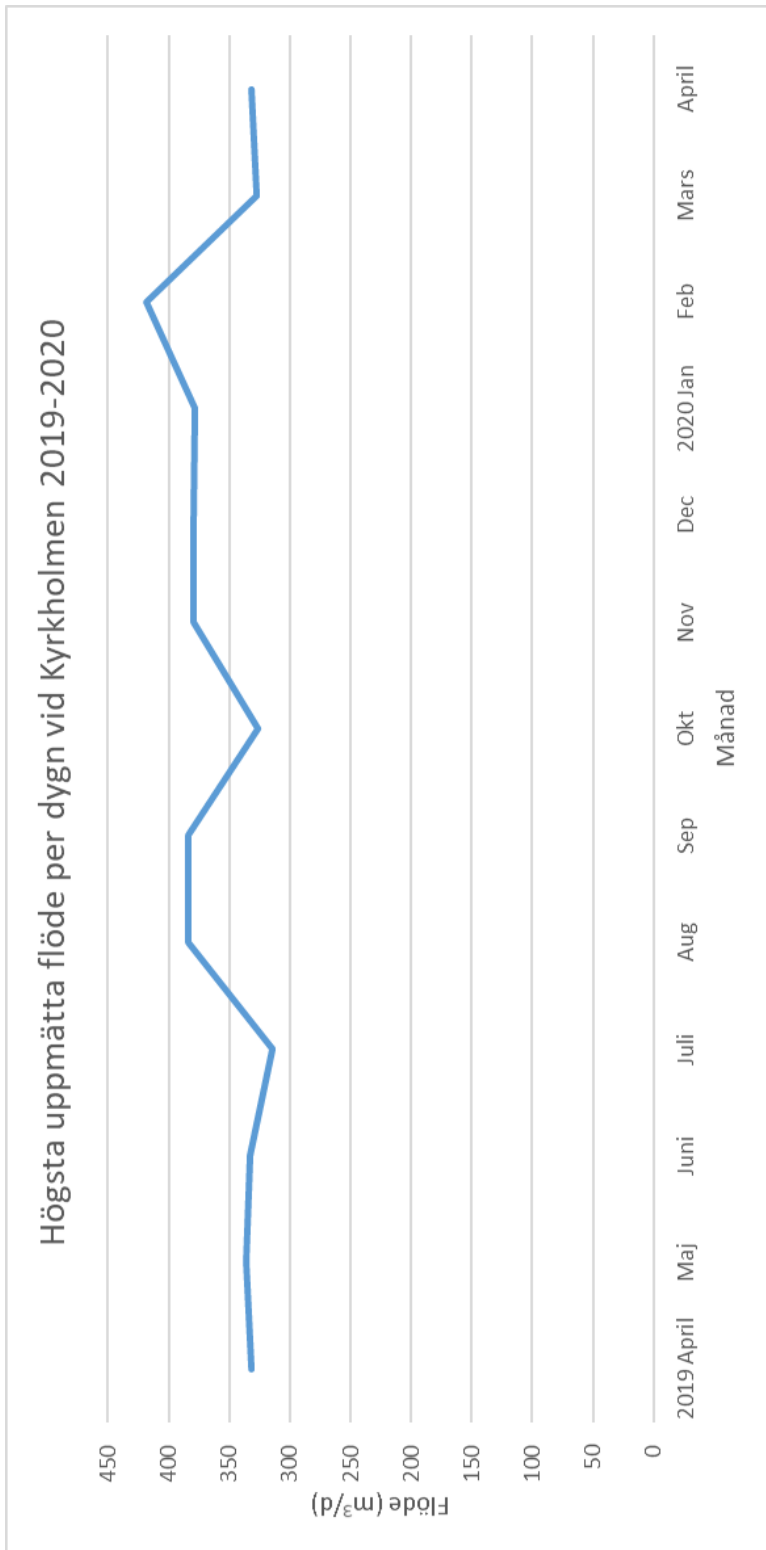
Sveriges Television (2020), *Ny vattenledning sätter fart på byggande i Alunda*. Tillgänglig: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/uppsala/vattenledning-ger-gront-ljus-for-nybyggen> [2020-06-05]

Winkler, M. (2017). *Biologisk råvattenbehandling med avseende på järn och mangan vid dricksvattenproduktion - Reningskapacitet i fullskaligt diskfilter och pilotfilter med expanderad lera*. Luleå tekniska universitet. Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser.

