

RENAT AVLOPPSVATTEN SOM RÅVATTENKÄLLA

WASTEWATER RECLAMATION FOR POTABLE USE



Esmeralda Frihammar

VA SYD, Teknik & Utveckling, Box 191, SE-201 21 Malmö, Esmeralda.Frihammar@vasyd.se

Abstract

Ground water shortage is an increasing problem, and for communities where the raw water consist of ground water, droughts can cause severe problems. One approach to solve the decreased groundwater resources is to utilize the potential in the sewage water. One village which has faced problems in the drinking water production in the past years is Hurva, outside of Eslöv in Scania. Groundwater is used in the drinking water production and in recent years there have not always been enough. VA SYD, municipal authority in Hurva, wanted to examine the possibilities of implementing a circular water system treating wastewater into drinking water quality. This has been examined in a master thesis, focusing on the process technical aspect. In the first part of this article, methodology and results from the design of water plants are presented. In the second part, some possibilities and challenges with wastewater reclamation for potable use are discussed. The discussion is based on the author's thoughts during the project and should not be interpreted as VA SYD's opinions. VA SYD are interested in investigating new solutions, and it is important to remember that circular systems are only one of many possible approaches to solve water scarcity problems.

Key Words: Wastewater reclamation, circular wastewater systems, WWTP, DWTP, Hurva

Sammanfattning

Problem med ansträngda grundvattenresurser ökar och för samhällen som förses av dricksvatten från grundvattenverk kan torka leda till stora problem. Ett sätt att möta den minskade tillgången på sötvatten är att utnyttja den potential som finns i vårt avloppsvatten. En by som upplevt problem i sin dricksvattenproduktion under de senaste åren är Hurva, beläget utanför Eslöv i Skåne med ca 400 invånare. Grundvatten används i dricksvattenproduktion och vid tillfällen har det inte funnits nog med vatten. VA SYD, VA-huvudman i Hurva, ville därför undersöka möjligheten att implementera ett cirkulärt vatten-system med renat avloppsvatten som råvattenkälla. Detta har undersökts under ett examensprojekt utfört i samarbete med VA SYD, med fokus främst på de processtekniska förutsättningarna. I den här artikeln presenteras metod och resultat från designprocessen som använts för att ta fram förslag på utformning av vattenverk följt av en diskussion om utmaningar och möjligheter kopplade till implementering av ett cirkulärt VA-system. Diskussionen som hålls är baserad på författarens tankar under projektet och ska inte tolkas som VA SYDs officiella hållning. VA SYD är nyfikna på att undersöka nya lösningar och det viktigt att komma ihåg att ett cirkulärt system är en av många sätt att hantera vattenbrist.

Inledning

Under de senaste 70 åren har temperaturen på jorden ökat (IPCC, 2013). I Sverige leder ett varmare klimat generellt till ökad nederbörd men i mellersta och södra Sverige kan klimatförändringarna även kopplas till fler och längre torrperioder (Svenskt Vatten, 2007). Åtminstone 11 % av Europa har upplevt perioder av torka till följd av varma somrar med lite nederbörd (European Commission, 2019) och under sommaren 2018 (SMHI, 2019) och 2019 (MSB, 2019) drabbades flera delar av Sverige. I skrivande stund är grundvattennivåerna mycket under de normala för 9 av Sveriges 21 län (SMHI, 2020).

I Sverige är vi stolta över våra många sjöar, som täcker ca 9 % av landets yta. Kanske är det därför vi traditionellt i princip sett sötvatten som en oändlig resurs och kanske är det därför frågan om recirkulering av avloppsvatten inte realiserats i Sverige. Samtidigt som det stämmer att vi totalt sett har en stor tillgång på dricksvatten i Sverige, varierar sötvattentillgången geografiskt och under de senaste åren har tillgången på sötvatten blivit mer och mer ansträngd på flera håll i landet.

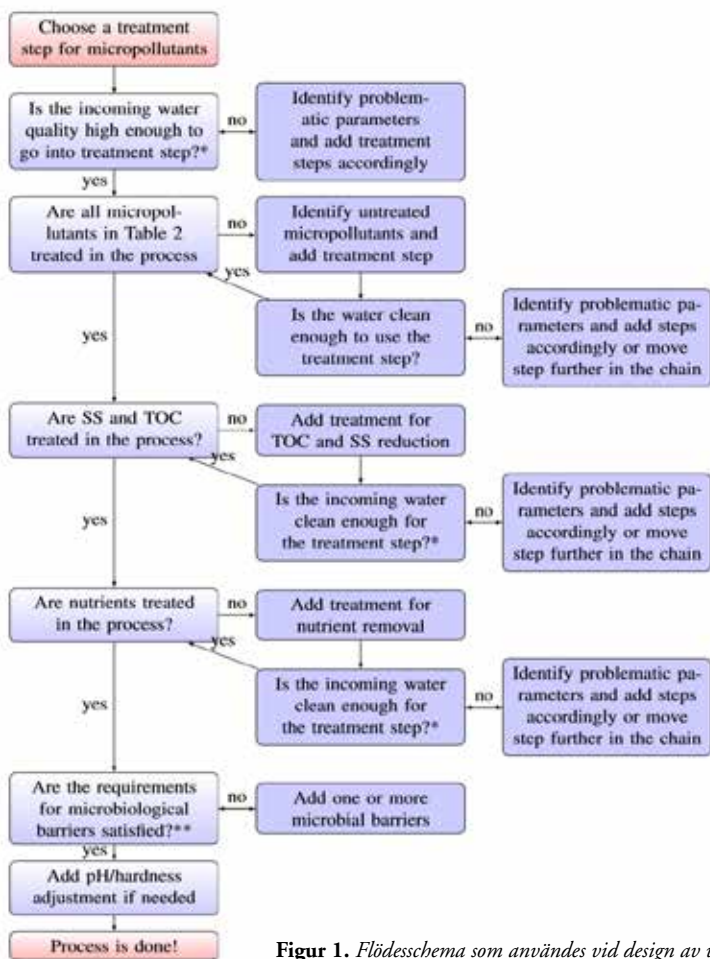
Problem med ansträngda grundvattenresurser ökar och för samhällen som förses av dricksvatten från grundvattenverk kan torka leda till stora problem om grundvattenreservoaren blir påverkad. För att möta denna utveckling krävs det att vi hittar mer effektiva lösningar för hur vi hanterar våra vattenresurser. Ett sätt att möta den minskade tillgången på sötvatten är att utnyttja den potential som finns i vårt avloppsvatten. Det finns flera exempel där renat avloppsvatten används runt om i världen både inom jordbruk, industri och för produktion av dricksvatten. I Europa används renat avloppsvatten redan för grundvattenbildning samt inom jordbruk och industrin (European Commission, 2019). Det finns flera exempel på platser runt om i världen som hanterat vattenbrist med att implementera cirkulära VA-system med renat avloppsvatten som råvattenkälla (PUB, u.å; Wingoc, u.å, WHO, 2017). Flera Svenska projekt har behandlat frågan om återanvändning av avloppsvatten på olika sätt (Mörbylånga kommun, 2019; IVL, 2018), men det saknas fortfarande en fullskalig

anläggning som behandlar kommunalt avloppsvatten till dricksvattenkvalitet.

