



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 14015

Examensarbete 30 hp
Maj 2014

Hållbar vattenförsörjning i områden med vattenbrist

Sustainable water supply solutions for areas
affected by water shortage

Erika Västberg

Referat

Hållbar vattenförsörjning i områden med vattenbrist

Erika Västberg

Vattenbrist förekommer idag i vissa kustnära områden i Sverige på grund av att grundvatten bildas i en lägre takt än uttaget. Förutom att det skapar en situation där råvattnet inte räcker för att försörja boende och verksamheter med dricksvatten finns även risk för saltvatteninträngning i dricksvattenbrunnar. Problemet förekommer oftast på sommaren då grundvattenbildningen är som lägst, men befolkningen är som högst på grund av turism och fritidsboende.

Syftet med det här examensarbetet har varit att undersöka hur lokal vattenförsörjning i områden med vattenbrist kan lösas med huvudfokus på att lösningen ska vara så hållbar som möjligt. Arbetet delades upp i tre delar där den första delen var en litteraturstudie om vattensystem där fyra olika alternativ undersöktes: konstgjord grundvattenbildning, regnvatteninsamling, avsaltning av havsvatten samt återanvändning av vatten. Den andra delen av arbetet bestod av att utveckla en metod för att välja det bästa vattensystemet för ett område med vattenbrist utifrån dess naturgivna och samhällsliga förutsättningar. Metoden värderade vattenkvalitet och smittskydd, systemets tekniska robusthet, miljö och resursanvändning, ansvars- och brukaraspekter, möjligheter till ombyggnad samt kostnader. Som beslutsverktyg användes multikriterieanalys (MKA). Den sista delen av examensarbetet var att testa metoden på ett fallstudieområde, Grisslehamn i Norrtälje kommun. Fyra systemalternativ för att tillgodose vattenförsörjningen i Grisslehamn jämfördes: avsaltning av havsvatten, utnyttja vatten från två sötvattendammar genom att bygga ett ytvattenverk, insamling av regnvatten på hushållsnivå samt insamling av BDT-vatten till en markbädd i kombination med att bygga ett ytvattenverk.

Resultatet från multikriterieanalysen visade att avsaltning av havsvatten som komplement till det befintliga vattenverket var det bästa alternativet för Grisslehamn följt av ytvattenverket, insamling av BDT-vatten och slutligen regnvatteninsamling. Ekonomi samt möjlighet till ombyggnad visade sig ha en betydande påverkan på om avsaltning av havsvatten eller ytvattenverket blev det bästa alternativet. Därför är det viktigt i eventuella framtida studier att noggranna förundersökningar av vattenkvalitet samt kostnader görs innan det verkligen fastställs vilket av de två alternativen som är bäst.

Nyckelord: avsaltning, BDT-vatten, konstgjord grundvattenbildning, Grisslehamn, multikriterieanalys, regnvatteninsamling, vattenförsörjning, vattenbrist

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet Geocentrum,
Villavägen 16, SE 752 36 Uppsala
ISSN 1401-5765*

Abstract

Sustainable water supply solutions for areas affected by water shortage

Erika Västberg

In some coastal areas in Sweden water shortage sometimes appears because the withdrawal of groundwater is greater than the groundwater recharge. It creates a situation where the available groundwater is insufficient to support residents and businesses with drinking water. The high withdrawal of groundwater also creates a risk for saltwater intrusion to drinking water wells. The problem most commonly occurs during the summer when the groundwater recharge is low, but the population is high, due to tourism and summer residents.

The purpose of this study was to investigate how local water supply in areas affected by water shortage can be solved as sustainable as possible. The work was divided into three parts where the first part comprised of a literature review on water systems in which four different options were investigated: artificial groundwater recharge, rainwater harvesting, desalination and water reuse. The second part of the work consisted of developing a method for choosing the best water supply solution based on nature-given and social conditions. The method evaluated the quality of the supplied water and disease control, technical robustness, environmental impacts and resource use, liability and user aspects, the possibility for rebuilding and costs. Multi-criteria analysis (MCA) was used as a decision tool. The last part of the thesis was to test the method on a case study area, Grisslehamn in Norrtälje. Four systems alternatives were compared: desalination of sea water, building a surface water treatment plant supplied by water from two nearby fresh water ponds, rainwater harvesting at household level and collection and central treatment of greywater in combination with the construction of a surface water treatment plant.

The results from the MCA showed that seawater desalination as a complement to the existing water plant was the best option for Grisslehamn followed by the surface water plant, collection of greywater and finally rainwater harvesting. Costs and possibility for rebuilding was shown to have a large impact on whether desalination or building of a surface water treatment plant was the best option. Therefore it is important in any future studies that detailed investigations of water quality and costs are done before decision is made on which one of the two alternatives that is the best solution for Grisslehamn.