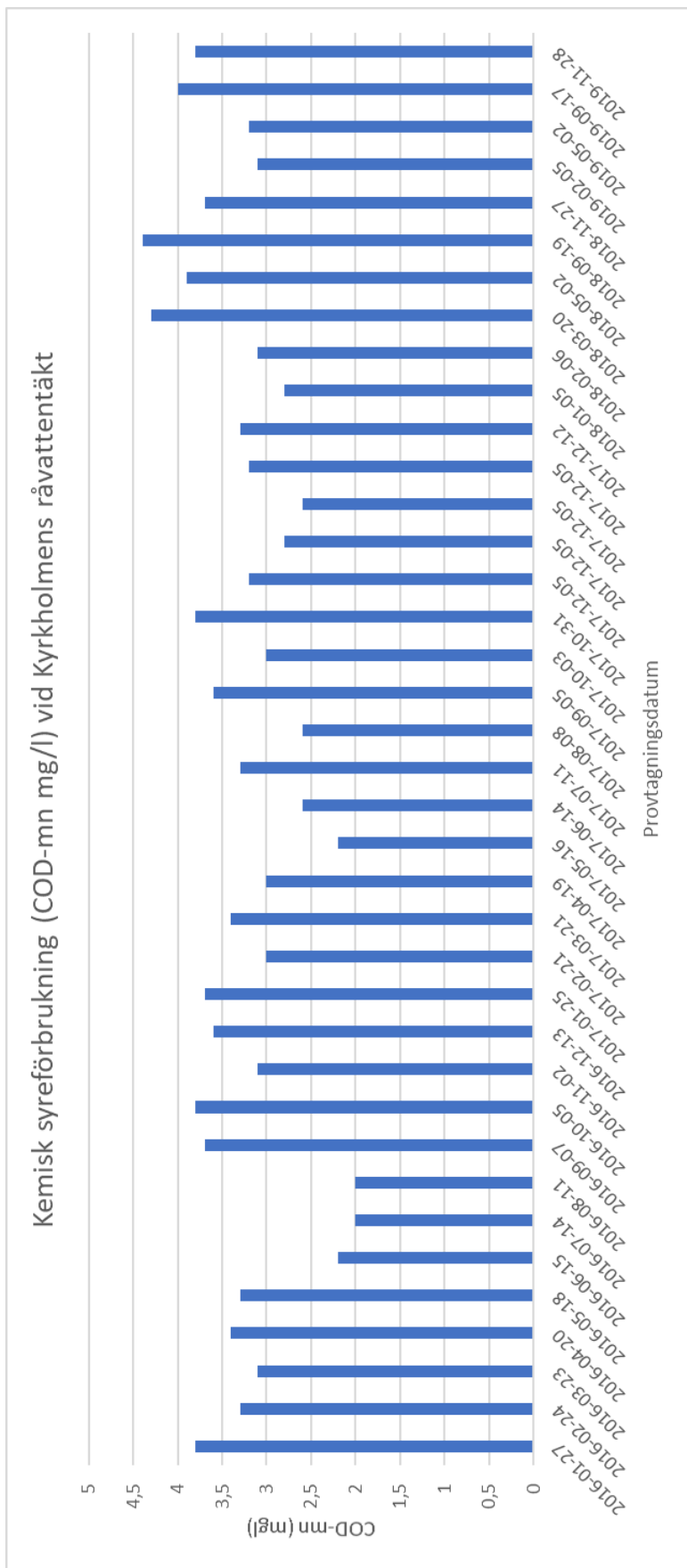
Bilaga 1 – Diagram och tabeller



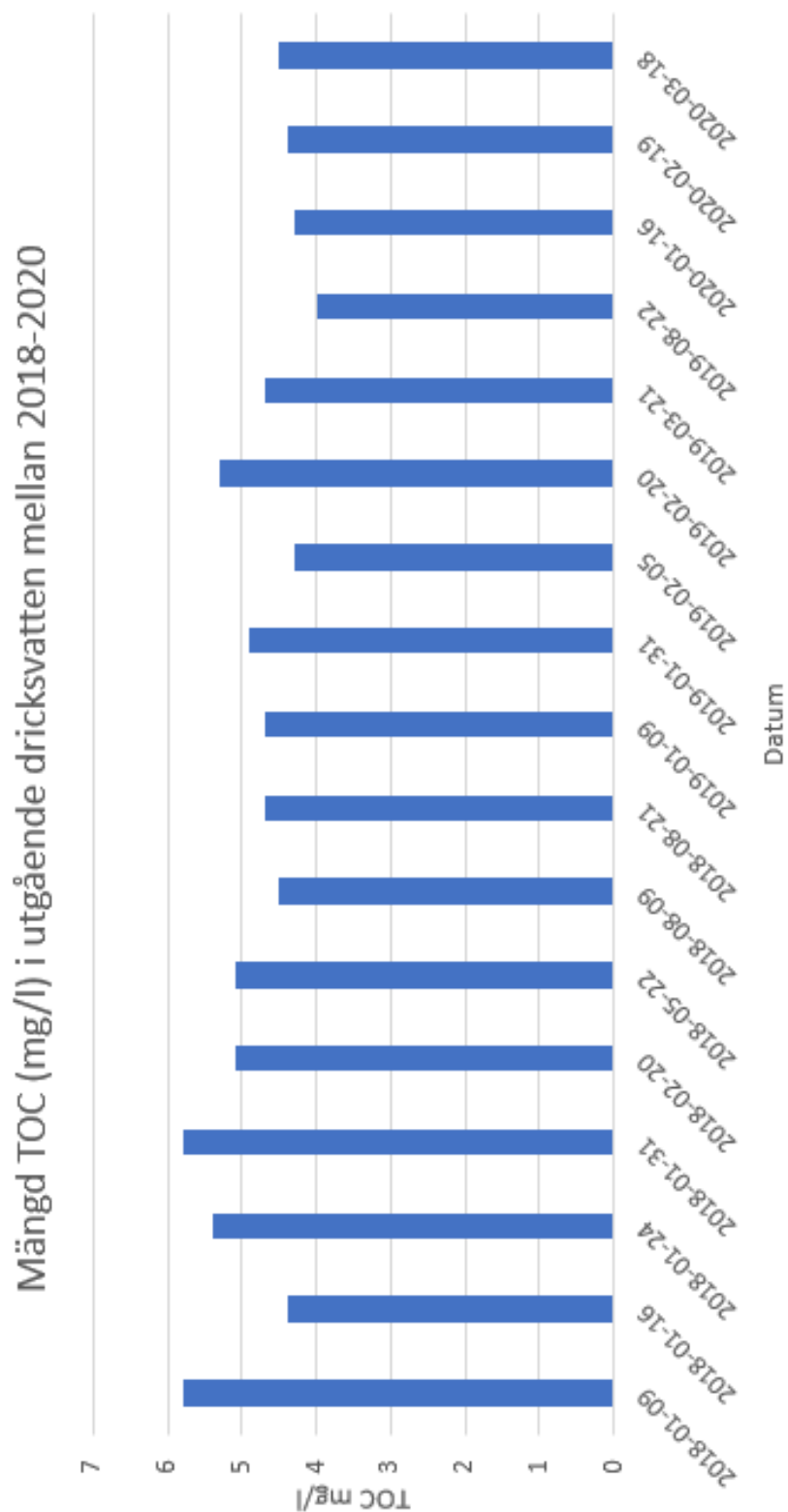
Figur 6: Järn och manganhalter vid Kyrkholmens råvattentäkt (2016 - 2020) Källa: Gästrike Vatten AB med tillstånd.



Figur 7: Högsta uppmätta flöde per dygn vid Kyrkholmen 2019 - 2020.
Källa: Gästrike Vatten AB med tillstånd.



Figur 8: Kemisk syreförbrukning vid Kyrkholmens råvattentäkt 2016 – 2019. Källa: Gästrike Vatten AB med tillstånd.



Figur 9: Mängden TOC (Total organic carbon) mg/l i utgående dricksvatten mellan 2018 – 2020. Källa: Gästrike Vatten AB med tillstånd.