Recirkulering av avloppsvatten för dricksvattenberedning delas upp i direkt och indirekt recirkulering. Vid indirekt recirkulering renas avloppsvattnet för att sedan infiltreras till grundvatten och är den lösning som står för majoriteten av alla recirkuleringsanläggningar för dricksvatten. Utöver den medvetna recirkuleringen sker även en oavsiktlig återanvändning av avloppsvatten på flera håll där råvattentäkten är recipient för avloppsreningsverk uppströms vattenverket. Exempel på detta är Göta kanal och Mälaren, som förser råvatten till dricksvattenberedning i Göteborg respektive Stockholm.

En by som upplevt problem i sin dricksvattenproduktion under de senaste åren är Hurva, beläget utanför Eslöv i Skåne med ca 400 invånare. Det vatten som används i Hurvas dricksvattenproduktion kommer från en grundvattenkälla och vid tillfällena har det inte funnits nog med vatten för att förse byn. VA SYD, som är VA-huvudman i Hurva, har tidigare löst detta problem med att fylla på vattenreservoaren med dricksvatten transporterat till Hurva i lastbilar. Detta anses inte vara en hållbar lösning och som alternativ har det föreslagits att lägga en överföringsledning mellan Hurva och närmsta storskaliga vattenverk. Att lägga en överföringsledning är en dyr lösning som dessutom inte är applicerbar på alla byar som upplever dricksvattenbrist, därför ville VA SYD undersöka möjligheten att istället implementera ett cirkulärt vattensystem med renat avloppsvatten som råvattenkälla.

Den här artikeln är baserad på ett examensprojekt utfört i samarbete med VA SYD, där möjligheten att implementera ett cirkulärt VA-system med renat avloppsvatten som råvatten undersökts (Frihammar, 2020). Fokus för examensarbetet har legat på de processtekniska förutsättningarna. Under projektet utformades en metod för att systematiskt designa ett vattenverk för direkt rening av avloppsvatten till dricksvattenkvalitet. Utifrån den framtagna metoden designades två förslag på vattenverk för behandling av avloppsvatten till dricksvattenkvalitet. Båda vattenverken ansågs ha kapacitet att rena avloppsvattnet från Hurva Avloppsreningsverk (ARV) till dricksvattenkvalitet.



Figur 1. Flödesschema som användes vid design av vattenverken.

Uppfattningen efter att ha utfört projektet är att de största utmaningarna inte är processtekniska. Tvärtom, så finns det idag kunskap om hur man tekniskt går tillväga för att rena vatten av i princip vilken kvalitet som helst till dricksvattenkvalitet. De stora utmaningarna verkar snarare vara sociala och juridiska. Detta beror förmodligen till stor del på att frågan inte ännu realiserats och då dricksvattenberedning, med rätta, är en hårt reglerad process utifrån säkerhetssynpunkt finns det en viss inneboende tröghet i systemet både socialt, praktiskt och juridiskt. VA SYD är nyfikna på att undersöka nya lösningar och det viktigt att kom-

ma ihåg att ett cirkulärt system är ett av många sätt att hantera vattenbrist. Frågan om huruvida ett cirkulärt system är en hållbar lösning kvarstår fortfarande, men det finns motiv för att åtminstone överväga möjligheten.

I den här artikeln presenteras metod och resultat från designprocessen som använts för processutformning följt av en diskussion om utmaningar och möjligheter kopplade till implementering av ett cirkulärt VA-system. Artikeln syftar till att delge den metod som under examensarbetet tagits fram för processutformning av vattenverken samt att lyfta diskussionen om återanvändning av avlopps-

vatten.

Reningsprocess

Utgångspunkten i designprocessen var att se till att vattenverket skulle ha kapacitet att rena avloppsvatten från Hurva ARV till dricksvattenkvalitet. Det första steget i designprocessen var att ta reda på vilka parametrar som behöver renas i processen, det viss säga att ta reda på råvattenkvaliteten. Då kvalitetsdata gällande avloppsvattnet från Hurva saknades fick värden för de flesta parametrar antas. I nästa steg bestämdes vilka reningstekniker som skulle ingå i urvalet och reningseffektiviteten för dessa definierades.

Utifrån information om avloppsvattnets kvalitet och de valda reningsteknikernas effektivitet utformades två förslag på möjliga vattenverk. Huvudmålet med vattenverken var att de skulle ha kapacitet att behandla avloppsvatten från Hurva ARV till dricksvattenkvalitet, utan hänsyn till driftmässiga eller ekonomiska aspekter. Vattenverken genererades genom att följa ett antal riktlinjer och antaganden samt genom att följa flödesschemat i figur 1 med de reningstekniker som valts i tidigare steg.

Råvattenkvalitet

De parametrar som var kända för det utgående avloppsvattnet från Hurva ARV var tot-P, tot-N, BOD7, CODcr och suspenderat material. I tabell 1 presenteras dessa värden som de högsta och lägsta maximala månadsvärdena som uppmätts under perioden 2014-2020. I samma tabell presenteras referensvärden från Sjölunda ARV.

För de parametrar där data saknades användes kvalitetsdata för utgående avloppsvattnet från Sjölunda ARV som referens. Data som användes från Sjölunda ARV var baserad på mätningar från december 2018-november 2019. Anledningen till att just Sjölunda ARV användes som referensanläggning var att VA SYD hade tillgång till denna data då de driver verket. Viktigt att notera att det inkommande vattnet till Sjölunda ARV består av både hushålls- och industriellt avloppsvatten medan Hurva ARV endast behandlar avloppsvatten från hushåll, samt att reningsprocessen på Sjölunda ARV är mer avancerad än den på Hurva ARV (Höglind, et al. U.å.).

Tabell 1 Ämnen som antas ingå i det behandlade avloppsvattnet från Hurva ARV, i.d.=ingen data.

Förorening	Koncentration [mg/l]	Referensvärde [ng/l]
Tot-P	0,06-0,171	0,372
Tot-N	13-211	142
BOD7	3-61	102
CODcr	30-382	522
SS	2-131	i.d
Läkemedel	i.d	0,2-1377,53
Mikroplast	i.d	i.d
Fenoler	i.d	72,13
PFAS	i.d	7,5-10,63
Mjukgörande	i.d	i.d
Insektsmedel	i.d	0,1-18,73
Estron	i.d	9,33
Tungmetaller	i.d	i.d
Virus	i.d	i.d
Bakterier	i.d	i.d
Patogener	i.d	i.d

¹Baserat på det lägsta och högsta månatliga maximumkoncentrationerna mätta i utflödet från Hurva WWTP.