Keywords: artificial groundwater recharge, desalination, greywater, Grisslehamn, multi-criteria analysis, rainwater harvesting, water shortage, water supply, wastewater reuse

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Sciences, Uppsala University
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala
ISSN 1401-5765*

Förord

Det här examensarbetet är det sista momentet i Civilingenjörsprogrammet i Miljö – och vattenteknik och omfattar 30 högskolepoäng. Examensarbetet var en del av ett utvecklingsprojekt där huvudprojektet leddes av Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) i samarbete med Urban Water Management och Utvecklingscentrum för vatten med finansiellt stöd från Jordbruksverket.Handledare har varit Erik Kärrman på Urban Water Management. Ämnesgranskare har varit Håkan Jönsson, professor vid Institutionen för energi- och teknik på Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Examinator har varit Allan Rodhe, professor vid Institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet.

Först och främst vill jag tacka alla i projektgruppen som kommit med värdefulla synpunkter och kommentarer under projektets gång, dessa är: Erik Kärrman, Frida Pettersson och Jane Hjelmqvist på Urban Water Management, Karin Sjöstrand och Nazdaneh Yarahmadi på SP och Amelia Morey Strömberg på Utvecklingscentrum för vatten. Jag vill även tacka min ämnesgranskare Håkan Jönsson för dina synpunkter, både om projektet och rapporten.

För att kunna genomföra fallstudien behövdes information om Grisslehamn, all den information som jag behövt under arbetets gång har jag fått med hjälp från Hanna Leife och Jessica Eisenring på bygg-och miljökontoret samt Martina Berg på vatten- och avloppsavdelningen på Norrtälje kommun, även ett stort tack till er!

Slutligen vill jag tacka Oskar, för att du stöttar mig i allt jag gör.

Erika Västberg

Uppsala, mars 2014

Copyright © Erika Västberg och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTec W14015, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2014.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Hållbar vattenförsörjning i områden med vattenbrist

Erika Västberg

Vattenbrist är något som fortfarande är relativt ovanligt i Sverige men som i många andra länder skapar stora problem. Det finns dock områden i Sverige, särskilt kustnära områden, där vattenbrist förekommer. Dessa områden består ofta av mark med dålig infiltrationskapacitet och därmed sämre möjligheter att lagra grundvatten. Under sommarmånaderna ökar antalet boende i många kustnära områden på grund av semesterboende och turister vilket leder till ett ökat vattenuttag. Bildningen av nytt grundvatten är som lägst på sommaren på grund av att en stor del av vattnet avdunstar istället för att infiltrera marken. Vattenuttaget är alltså som högst då grundvattenbildningen är som lägst. Är uttaget större än bildningen av grundvatten kan vattenbrist uppstå. Ett överuttag av grundvatten kan tillfälligt skapa hålrum i akviferer, där grundvatten normalt lagras, vilket leder till att saltvatten riskerar att tränga in och fylla ut hålrummen. Ett salt grundvatten skapar både hälsomässiga och tekniska olägenheter. Höga halter av salt gör att vattnet smakar dåligt och för mycket salt är dåligt för hälsan med risk för bland annat högt blodtryck. Saltvatten är dessutom korrosivt vilket betyder att metaller kan fällas ut från rör och ledningar och skapa en ännu sämre vattenkvalitet. Det är därmed viktigt att undvika att uttaget av grundvatten blir högre än bildningen och därmed behövs andra alternativ för att kunna tillgodose vattenförsörjningen när grundvattnet inte räcker till.

I det här examensarbetet har en litteraturstudie gjorts som syftade till att ta reda på vilka sätt andra länder där vattenbrist är vanligt förekommande, till exempel Jordanien, har löst problemet med vattenbrist. Det visade sig att i huvudsak fyra olika lösningar förekommer. Det första är konstgjord grundvattenbildning. Principen bakom konstgjord grundvattenbildning är att ta vatten från exempelvis en sjö, rena det något, och sedan tillföra det till grundvattnet. Det andra är regnvatteninsamling. Regnvatten samlas exempelvis från hustak eller hårdgjorda ytor, och används efter rening som dricksvatten. Den tredje lösningen är att avsalta havsvatten. Detta görs antingen genom att vattnet hettas upp, förångas och samlas in i rör och tunga partiklar, bland annat salter blir kvar, så kallad destillering. Det andra sättet är att låta vattnet passera genom ett membran som bara släpper igenom vattnet och lämnar kvar salterna på andra sidan av membranet, så kallad membranteknik. Det sista alternativet är att återanvända avloppsvatten vilket kräver många reningssteg, särskilt om blandat avloppsvatten används, det vill säga både klosettwater och BDT-water (water från bad, dusch och tvätt). Ett annat alternativ är att bara återanvända BDT-water, vilket kräver mindre rening då det innehåller betydligt mindre bakterier än klosettwater. I litteraturstudien undersöktes även hur ett hushåll kan minska vattenanvändningen genom tekniska lösningar såsom en snålspolande toalett eller dusch.