³Höglind et al. (u.d.)

⁴VA SYD (2018b)

Val av reningstekniker

Valet av vilka reningstekniker som skulle ingå i övervägningen baserades på vilka reningstekniker som inkluderats i de två rapporterna "Återvunnet avloppsvatten för industriell användning och bekvattning" (Hoyer, 2019) och "Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten" (Baresel, et.

Tabell 2 Reningstekniker som övervägdes från början, med de som inte inkluderats i designprocessen markerade i grått.

Separerande processer		Inaktiverande processer	
Membran	Aktivt kol	Oxidanter	Annat
UF	GAC filter	Ozon	UV
RO	PAC	Ozon + väteperoxid	UV + väteperoxid
MF			
NF			

Al, 2017) och visas i tabell 2. Av de reningstekniker som övervägdes från början valdes följande fem tekniker bort: nanofiltrering (NF), mikrofiltrering (MF), pulveriserat aktivt kol (PAC), granulärt aktivt kol (GAC), ozonering + veteperoxid samt UV + väteperoxid. I tabellen är dessa tekniker markerade med grå text.

Av de fyra membrantekniker som övervägdes från början sorterades NF och MF ut innan designprocessen. Bortprioriteringen av MF baserades på att både MF och UF var tänkta att ingå som förbehandlingssteg inför en annan reningsteknik och i jämförelsen av dessa ger MF en sämre effekt. På samma sätt valdes NF bort till förmån för RO

då syftet med båda teknikerna skulle vara läkemedelsrening och där ansågs RO mer effektiv.

Exkluderingen av PAC baserades på en jämförelse med GAC filter, eftersom att de två teknikerna ansågs uppfylla samma syfte. GAC filter valdes som det mest lämpliga alternativet för ändamålet med bakgrund av den filtrerande och biologiska funktionen som saknas i PAC. En annan aspekt där GAC filter är att föredra framför PAC är gällande bildandet av biprodukter, då PAC inte kan regenereras. Dessutom kan det vara svårt att kombinera dosering av PAC med slamgödsling.

De två teknikerna med väteperoxid inkluderades inte i designprocessen eftersom det ansågs föredra

Tabell 3 Maximal log-reduktion av mikrobiologiska parametrar med de olika reningsteknikerna.

Grön = mycket hög reduktion, ljusgrön= hög reduktion, gul = medelhög reduktion, röd= låg reduktion.

	Virus	Bakterier	Parasiter
GAC filter	-	Koliforma	-
Ultrafilter ¹	2	2.5	2.5
Ultrafilter + fällning ¹	3	3	3
Omvänd osmos ²	3	3	3
Ozon 4oC, ct=1.5 ³	3*	3*	2**
Ozon 0.5oC, ct=2 ³	3*	3*	2
UV4 400Jm ⁻²	3.5/1.25***	4	4

¹Från tabell 3,1 i "Introduktion till mikrobiologisk barriäranalys, MBA"

²Utifrån antaganden att den bidrar med minsk samma log-reduktion som NF enligt tabell 3, 1 i "Introduktion till mikrobiologisk barriäranalys, MBA"

³Från tabell 4,6 i "Introduktion till mikrobiologisk barriäranalys, MBA"

*Samma reduktionsnivå kan uppnås med lägre kontaktid

**Effektive mot Giardia och ineffektiv mot Cryptosporidium

***Med/utan adenovirus

Tabell 4. Reduktionskapacitet för kemiska parametrar. Grön=metoden används för reduktion av föroreningen.

Gul = Reduktion av förorening har observerats. Röd = Låg eller ingen reduktion har observerats.

Linje över cell = ekonomiskt ineffektivt.

	Läkemedelsrester	Mikroplaster	TOC	Turbiditet	Näringsämnen	SS	Annat
GAC filter	Grön	Röd	Grön	Röd	Grön	Röd	Hg, Cu, fenoler
Ultrafilter	Röd	Grön	Gul	Grön	Gul	Grön	Tungmetaller
Omvänd osmos	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Tungmetaller
Ozon	Grön	Röd	Röd	Röd	Gul	Röd	
UV	Röd	Röd	Röd	Röd	Röd	Röd	

get att använda UV och ozon utan väteperoxid för att minska användningen av kemikalier. Tillsats av väteperoxid betraktades som ett komplement vilket kan behövas i det fall reningen skulle visa sig vara otillräcklig med endast ozon eller UV.

Reningseffektivitet

Valet av vilka reningstekniker som skulle ingå i processen baserades på deras förmåga att reducera oönskade ämnen. Reningseffektiviteten för alla tekniker som valts som intressanta summeras i tabell 3 och 4.

Den definition som användes för att en reningsteknik ska räknas som effektiv gällande reduktion av en viss parameter var att tekniken idag används för reduktion av den specifika parametern. Detta betyder att det inte är nog att tekniken har kapacitet att rena en viss parameter. Till exempel skulle det vara möjligt att använda RO för reduktion av turbiditet, men det skulle vara en ekonomiskt ineffektiv lösning samt medföra en hög risk för fouling av membranet. Informationen i tabellerna gäller när teknikerna drifas på rätt sätt och förutsatt att vattnet som kommer in håller en tillräckligt hög kvalitet.

Placeringen av ett visst reningssteg avgjordes baserat på vilken kvalitet som krävdes på det inkommande vattnet för att tekniken ska fungera effektivt (Tabell 5).

Design av vattenverk

Designprocessen bestod i att följa flödesschemat i figur 1 samt de riktlinjer, antaganden och förenklingar som listas nedan istället:

- Reningprocessen ska inkludera minst en inaktive-

rande och en separerande mikrobiologisk barriär.

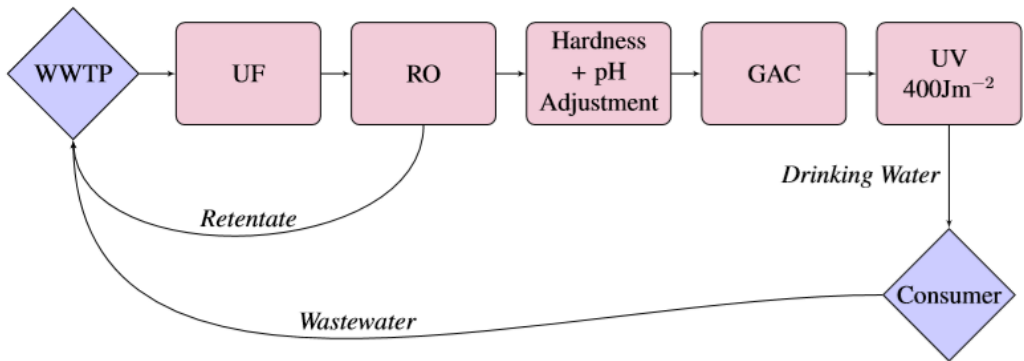
- Ozonbehandling måste följas av GAC-filter för att undvika att biprodukter från ozonsteget passerar processen. Rent tekniskt hade efterbehandling med RO även fyllt syftet men i de fall RO används anses ozon överflödigt.
- När GAC eller ozon används i syfte att reducera mikroföroreningar bör dessa kombineras. Detta då ingen av de två teknikerna kan anses ge tillräcklig reduktion av mikroföroreningar på egen hand. GAC filtret ska placeras efter ozonsteg. Enligt Baresel, Magnér, et al. (2017) kan kombinationen av GAC och ozon effektivt reducera majoriteten av alla föroreningar, med undantag för mikroplast och mikroorganismer.
- En reningprocess ska inte innehålla både RO och kombinationen ozon+GAC. Anledningen är att både syftar till att reducera mikroföroreningar och därför anses överflödiga i samma vattenverk.
- På grund av de biprodukter som kan produceras vid ozonering, föredras UV-behandling som inaktiverande barriär.
- När RO används ska vattnet alltid genomgå UF som förbehandling.

Förenklad mikrobiologisk riskanalys

Det sista steget i designprocessen var att se till att de vattenverk som tagits fram uppfyllde de mikrobiologiska kvalitetskrav som ställs på dricksvatten. Detta gjordes genom att utföra en förenklad version av den mikrobiologiska riskanalys som beskrivs av Svenskt Vatten (2015) i rapporten "Introduktion till mikrobiologisk barriäranalys, MBA".

Tabell 5 Kvalitetskrav för det inkommande vattnet till reningsteknikerna för att de ska fungera som tänkt.

	Mikroorganismer	Kemikalier	Organiskt material	Fysiska parametrar
GAC			Låg halt organiskt material	
O3	Efter biosteg	Låg kvävehalt	Låg halt organiskt material	Låg SS
UV		Låg ozon- och järnhalt	Låg humushalt, TOC och COD	FNU < 0.1, låg färg
UF	Fördelaktigt efter biosteg			Inga stora partiklar
RO		Förbehandling med UF		



Figur 2. Vattenverk 1.

Steg 1

I det första steget bestäms den önskade reduktionen av mikroorganismer utifrån kvaliteten på råvattnet. Enligt Svenskt Vattens guide klassas råvattnet automatiskt till att behöva den maximala reduktionsgraden om det föreligger risk för kontaminering av avloppsvatten. Det finns inga riktlinjer för hur renat avloppsvatten som råvattnet ska hanteras. I det här fallet valdes den högst möjliga önskade reduktionsgraden med ett tillägg på 1 log reduktion för alla typer av mikroorganismer. Den valda säkerhetsnivån kallas för D_c i MBA-verktyget och motsvarar en 99,9999 % (Log 6.0) reduktion av bakterier och virus samt en 99,999 % (Log 5.0) reduktion av parasiter. Den önskade reduktionsnivån visas i ekvationen nedan. Utöver den önskade reduktionsnivån krävs även att det är minst en inaktiverande och en separerande barriär. I ekvationen står r för reduktionsnivå, s_1 för steg ett, b , v , p för bakterier, virus och parasiter.

$$(rb+rv+rp)_{s_1} = (6+1)b + (6+1)v + (5+1)p = 7b + 7v + 7p$$

Steg 2

I det andra steget tas hänsyn till förebyggande åtgärder och övervakning av processen, med möjligheten att minska reduktionskraven. I det här fallet valdes scenariot utan säkerhetsåtgärder och övervakning. Grunden till det valet var att råvattenkvaliteten ansågs skilja sig för mycket från de råvattenkällor som är beskrivna i guiden för att kunna använda poängsystemet från MBA-verkty-

get gällande den här aspekten. Ekvationen nedan visar den valde reduktionen i steg 2, där s_2 står för steg 2.

$$(rb+rv+rp)_{s_2} = 0b + 0v + 0p$$

Steg 3 och 4

I det tredje/fjärde steget adderas reduktionskapaciteten från inaktiverande/separerande mikrobiologiska barriärer till ekvationen från Steg 1. För att vattenverket ska anses mikrobiologiskt säkert krävs att ekvationen nedan är uppfylld. I ekvationen står s_3/s_4 för steg tre/fyra.

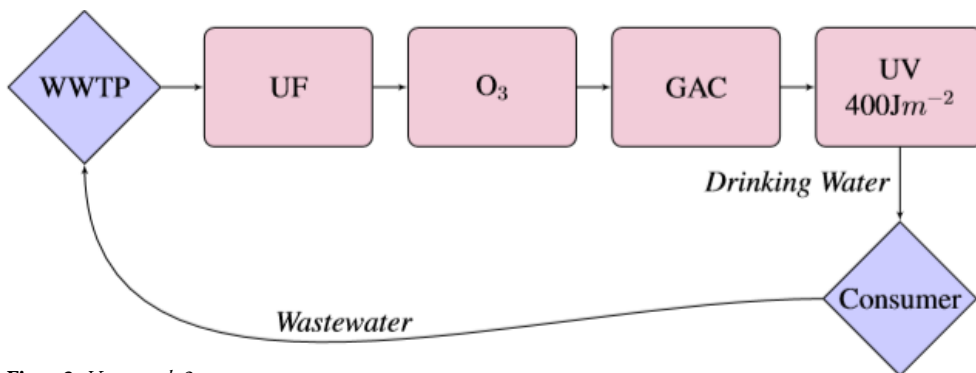
$$0 \geq (7b+7v+6p) - (rb+rv+rp)_{s_3} - (rb+rv+rp)_{s_4}$$

Resultat

Två vattenverk genererades i designprocessen. I det första vattenverket valdes RO för reduktion av mikroföroreningar och i det andra verket valdes istället en kombination av GAC-filter och ozon för ändamålet.

För de två vattenverken är en förutsättning att de föregås av rening i ett avloppsreningsverk där den vattenkvalitet som krävs för att vattnet ska kunna renas effektivt med UF uppnås. Hur avloppsreningsverket bör utformas har inte behandlats i projektet. I det fallet då MBR process används i avloppsreningen kan det eventuellt vara överflödigt att även ha UF i vattenverket.

Båda vattenverken uppfyller designkraven gällande reningskapacitet. För att ett vattenverk ska anses säkert räcker det dock inte med att det rent teoretiskt har kapacitet att uppnå en viss renings-



Figur 3. Vattenverk 2.

grad utan det krävs även att tillräckligt hög kvalitet uppnås vid varje tillfälle, detta diskuteras vidare under rubriken hälso- och säkerhetsaspekter.