Utifrån litteraturstudien utvecklades en metod för att välja ett lämpligt vattenförsörjningsalternativ i ett område med vattenbrist. Metoden utgick från områdets samhällliga samt naturgivna förutsättningar. Samhällliga förutsättningar innefattade bland annat befolkningsmängd och nuvarande vattenförsörjning. Naturgivna förutsättningar innefattade information om tillgängliga råvattenkällor och nederbördsmängd. Tanken med metoden var att olika vattenförsörjningsalternativ skulle jämföras utifrån hållbarhetsfaktorer såsom hur bra de var ur smittskyddssynpunkt, energianvändning samt kostnader och utfallet skulle visa vilket system

som var bäst för ett specifikt område. Metoden testades på ett fallstudieområde, Grisslehamn i Norrtälje. Grisslehamn är ett kustnära område som framförallt har problem med vattenbrist under sommarmånaderna. De alternativ som togs fram för Grisslehamn var att bygga ett nytt vattenverk som kunde rena ytvatten från två befintliga dammar med sötvatten, det andra att avsalta havsvatten från Östersjön, det tredje att samla in regnvatten. Det fjärde alternativet gick ut på att bygga ett vattenverk som kunde rena ytvatten samt att samla in BDT-vatten från hushållen, rena vattnet i en markbädd och till sist släppa ut vattnet i en av dammarna för att undvika att dammarna torkade ut.

Resultatet visade att avsaltning av Östersjövatten var det lämpligaste alternativet för Grisslehamn följt av att bygga ett ytvattenverk. Regnvatteninsamling samt insamling av BDT-vatten visades vara två betydligt sämre alternativ. Det framgick även att kostnader spelade stor roll för om avsaltning av havsvatten eller byggnation av ett nytt ytvattenverk var det bästa alternativet. Det är därför viktigt att undersöka ekonomin noggrant samt ta vattenprover på havsvattnet från Östersjön samt ytvattnet från dammarna innan det helt går att utesluta att ett nytt ytvattenverk är ett sämre alternativ för Grisslehamn än att avsalta havsvatten.

Förkortningar

BDT – bad, dusch och tvätt

MF – Mikrofiltrering

MKA – Multikriterieanalys

NF – Nanofiltrering

RO – Omvänd osmos

RVI – Regnvatteninsamling

UF – Ultrafiltrering

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Syfte	2
2. Metod	3
2.1. Litteraturstudier om vattensystem	3
2.2. Skapa en metod för val av vattenförsörjningssystem i områden med vattenbrist	3
2.3. Testa metoden på ett fallstudieområde	3
3. Litteraturstudie om vattenförsörjning	4
3.1. Metoder för val av vattenförsörjningssystem	4
3.1.1. Multikriterieanalys	5
3.2. Vattenförsörjningsalternativ	5
3.2.1. Grundvattenanvändning	6
3.2.2. Regnvatteninsamling	10
3.2.3. Avsaltning av havsvatten	15
3.2.4. Återanvändning av vatten	21
3.3. Juridiska aspekter	26
3.4. Vattenbesparande teknik	27
4. Metod för val av vattenförsörjningssystem i områden med vattenbrist	29
5. Fallstudie	32
5.1. Områdesbeskrivning	32
5.1.1. Studiebesök Grisslehamn	33
5.1.2. Vattenförbrukningen i Grisslehamn	33
5.2. Val av kriterier för Grisslehamn	34
5.2.1. Kostnader för systemalternativen	34
6. Resultat	38
6.1. Viktning	38
6.2. Val av systemalternativ	39
6.2.1. Systemalternativ 1 - Ytvattenverk	39
6.2.2. Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO (RO)	39
6.2.3. Systemalternativ 3 – Regnvatteninsamling (RVI)	41
6.2.4. Systemalternativ 4 – Insamling av BDT-vatten (BDT)	41
6.3. Betygsättning	42
6.4. Resultat MKA	43
6.4.1. Känslighetsanalys	44
7. Diskussion	49
7.1. Litteraturstudie om vattenbrist	49
7.2. Metod	49
7.3. Fallstudie	50
7.3.1. Val av systemalternativ	50
7.3.2. Kostnader	52
7.3.3. Viktning	53
7.3.4. Betygsättning	53
7.3.5. Känslighetsanalys	55
7.3.6. Nytt eller gammalt vattenverk?	55
7.4. Vidare studier	56
8. Slutsats	57

Referenser	58
Bilagor	67
Bilaga 1. Svar på inventeringsfrågor, Grisslehamn.	67
Bilaga 2. Investeringskostnader	69
Bilaga 3. Motivering betygsättning	70

1. Inledning

Vattenförsörjning och tillgång till vatten är en avgörande faktor för bebyggelseutveckling. Vattenbristen har tidigare begränsat boendemöjligheter och befolkningstillväxten. I Sverige i områden som inte är anslutna till det kommunala VA-nätet blir vattenförsörjningen beroende av lokala förutsättningar och kan ibland bli kostsam eller otillräcklig. Vattentillgången varierar ofta beroende på säsong och om hänsyn även ska tas till eventuella klimatförändringar är det svårt att uppskatta vilka vattenförsörjningssystem som är hållbara i längden. Många av dessa områden utan kommunalt VA är fritidshusområden som i och med urbanisering och ökad mobilitet får en utökad andel hushåll med permanent boendestandard som ställer mycket högre krav på VA. Exempel på sådana omvandlingsområden är kustområden och skärgårdsöar där grundvatten oftast är den enda sötvattenkällan (Lång m. fl., 2006).