Vattenverk 1

Det vattenverk där RO valts för rening av mikroföroreningar kallas för vattenverk 1 (Figur 2). Som förbehandlingssteg innan RO-behandling valdes UF i enighet med de riktlinjer som listas under rubriken design av vattenverk. Möjligheterna att recirkulera retentatet från RO-steget bör undersökas. Efter RO-steget behöver vattenkvaliteten justeras med avseende på hårdhet och pH samt som efterbehandlingssteg passera ett GAC-filter som kan reducera föroreningar som kan ha kommit igenom RO-steget. Som ett sista steg valdes desinfektion med UV-ljus.

Den mikrobiologiska säkerhetsnivån för dricksvattenverket beräknades enligt det förenklade MBA-verktyget till $8.5v + 10b + 9.5p$, vilket är $1.5v + 3.5b + 3.5p$ högre än vad som krävdes.

Vattenverk 2

För det andra vattenverket valdes kombinationen av ozon och GAC-filter som teknik för reduktion av mikroföroreningar (Figur 3). Det första steget efter avloppsreningsverket valdes liksom för Vattenverk 1 till att vara UF. Syftet med UF var i det här fallet främst för reduktion av turbiditet inför ozonsteget. Som sista steg valdes desinfektion med UV-ljus för att uppfylla kravet om att ha minst en inaktiverande barriär enligt MBA-verktyget.

Den totala mikrobiologiska säkerhetsnivån för Vattenverk 2 beräknades till $8.5v + 10.5b + 8.5p$, vilket är $1.5v + 3.5b + 2.5p$ högre än vad som krävdes enligt det förenklade MBA-verktyget.

Hälso- och säkerhetsaspekter

Det finns två grundläggande kriterier som måste vara uppfyllda för att ett vattenverk ska anses säkert:

- Vattenverket måste ha kapacitet att rena råvattnet till dricksvattenkvalitet. I fallet där renat avloppsvatten används som råvatten är de viktigaste parametrarna mikroföroreningar och mikroorganismer.
- Kvaliteten på det producerade dricksvattnet måste uppleva till Livsmedelverkets krav vid varje tillfälle, utan att påverkas av fluktuationer i inkommande vattenkvalitet eller andra störningar som kan uppkomma.

Eftersom att utgångspunkten vid utformningen av vattenverken var att de skulle ha kapacitet att rena oönskade ämnen kan det första kriteriet anses uppfyllt för båda vattenverken, under förutsättningen att processerna är optimerade och drivs på rätt sätt.

Gällande den mikrobiologiska säkerhetsnivån beräknades vattenverk 1 att ha en log 1 högre reduktion av parasiter än vattenverk 2. Att det ena vattenverket enligt MBA skulle innebära en högre mikrobiologisk säkerhetsnivå är inte nödvändigtvis bättre då båda vattenverken med marginal uppfyller den reduktionsgrad som önskades.

Det faktum att det första kriteriet angående reningskapacitet är uppfyllt kan inte kompensera för det fall där något av vattenverken inte uppfyller det andra kriteriet. Nedan följer en analys gällande hur de två vattenverken förväntas prestera gällande resiliens mot störningar och fluktuationer i inkommande vattenkvalitet.

Säkerhetsrisker: Vattenverk 1

Överlag kan sägas att det mest kritiska steget i det första vattenverket är RO-steget. Om detta steg av någon anledning inte skulle fungera som tänkt finns risk för genomsläppning av föroreningar som inte behandlas i senare steg. På samma sätt kan GAC-filtret ses som ett kritiskt steg eftersom att det är det enda steget som reducerar vissa föroreningar.

Ultrafilter – Fluktuationer i det utgående vattnet från UF-steget är främst kopplat till fouling av membranet till följd av dålig kvalitet på matarvattnet. Om det utgående vattnet från ultrafiltret inte uppnår tillräckligt hög kvalitet kan det i sin tur leda till fouling av RO-membranet och därmed påverka kvaliteten på det färdiga dricksvattnet.

Omvänd osmos – RO-steget innebär en fysisk barriär vilket förhindrar föroreningar från att passera membranet baserat på molekylstorlek. Om membranet är intakt och inte utsatt för fouling eller scaling är reningen oberoende av fluktuationer i inkommande vattenkvalitet. Däremot kan försämrad vattenkvalitet orsaka fouling och scaling av membranet.

Om matarvattnet har för låg kvalitet, föreligger risk för fouling av membranet vilket är kopplat till en dyrare och mer energikrävande process (Voutchkov, 2017). Utöver detta kan fouling även orsaka en försämrad kvalitet för det utgående vattnet (Singh, 2005; Maddah & Chogle, 2017). För att minska risken för att detta ska ske används UF som bidrar med en säkerhet i form av en lägsta möjliga kvalitet, förutsatt att UF-membranet är intakt.

När lösliga salter i retentatet blir mer och mer koncentrerade ökar risken för scaling (Singh,

2005), vilket är kopplat till en mer energikrävande process. Eftersom att högre utbyte resulterar i ett mer koncentrerat retentatflöde finns det en motsättning mellan önskan att ha så högt utbyte som möjligt samtidigt som scaling undviks.

Granulärt aktivt kol – Eftersom att adsorptionen i GAC-filtret är selektiv krävs en hög kvalitet på det inkommande vattnet för att de ämnen som avses ska reduceras. Så länge RO-membranet är intakt kommer det inkommande vattnet till GAC-filtret att vara av tillräckligt hög kvalitet för att den selektiva adsorptionen ska ske som det är menat. En annan viktig aspekt för att filtret ska prestera på rätt sätt är att det regenereras med jämna mellanrum. Då olika GAC-filter kan skilja sig från varandra är valet av filter viktigt.

Ultraviolettt ljus – Likt många andra reningssteg är effektiviteten av UV-behandling beroende av kvaliteten på det vatten som behandlas. Då UV-ljuset är beroende av energi är det även viktigt att det finns en konstant energikälla och att lamporna byts i tid innan intensiteten blivit lägre än önskvärt.

Säkerhetsrisker: Vattenverk 2

För vattenverk 2 kan behandlingen av mikro-föroreningar anses vara de mest kritiska stegen i reningsprocessen. Anledningen till detta är att minskad effektivitet i ett av dessa steg inte kan kompenseras i ett senare steg. Att det finns två reningssteg för mikro-föroreningar kan göra att det framstår som att vattenverket är redundant med avseende på mikro-föroreningar, detta stämmer dock inte då olika mikro-föroreningar behandlas med de två teknikerna och dessutom är reningen i GAC-filtret beroende av att ozonsteget fungerar effektivt.

Ultrafilter – Liksom för vattenverk 1 är risker med ultrafilter främst kopplat till fouling på grund av för låg kvalitet på matarvattnet. Ultrafiltret bidrar med en filtrerande egenskap vilket betyder att reningseffektiviteten i princip är oberoende av kvaliteten på det inkommande flödet så länge membranet är intakt och inte utsatt för fouling.

Ozonering – En utmaning med att använda ozonering i dricksvattenproduktionen är att den önskade dosen är beroende av kvaliteten på det vatten som ska behandlas vilket gör att den önskade dosen kan variera. En ytterligare aspekt som försvårar styrningen av ozondoseringen är att både en för hög och för låg dos kan leda till att det finns giftiga ämnen i det utgående vattnet. Detta förhindrar möjligheten att sätta en extra hög dos för att ha en säkerhetsmarginal. Det är särskilt viktigt att ha kontroll på bromidhalter i vatten som behandlas med ozon då ozonering kan leda till att bromid omvandlas till det carcinogena ämnet bromat (Lavonen et al. 2018).

En annan svårighet med ozonering är dess känslighet mot driftmässiga störningar. Till exempel, om ozondosen av någon anledning skulle stoppas kommer vattnet fortfarande att passera steget, till skillnad från membranprocesser där ett stopp i processen innebär att vattnet inte passerar.

Granulärt aktivt kol – Trots att GAC filtret i princip innebär filtrering räknas det inte som en fysisk barriär för mikroföroreningar då reduktionen av mikroföroreningar sker genom adsorptionsprocessen vilken är selektiv och beror av kvaliteten på det behandlade vattnet. Reningen av mikroföroreningar beror på den mikrobiologiska aktiviteten i filtret vilket innebär en risk om den mikrobiologiska aktiviteten skulle minska. Liksom för vattenverk 1, är det även här viktigt att göra rätt val vid inköp av GAC-filtrer.

Ultraviolettt ljus – Se vattenverk 1.

Åtgärder för att öka säkerheten för vattenverken

Det optimala vattenverket utifrån ett säkerhetsperspektiv är det som har så många reningstekniker som möjligt för varje parameter som ska renas. I verkligheten är inte säkerheten den enda aspekten och fördelarna med en investering måste stå i proportion till kostnaderna. Det finns många olika tillvägagångssätt för att öka säkerheten i ett vattenverk utan att addera fler reningssteg än vad som är motiverat.

En förutsättning för att ett vattenverk ska vara säkert är att kvaliteten mäts kontinuerligt med online-mätning efter reningssteg för att kunna kontrollera att reningen är tillräcklig. Genom att mäta kvaliteten kan störningar identifieras och åtgärdas innan dricksvattnet når distributionssystemet.

För båda vattenverken är en förutsättning för att de ska vara säkra att de drivs på ett sätt som minimerar risken för fouling av membran. Då ultrafilter är det första steget i båda vattenverken är det viktigt att avloppsreningsverket som föregår vattenverket producerar ett vatten som inte medför risk för fouling av ultrafiltret. Vilka processer som bör ingå i reningsverket har inte undersökts inom ramarna för examensprojektet men det kan konstateras att valet av reningsprocesser måste utgå från att det ska resultera i ett vatten som går att behandla med ultrafiltrering.

Det är viktigt att ha ett redundant system, det vill säga att ha en säkerhetsmarginal i form av att implementera fler åtgärder än vad som minimalt krävs (WHO, 2017). I ett redundant system finns det en säkerhetsmarginal som gör systemet mer resiliert mot störningar och förändringar. Ett exempel på redundans för de genererade systemen är att båda vattenverken ger en högre log-reduktion än vad som krävs enligt den mikrobiologiska riskanalysen.

En annan åtgärd för att öka redundansen i vattenverk är att dela upp reningen i två eller fler parallella behandlingslinjer med samma reningssteg. På detta sätt minskar effekten av störningar i en av linjerna.

En sista åtgärd för att öka redundansen är att ha två eller fler reningstekniker för en och samma parameter. Vid designen av de två vattenverken i examensprojektet var utgångspunkten att de skulle kunna rena avloppsvatten till dricksvattenkvalitet. Gällande alla parameter förutom mikroorganismer var det inte angivet några riktlinjer för hur mycket av föroreningarna som skulle renas utan det räckte med att tekniken idag används för rening av den specifika parametern. På grund av detta är den enda parametern där redundans i form av flera behandlingsmetoder övervägdes de mikrobiologiska.

Utmaningar och möjligheter

Trots att den nödvändiga tekniken för att behandla avloppsvatten till dricksvatten finns tillgänglig och trots att det finns många lyckade exempel på liknande vattenverk världen över kvarstår ett visst motstånd i frågan. På många av de platser där återanvändning faktiskt implementerats är den gemensamma faktorn att det inte finns något annat råvatten att tillgå. Det finns många anledningar till att cirkulära vattenlösningar inte tagit fart i Sverige. En anledning som ofta nämns är att människor känner en viss osäkerhet i och med att avloppsvatten instinktivt uppfattas som äckligt. I verkligheten är dock kvaliteten på avloppsvatten inget som förhindrar en tillräcklig rening.

Delvis kan avsaknaden av recirkulerande vattenverk förklaras av ekonomiska aspekter då det krävs en mer intensiv rening än för vattenverk som använder yt- eller grundvatten som råvattenkälla. Detta förklarar dock inte varför man på många håll väljer att implementera ett system med saltvatten som råvattenkälla framför avloppsvatten, trots att det i många fall innebär en högre kostnad att rena saltvatten än avloppsvatten. Dessutom bör kostnaden av ett recirkulerande verk jämföras med kostnaden för både avloppsrening och dricksvattenberedning och inte endast dricksvattenberedning.

I den här delen av artikeln diskuteras möjligheter med och utmaningar kopplade till att använda renat avloppsvatten som råvattenkälla. Innan man beslutar sig för att implementera en sådan lösning är det viktigt att besvara frågan om huruvida det är ett hållbart sätt att använda våra vattenresurser på. Diskussionen nedan är baserad på författarens tankar under examensarbetet och ska inte tolkas som VA SYDs officiella hållning.

Då utmaningar med återanvändning av avloppsvatten i dricksvattenproduktion främst är kopplade till att dricksvatten är ett livsmedel kan många av utmaningarna undvikas genom att använda det renade avloppsvattnet för ändamål som kräver lägre vattenkvalitet. Genom att använda renat avloppsvatten för ändamål med lägre kvalitetskrav än dricksvatten minskar även råvattenuttag till följd av minskad dricksvattenanvändning. Att rena avloppsvatten till just dricksvattenkvalitet är därför

främst motiverat i de fall där det är ont om andra vattenkällor att tillgå, till exempel i Hurva.

Möjligheter

Gällande de positiva effekterna som kommer av att återanvända avloppsvattnet så är de inte nödvändigtvis kopplade till att vattnet ska användas för just dricksvattenproduktion. Många fördelar uppstår till följd av minskat uttag av sötvattenresurser vilket även kan uppnås genom att ersätta dricksvatten av renat avloppsvatten inom ett annat vattenanvändningsområde.