Kustområden i Sverige förknippas ofta med en terräng som till stor del består av hårt berg där grundvatten lagras i sprickor och hålrum i berget. Porositeten är låg vilket leder till att mängden grundvatten i kustområden är ganska liten. Mycket hårdgjorda ytor utan jordlager lämpliga för infiltration gör att avrinningen från berget blir stor och grundvattenbildningen liten (Olofsson & Rönkä, 2007). En låg grundvattenbildning i samband med höga uttag gör att risken för saltvatteninträngning ökar. Saltvatteninträngning innebär att det går att påvisa en kloridhalt i grundvattnet som är över bakgrundsvärdet på 50 mg/l (Lång m.fl.,2006). Överskrider kloridhalten 100 mg/l finns risk för korroderade ledningar och vid halter över 200 mg/l upplevs ofta vattnet även som salt. Att dricka vatten med hög salthalt är inte bara en olägenhet ur smaksynpunkt utan det är även hälsoskadligt då det ökar risken för högt blodtryck (Socialstyrelsen, 2006).

Grundvattenbildningen sker framförallt på våren under snösmältningen samt på hösten. På sommaren är grundvattenbildningen låg då en stor del av nederbörden avdunstar eller tas upp av växter. Många kustområden har en stor del fritidsboenden vilket gör att vattenuttaget blir som högst på sommaren då nybildningen av grundvatten är som lägst (Boman & Hanson, 2004). I många kustkommuner sker även en stor omvandling från fritidsboende till permanentboende vilket leder till en ökad VA-standard och därmed ett större vattenuttag. I en studie gjord av Länsstyrelsen i Stockholms län 2003 ökar saltvattenpåverkan i brunnar med ökad andel permanentboende. Även avstånd från havet samt brunnsdjup påverkar salthalten (Boman & Hanson, 2004) Många omvandlingsområden har också stora problem med dåliga avloppssystem vilket gör att näringsämnen och mikrober riskerar att förorena dricksvattnet. Detta i kombination med otillräckliga grundvattenmagasin gör att miljömålet ”Dricksvatten av god kvalitet” inte uppfylls (Lång m.fl., 2006).

Med utgångsläget att grundvattenmagasinet inte är tillräckligt som det ser ut idag kan vattenförsörjningen lösas på i huvudsak två olika sätt, eller genom en kombination av båda. Det första alternativet är att använda mer vatteneffektiva lösningar i bostaden eller återanvända vatten. Det andra alternativet är att hitta nya vattenkällor genom exempelvis avsättning av havsvatten eller att använda sötvatten som inte utnyttjats som vattentillgång tidigare, såsom regnvatteninsamling.

1.1. Syfte

Syftet med examensarbetet var att undersöka hur lokal vattenförsörjning i områden med vattenbrist kan lösas så hållbart som möjligt genom att ta fram en metod för val av vattensystem. Framtagande av metodik gjordes med hjälp av en föregående litteraturstudie med fokus på områden med vattenbrist. Avslutningsvis testades metoden på ett fallstudieområde.

2. Metod

Examensarbetet delades upp i tre delar, litteraturstudier om vattensystem, metod för val av vattenförsörjningssystem i områden med vattenbrist som sedan prövades på ett fallstudieområde.

2.1. Litteraturstudier om vattensystem

Information om vattenförsörjningssystem i områden med vattenbrist har sökts främst genom Uppsala universitetsbiblioteks söktjänst med begränsningen tidskriftsartiklar, samt Google Scholar. Först undersöktes vilka metoder som använts tidigare vid val av vattenförsörjningssystem, sedan undersöktes teori för multikriterieanalys. Utifrån artiklar om metoder för vattenförsörjning i områden med vattenbrist undersöktes sedan följande alternativ: konstgjord grundvattenbildning, regnvatteninsamling och avsättning av havsvatten. Även återanvändning av vatten och vattensnål teknik undersöktes. Litteraturstudien avslutades med ett kort avsnitt om juridiska aspekter som rör vattenförsörjningssystem.

2.2. Skapa en metod för val av vattenförsörjningssystem i områden med vattenbrist

Metodiken baserades på litteraturstudien med syfte att ge stöd till att välja det mest hållbara vattenförsörjningssystemet i ett område med vattenbrist baserat på:

- Naturgivna förutsättningar
- Samhälleliga förutsättningar
- Miljöaspekter
- Kostnader

Som beslutsverktyg användes multikriterieanalys (MKA).

2.3. Testa metoden på ett fallstudieområde

Metoden testades sedan på ett fallstudieområde, Grisslehamn i Norrtälje kommun. Detta gjordes genom insamling av data, information från litteraturstudien, studiebesök i Grisslehamn samt två workshop's med representanter från Bygg- och miljökontoret samt VA-kontoret i Norrtälje kommun samt projektgruppen där metoden diskuterades och modifierades.

3. Litteraturstudie om vattenförsörjning

3.1. Metoder för val av vattenförsörjningssystem

Det finns flera olika sätt att välja vattenförsörjningssystem. Hur många som ska använda VA-systemet, hur vattenanvändningen ser ut i det givna området idag och i framtiden skapar förutsättningarna för val av VA-försörjning (Wheida & Verhoeven, 2007). En generell arbetsmetodik för val av VA-system har tagits fram av Regionplane- och trafikkontoret i Stockholm läns landsting (RTK, 2001). Arbetsmetodiken består av tre delar, se figur 1. Resultatet från del ett blir de klarlagda förutsättningarna, resultatet från del två ger möjliga VA-system som sedan jämförs mot varandra i del tre som till slut leder fram till det eller de VA-system som är mest lämpliga i det givna området.

1. Inventering

1. Studiens avgränsning
2. Krav / policy
3. Nuvarande bebyggelse / framtida bebyggelsetryck
4. Nuvarande VA-förhållanden
5. Framtida vattenbehov
6. Naturgivna förutsättningar

2. Utformning

- Steg 1 – Bortsortering baserat på naturgivna förutsättningar
Steg 2 – Bedömning av Kapacitet / Kvalitet / Skala
Steg 3 – Förslag på VA-system

3. Utvärdering och jämförelse

- Vattenkvalitet / smittskydd
- Teknisk robusthet
- Resurshushållning inklusive kretslopp
- Miljöpåverkan
- Ekonomi
- Brukaraspekter
- Ansvar

Figur 1. Beskrivning av arbetsmetodiken vid val av VA-system i omvandlingsområden. Modifierad från RTK (2001).

I del två sorteras olämpliga vattenförsörjningsalternativ bort genom att studera platsens naturgivna förutsättningar. Vid bedömning av kapacitet, kvalitet och skala undersöks om vattentillgången räcker för att klara vattenbehovet, om vattenkvaliteten är tillräckligt hög, om alternativet är möjligt som enskild, gruppvis eller kommunal vattenlösning och om vattentäkten går att skydda mot avlopp eller andra föroreningskällor (RTK, 2001).

Att ansluta ett område till det kommunala VA-nätet borde används ofta som en jämförelse mot alternativ med lokala VA-lösningar. Om kommunalt VA inte är praktiskt eller ekonomiskt rimligt kan det finnas en poäng att kommunen ger så kallat aktivt stöd till fastighetsägare så att de själva eller gemensamt kan lösa VA-försörjningen, detta kallas VA-rådgivning. För att hitta det VA-system som fungerar bäst bör man börja med att ta reda på förutsättningarna för vattenförsörjning då det begränsar valet av avloppslösningar. (Törneke, m. fl., 2008)

3.1.1. Multikriterieanalys

Multikriterieanalys (MKA) är en metod som utvärderar olika val med hjälp av flera kriterier och är således en metod som kan användas för att välja ut ett lämpligt VA-system från flera olika alternativ där kriterierna till exempel kan vara miljöpåverkan, energiförbrukning och kostnad. Då val av VA-system innehåller både ekonomiska värden och svåråtgärdade värden såsom miljöpåverkan, ekologisk mångfald och eventuell påverkan på landskapet är MKA en lämplig metod (Hajkowicz & Higgins, 2006).

En MKA innehåller normalt följande steg (Hajkowicz & Higgins, 2006):

1. Välja beslutsalternativ
2. Välja kriterier
3. Välja prestationsmått, R
4. Ge vikter W , till de olika kriterierna
5. Ranka de olika åtgärderna
6. Göra en känslighetsanalys
7. Ta ett beslut om val av åtgärd

Det finns flera olika typer av MKA-metoder där den enklaste är en så kallad linjär additiv metod där varje kriterium, i där $i = 1 \dots N$, ges en poäng R . Varje kriterium får även en vikt W som normalt går mellan 0 och 1 som visar hur mycket ett visst kriterium påverkar beslutet. Slutbetyget för en viss åtgärd ges av summan av tilldelade poäng för ett visst kriterium multiplicerat med vikten, se ekvation (1) (Rosén m. fl., 2009).

$$\text{Slutbetyg} = \sum_{i=1}^N W_i R_i \quad (1)$$

Enligt Hajkowicz & Higgins (2006) är det ofta inte valet av MKA-teknik som avgör hur bra utfallet blir eftersom mer komplicerade MKA-metoder kan leda till att beslutsfattaren blir förvirrad. Det är viktigare att göra ett bra förarbete med goda val av kriterier, val av beslutsalternativ och val av vikter.

3.2. Vattenförsörjningsalternativ

Vattenförsörjningen i Sverige idag utgörs till 50 % av ytvatten och till 50 % av grundvatten, där ungefär hälften är naturligt grundvatten och hälften är konstgjort grundvatten (Hanson, 2000). I Sverige använder vi ungefär 160 liter vatten per person och dag (tabell 1, Svenskt vatten, 2013). Som framgår ur tabellen används endast 10 liter, det vill säga 6 % av den totala vattenanvändningen till mat och dryck. Det är enbart detta vatten som egentligen skulle behöva uppnå dricksvattenkvalitet. Räknas även disk med i denna kategori blir andelen 25 %, 75 % av vår vattenanvändning behöver då egentligen inte ha dricksvattenkvalitet. Detta gör att det i teorin kan ställas lägre krav på hygienisk och kemisk säkerhet för en stor andel av den totala vattenmängden som används.