Minskat tryck på sötvattenresurser

Det kanske mest uppenbara motivet till att återanvända avloppsvatten för dricksvattenproduktion är det minskade trycket det innebär på sötvattenresurser rent volymsmässigt. I områden där sötvattenresurserna är knappa, som i Hurva, finns det däremot ett mycket stort värde i att kunna använda alternativa råvattenkällor. Då minskade grundvattennivåer i regel är kopplade till försämrade kemisk vattenkvalitet kan minskat uttag från grundvattenreservoarer genom att öka volymen vatten även innebära att vattenkvaliteten förbättras (SGU, u.å.).

Minskade utsläpp till recipient

Idag läggs mycket resurser på att i efterhand åtgärda problem med övergödning och att reducera toxiska föroreningar i vattendrag för att kunna uppnå god ekologisk och kemisk status. När en förorening väl nått ett vattendrag och späts ut är det i princip omöjligt att samla in det igen och rena. Vid återanvändning av avloppsvattnet förhindras utsläpp av oönskade ämnen i avloppsvattnet till vattendrag genom att ta bort den föroreningskälla som avloppsreningsverken innebär.

Naturskyddsföreningen kom nyligen ut med en undersökning som visar att dricksvattnet i Sverige på många håll innehåller tio gånger högre halter av PFAS än EU:s livsmedelsverks nya gränsvärde (Naturskyddsföreningen, 2020). Vid recirkulering av vattnet skulle PFAS kunna reduceras direkt på avloppsreningsverket innan vattnet blir råvatten istället för att det släpps till recipienten för att spä-

das ut i naturen och sedan delvis tas upp i vattenverken för att renas där.

Ett avancerat verk istället för två

I framtiden förväntar vi oss strängare utsläppskrav på reningsverken, bland annat gällande läkemedelsrester (Naturvårdsverket, 2017). För att rena läkemedelsrester på ett tillfredsställande sätt krävs avancerade reningstekniker så som aktivt kol, ozon eller membranprocesser. Dessutom kräver många av de tekniker som renar läkemedelsrester en relativt intensiv förbehandling för att reduktion av de ämnen som avses ska ske. Detta betyder att det renade avloppsvattnet som lämnar verket kan vara av betydligt högre kvalitet än idag. Istället för att ha två avancerade verk där ett renar avloppsvatten och ett annat producerar dricksvatten bör fördelarna med att istället ha ett avancerat verk som renar avloppsvatten till dricksvattenkvalitet undersökas.

Utmaningar/svårigheter

Många utmaningar som är kopplade till återanvändning av avloppsvatten är en följd av att dricksvatten är ett livsmedel vilket innebär ett stort krav på säkerhet. Detta betyder att många av utmaningarna kan undvikas om det renade avloppsvattnet används för andra ändamål än just dricksvatten.

Det säkra systemet

Vattenverksamhet är i Sverige hårt reglerat både ur miljösynpunkt, som livsmedel och gällande arbetsmiljö. Då dricksvatten är vårt viktigaste livsmedel är det av stor vikt att säkra att det alltid finns tillgång på dricksvatten i tillräcklig mängd och av tillräckligt hög kvalitet. Med hänsyn till att tillgång på rent dricksvatten är livsviktigt är det naturligt att VA-branschen är konservativ med en viss fördröjning vad gäller implementering av nya tekniker och metoder, då ett felsteg kan ha stor negativ påverkan på människors hälsa.

Under de senaste åren har VA-systemens förutsättningar förändrats med reella hot om torka och översvämningar. I Sverige har detta märkts inte minst under torkan 2018 (SMHI, 2019) och efter skyfallet i sydvästra Skåne 2014 (Hernebring, et al, 2015). När villkoren förändras måste vi kunna

anpassa våra system efter de nya förutsättningarna och det är då den tröghet som i vanliga fall innebär en säkerhet istället kan verka som en käpp i hjulet när det gäller att implementera de lösningar som krävs för att i framtiden kunna säkra tillgången på rent dricksvatten.

Med klimatförändringarna hängandes över oss med hot om längre och mer intensiva torrperioder och försämrade grund- och ytvattenkvalitet måste vi våga försöka vara pricksäkra i våra beslut. Här gäller det att våga tänka nytt och inte bara luta sig tillbaka på det som alltid fungerat.

Juridiken

En stor svårighet vid implementering av renat avloppsvatten som råvatten är att det saknas tydliga lagar och riktlinjer för detta. Till exempel ingår inte renat avloppsvatten som råvattenkälla i MBA-verktyget beskrivet i Svenskt Vattens (2015) publikation "Introduktion till mikrobiologisk barriäranalys" eller i Livsmedelsverkets föreskrifter för dricksvatten (Livsmedelsverket, 2017).

Äckelfaktorn

Att rena mikrobiologiska parametrar har vi gjort under en lång tid och vi vet vilka processer som krävs för att nå ett mikrobiologiskt säkert vatten. Trots detta är den förmodligen största anledningen till att folk är tveksamma inför att återanvända avloppsvatten den mikrobiologiska säkerheten. Självklart är det av högsta vikt att det vatten som levereras är av god kvalitet, men genom att rata en råvattenkälla för att det psykologiskt tar emot förvaltar vi inte våra resurser på bästa sätt.

Det är viktigt att vi har redundanta system med tillräckligt hög mikrobiologisk säkerhet, men spontana äckelkänslor ska inte få påverka hur vi utformar våra system. När en mikrobiologisk barriär läggs till ska det vara vetenskapligt motiverat, då varje extra reningssteg innebär en ytterligare belastning på miljön.

Kommunikationen och ansvaret

Trots att all den kunskap som krävs för att producera dricksvatten av avloppsvatten finns, är den svår att använda då det brister i kommunikationen

mellan dricksvatten- och avloppssektorn. Från avloppssektorn finns ofta kunskap om vilken teknik som krävs för att rena avloppsvatten till önskvärd kvalitet, men det saknas kunskap om vilka krav som ställs på dricksvatten, både juridiskt och kvalitetsmässigt. Inom dricksvattensektorn finns kunskap om vad som krävs rent juridiskt och gällande dricksvattenkvaliteten, men det saknas information om hur rening av avloppsvattnet ska gå till.

Att dricksvatten- och avloppsvattensektorerna hålls åtskilda skapar även logistiska och ansvarsrelaterade problem. Även om det rent samhällsmässigt kan vara fördelaktigt att återanvända avloppsvatten så kan en utökad rening för antingen avlopps- eller vattenverket bli kostsam lokalt för den som ansvarar för och driver verket. Kostnaden för att rena avloppsvatten till dricksvattenkvalitet bör dock jämföras med den totala kostnaden för att rena avloppsvatten och beredning av dricksvatten och inte endast med dricksvattenverket.

Vattenbalansen

I dricksvattenledningar sker förluster av dricksvatten då ledningarna är trycksatta för att förhindra inläckage. I avloppsledningar är trycket motsatt för att undvika att obehandlat avloppsvatten läcker ut i naturen och därför tillkommer ofta stora mängder ovidkommande vatten till systemet i avloppsledningarna. Utöver detta kan vatten tas ut och tillsätts systemet vid användning, till exempel genom bevattning. De förluster och tillskott som finns i VA-systemet gör att mängden producerat dricksvatten inte matchar mängden avloppsvatten. Det finns dock åtgärder att ta till för att säkerställa att det finns tillräckligt mycket råvatten i systemet. En lösning är att använda avloppsvatten från ett reningsverk som renar vatten från fler hushåll än vad som ska förses med dricksvattnet.

Ett annat sätt för att försäkra att vattenbalansen går ihop är att blanda avloppsvattnet med en annan råvattenkälla. Detta har t.ex. gjorts i Mörbylånga där processvatten från en kycklingfabrik blandas med bräckt vatten. Att blanda flera råvatten kan innebära processtekniska utmaningar och det är viktigt att ha koll på sammansättningen av det råvatten som går in i vattenverket såväl som att

undvika stora fluktuationer i vattenkvaliteten.

En tredje åtgärd är att indirekt återanvända vatten genom grundvattenbildning. I det här fallet finns en reservoar och systemet behöver därför inte vara beroende av att tillräckligt mycket avloppsvatten produceras vid varje tillfälle, utan det räcker med att det kommer tillräckligt mycket vatten över en viss period.

Referenser

- Baresel, C., J. Magnér, K. Magnusson, M. Olshammar (2017) Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. C 235. Svenska Miljöinstitutet.
- European Comission (2019) Water Reuse. Ec.europe.eu URL: <https://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm> (Besökt 02/18/2020)
- Frihammar, E. (2020) Technical Possibilities of Wastewater Reclamation for Potable Use in Hurva, Scania: Regarding the Waterbalance and From a Process Technical Point of View, UPTEC W, ISSN 1401-5765 ; 20022. URL: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1447698/FULLTEXT01.pdf> (Besökt 17/11/2020).
- Hernebring, C., S. Milotti, S. Steen Kronborg, T. Wolf, E. Mårtensson (2015) Skyfallet i Sydvästra Skåne 2014-08-31 – Fokuserat mot konsekvenser och relation till regnstatistik i Malmö. Tidskriften vatten, 2:15, 85–99.
- Höglind, Lennart et al. (n.d.) Avancerad rening vid sjölunda ARV - Förstudie - Slutrapport. 200130.
- IPCC (2013) Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf (Besökt 02/17/2020).
- IVL (2018) Sveriges första öl bryggt på återvunnet vatten. URL: <https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/pressmeddelanden/pressmeddelande---arkiv/2018-05-23-sverigesforsta-ol-bryggt-pa-atervunnet-vatten.html> (Besökt 02/21/2020).
- Lavonen, E., I. Bodlund, K. Dahlberg, U. Eriksson, A. Andersson, S. Bertilsson, C. Frösegård, V. Franke, O. Golovko, L. Ahrens (2018) Dricksvatten beredning med nya reningstekniker—en pilotstudie. 2018-07. Svenskt Vatten.
- Livsmedelsverket(2017) Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS2001:30) om dricksvatten. URL: https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/om-oss/lagstiftning/dricks-vatten---naturI-mineralv--kallv/livsfs-2017-2_web.pdf (Besökt 01/31/2020).
- Maddah, H., C. Aman (2017) Biofouling in reverse osmosis: phenomena, monitoring, controlling and remediation. Applied Water Science 7.6, pp. 2637–2651.
- MSB (2019) Risk för vattenbrist 2019. Krisinformation.se. URL: <https://www.krisinformation.se/deta-kan-handa/handelser-och-storningar/2019/risk-for-vattenbrist-2019> (Besökt 02/17/2020).
- Mörbylånga Kommun (2019) Äntligen produktionsstart för Mörbylånga vattenverk - Morbylånga Kommun. URL: <https://www.morbylanga.se/Templates/Meridium/Pages/Page.aspx?id=8529&eplanguage=sv> (Besökt 01/23/2020).

- Naturskyddsforeningen (2020), Minst 2 miljoner svenskar har för mycket PFAS i dricksvattnet. Naturskyddsforeningen. se. URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/nyheter/minst-2-miljoner-svenskar-har-mycket-pfas-i-dricksvattnet> (Besökt 23/11/2020).
- PUB (u.d.) PUB, Singapore's National Water Agency. PUB, Singapore's National Water Agency. URL: <https://www.pub.gov.sg> (visited on 01/23/2020).
- SGU (u.d.) Så påverkar klimatförändringar grundvattnet. SGU.se. URL: <https://www.sgu.se/samhallsplanering/pla-nering-och-markanvandning/grundvatten-i-planeringen/klimatforandringar/paverkan/> (Besökt 17/11/2020).
- Singh, Rajindar (2005) Chapter 2 - Water and membrane treatment. Hybrid Membrane Systems for Water Purification. Ed. by Rajindar Singh. Amsterdam: Elsevier Science, pp. 57–130.
- SMHI (2019) Vattenflöden 2018. SMHI.se. URL: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-daoch-nu/arets-vatten/vatten-floden-2018-1.147425> (Besökt 02/26/2020).
- SMHI (2020) Risk för vattenbrist. SMHI.se. URL: <https://www.smhi.se/vader/varningar-och-risker/risk-for-vattenbrist> (Besökt 03/11/2020).
- Svenskt Vatten (2015) Introduktion till Mikrobiologisk Barriär Analys, (MBA). P112.
- VA SYD (2018) Sjölanda Avloppsreningsverk, Malmö - Miljörapport 2018, p. 88. URL: <https://www.vasyd.se/-/media/Documents/Rapporter/Miljorapporter/2018/Miljrapport-2018Sjölunda.pdf> (Besökt 06/11/2020).
- Voutchkov, N. (2017) Chapter 2 - Membrane Foullants and Saline Water Pretreatment. Pretreatment for Reverse Osmosis Desalination. Amsterdam: Elsevier, pp. 11–41.
- Wingoc, Windhoec Goreangab Operating Company (n.d.) The 10 steps of the process. Wingoc. URL: <https://www.wingoc.com.na/water-reclamation-plant/10-steps-process-0> (Besökt 01/23/2020).
- World Health Organization (2017) Potable reuse: guidance for producing safe drinking-water. OCLC:1059859206. URL: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258715/9789241512770eng.pdf;jsessionid=B3D6B77169D418DC-F3E72ED661F44C0F?sequence=1> (Besökt 05/24/2020).