Tabell 1. Genomsnittlig dricksvattenanvändning i Sverige per person och dag (Svenskt vatten, 2013).

Användningsområde	Vattenanvändning (l)
Matlagning och dryck	10
Disk	30
Tvätt	20
Toalettspolning	30
Personlig hygien	60
Övrig användning	10
Totalt:	160

3.2.1. Grundvattenanvändning

Grundvatten är den vanligaste dricksvattenkällan vid enskilda vattentäkter. Vattnet tas upp från brunnar ofta utan något reningssteg vilket gör att känsligheten för eventuella föroreningar blir väldigt stor. Vid brunnsborrning är det alltså viktigt att tänka på att placera brunnen uppströms från exempelvis enskilda avlopp för att undvika föroreningar. Bäst skydd uppnås vid djupborrade brunnar i fast berg eller tätande leror. Grävda brunnar som placeras i grunda jordlager eller berg med mycket sprickor och ett tunt jordlager har en högre risk för föroreningar än djupborrade brunnar. Däremot ökar risken för att få saltvatten i djupborrade brunnar (Socialstyrelsen 2006). Vattentillgången i en djupborrad brunn beror på bergets sprickighet i kristallint berg och porositet i sedimentärt berg och det är svårt att bedöma eventuella föroreningskällor då tillrinningsområdet är svårt att uppskatta. Grävda brunnar blir extra känsliga för grundvattenförändringar då de är anlagda i ytliga grundvattenmagasin. Föroreningsrisken ökar därmed vid torra eller då grundvattennivån är hög som efter snösmältningen (Socialstyrelsen, 2006).

Konstjord grundvattenbildning

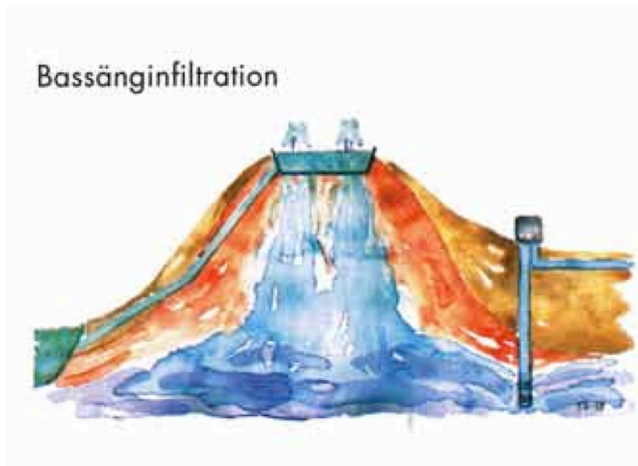
Om grundvattenuttaget är större än grundvattenbildningen finns risk för vattenbrist men även saltvatteninträngning (Lång m.fl., 2006). En metod för att fylla på grundvattenmagasinet och minska risken för saltvatteninträngning är så kallad konstjord grundvattenbildning. Metoden går ut på att samla upp ytvatten i bassänger, fåror, diken eller andra anläggningar och sedan låta det infiltrera marken och fylla på grundvattenakviferen (Bouwer, 2002). Ytvatten innehåller ofta en del organiskt material, bakterier, virus och andra mikroorganismer. Genom konstjord grundvattenbildning kan ytvatten renas genom enkla och billiga metoder samtidigt som det bidrar till att öka hastigheten på grundvattenbildningen (Spandre, 2009).

Ytvattenkällor

Det är viktigt att identifiera vilka ytvattenkällor som finns tillgängliga och i hur stora mängder. De vattenkällor som kan tänkas användas till konstjord grundvattenbildning är till exempel outnyttjade ytvattentäkter och vatten från sjöar och andra vattendrag såsom bäckar, om dessa kan avledas. Även nederbörd kan användas till konstjord grundvattenbildning genom uppsamling vid infiltrationsanläggningen. Tillförsel kan även ske genom uppsamling på andra hårdgjorda ytor. Det uppsamlade vattnet transporteras via ledningar eller tankar till infiltrationsanläggningen (Yadav m.fl., 2012).

Infiltrationsanläggningar

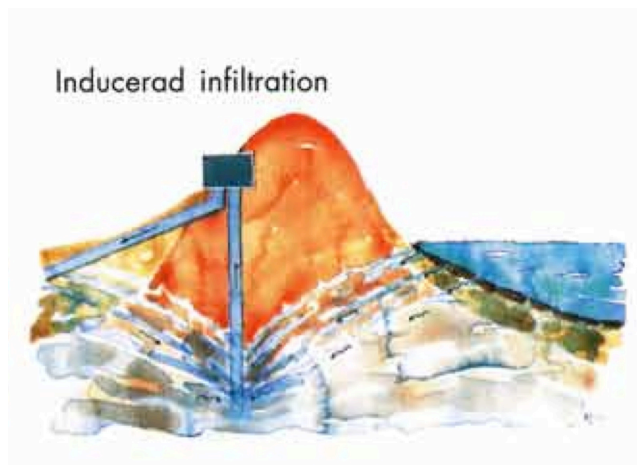
Bassänginfiltration är den vanligaste infiltrationsmetoden i Sverige och även internationellt. Bassänginfiltration går ut på att ytvatten från en sjö eller ett vattendrag leds till bassänger där det sedan får infiltrera. Systemet består av själva bassängen med en filterhud (biohud) i ytskiktet på botten, en filterbädd som består av sand där den översta decimetern har en hög mikrobiell aktivitet. Under filterbädden finns naturliga jordlager som är omättade och till sist grundvattenzonen (figur 2). I det naturliga jordlagret tar vattnet upp mineraler såsom magnesium, kalcium och kalium. Dessutom ökar pH, hårdhet och alkalinitet (Hanson, 2000). Ett sätt att ytterligare öka pH, alkalinitet och hårdhet är även att tillföra kalk till filterbädden (Frycklund, 1994).



Figur 2. Bassänginfiltration. Ytvatten leds till bassängen (som luftas) och infiltrerar genom en filterhud. Vattnet leds sedan genom en mikrobiellt högaktiv zon av filterbädden innan vattnet passerar genom resten av filterbädden som består av sand. Till sist når vattnet grundvattennivån. (Hanson, 2010) *Illustration: Karin Blombergsson, med tillstånd från Svenskt vatten.*

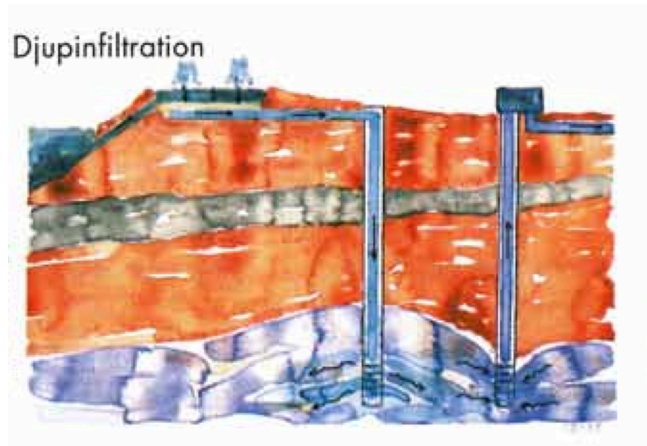
Om det översta jordlagret har dålig infiltrationskapacitet kan infiltration i den omättade zonen ske istället för i en bassäng ovanför markytan. Detta görs genom att ett dike grävs och fylls med grus och sand och vattnet rinner ner från ett perforerat rör som sitter i mitten av diket. För att undvika luft i systemet tillförs vattnet i ett mindre rör i det stora perforerade röret. Infiltration i den omättade zonen är en relativt billig metod men det finns en stor risk att sanden fylls igen av suspenderat material och biomassa. Därför är det bra med någon typ av förbehandling av vattnet innan det når diket (Bouwer, 2001).

Den näst vanligaste infiltrationsmetoden i Sverige är inducerad infiltration med råvatten från sjöar eller älvar. Vattnet passerar då genom strand och bottensediment, finsediment och till sist grovsediment innan det når grundvattenzonen, se figur 3. Vattnet pumpas sedan upp från grundvattenzonen. Till skillnad från bassänginfiltration är ofta miljön syrefri vilket kan orsaka att järn och mangan löses ut i vattnet (Hanson, 2000).



Figur 3. Inducerad infiltration. Ytvattnet passerar först strand- och bottensediment, sedan finsediment, grovsediment och når till sist grundvattenzonen, därifrån pumpas sedan vattnet upp och leds vidare. (Hanson, 2010) *Illustration: Karin Blombergsson, med tillstånd från Svenskt vatten.*

En annan metod som används i Sverige är djupinfiltration. Djupinfiltration används då marken består av täta jordlager så att infiltration inte kan ske från markytan, istället sker infiltrationen av förbehandlat ytvatten i brunnar. Principen går ut på att vattnet pumpas från en ytvattentäkt till en infiltrationsanläggning, till exempel långsamfiltrering. Sedan leds vattnet till en borrade brunn strax under markytan där vattnet sedan kan rinna ner mot grundvattenzonen, se figur 4 (Hanson, 2000).



Figur 4. Djupinfiltration, lager. Ytvattnet pumpas till en bassäng (som luftas) och passerar sedan genom ett långsamfilter. Vattnet pumpas sedan till en brunn som är borrade genom finsediment ner till grundvattenzonen. (Hanson, 2010) *Illustration: Karin Blombergsson, med tillstånd från Svenskt vatten.*

Markens hydrogeologiska och fysikaliska förutsättningar

Porstorleken hos jorden är det som påverkar infiltrationskapaciteten mest. Om de översta jordlagren har dålig infiltrationskapacitet bör de tas bort så att anläggningens botten innehåller mer genomsläpplig jord. Den omättade zonen i marken bör vara fri från lera och andra material med dålig hydraulisk konduktivitet (Bouwer, 2001). Att odla ovanpå infiltrationsanläggningen kan vara en bra metod för att öka infiltrationskapaciteten i områden som har en naturligt dålig

infiltrationskapacitet (Yadav m.fl., 2012). Ett annat sätt att förstärka infiltrationen är genom att gräva diken och schakt (Bouwer, 2001). I Sverige används normalt isälvsavlagringar för infiltration av grundvatten (Hanson, 2000).

Infiltrationshastigheten är även beroende av vattnets viskositet som beror på temperaturen. Om det är stora skillnader mellan sommar och vintertemperatur kan variationen i vattnets viskositet göra att infiltrationskapaciteten är upp till 50 % lägre på vintern. Detta gör att dimensioneringen av anläggningen bör göras efter infiltrationskapaciteten på vintern (Bouwer, 2001). Det finns även risk för termisk skiktning av vattnet då densiteten ökar med sjunkande temperaturer, och därför rekommenderas det att vattnet som infiltrerar är varmare än grundvattnet. Även den mikrobiologiska aktiviteten minskar med minskande temperatur ner till 4 °C (Spandre, 2009). Detta gör att den organiska avskiljningen är högre på sommaren än på vintern (Frycklund, 1994).

Ett sätt att ta reda på markens infiltrationsförmåga är att använda spårämnen såsom klorid och ta prover på olika ställen i infiltrationsanläggningen. Detta ger en indikation på infiltrationshastigheten och kan användas för att avgöra om den är tillräckligt långsam för att vattnet ska hinna renas tillräckligt (Frycklund, 1994). Infiltrationshastigheten kan till exempel vara mindre än 0,1 m/d för leror och över 10 m/d för grovkornig sand (Bouwer, 2001). Innan en infiltrationsanläggning byggs är det viktigt att göra en hydrogeologisk undersökning för att ta reda på platsens förutsättningar. Om området till exempel har isälvsavlagringar men det finns skikt av finsediment såsom lera kan infiltrationsvattnet transporteras en annan väg än det var tänkt och risk finns att vattnet tränger upp på ställen där det inte var planerat (Hanson, 2000).

Vanliga föroreningar

Ytvatten innehåller ofta höga halter av mikroorganismer och organiskt material. Ytvatten kan även innehålla föroreningar från bland annat jordbruk och industri (Spandre, 2009). Mycket renas redan i biohuden där bakterier, virus samt järn och mangan samlas upp. Ytterligare avskiljning av organiskt material sker sedan i filterbädden. Det är viktigt att infiltrationsvattnet får tillräcklig tid i den omättade zonen och att filterbädden inte blir mättad, då ett mättat flöde minskar tillgänglig tid för mikrobiell nedbrytning på grund av att perkolationshastigheten blir för hög vilket ökar risken för förorening av grundvattnet. En mättad zon i infiltrationsytan kan även medföra risk för syrebrist varför järn och mangan kan lösas ut (Hanson, 2000). Ju lägre belastning bassänginfiltrationen har, desto längre tid tar innan sanden sätts igen. Låg belastning minskar även risken för att flödet blir mättat (Frycklund, 1994).

Vid inducerad infiltration är det viktigt med efterbehandling då järn och mangan ger färgförändringar samt kan orsaka tekniska problem i ledningar i form av utfällningar (Hanson, 2000).

Underhåll

Det finns risk för igensättning av sandlagren på grund av mikrobiell tillväxt, särskilt om ytvattnet har en hög organisk halt. Detta kan förhindras genom att förbehandla vattnet och att ibland låta systemet torka så att det igensatta lagret får sprickor. Ibland kan det även bli nödvändigt att ta bort det igensatta lagret och ersätta det med nytt (Bouwer, 2002). För att göra processen enklare kan även ett filter vid ytan av anläggningen installeras som gör det lättare att avlägsna det igensatta lagret när det krävs. Ibland kan det även behövas tillförsel av kemikalier och organiskt material till det översta lagret (Yadav m.fl., 2012).

Kostnader

Kostnaden för en infiltrationsanläggning vid konstgjord grundvattenbildning är svår att uppskatta då den varierar beroende på bland annat vattenkvalitet och val av sand. Är ytvattnet av dålig kvalitet behöver sanden bytas oftare. Vid användning av ytvatten blir ofta avskiljningen av organiskt material en viktig kostnadsfråga. Om vattnet innehåller en stor andel organiskt material behöver sanden bytas ut oftare. Genom att lägga till ett filter av järnoxidtäckt olivinmaterial i filterbädden med filtersand ovanpå ökar avskiljningen av organiskt material upp till 40 % istället för 5 % vid användning av vanlig filtersand. Detta visades i ett försök gjort av VA-forsk år 2004. De uppskattade kostnaden för ett fall med bassänginfiltration där den hydrauliska belastningen var $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ och det järnoxidtäckta olivinmaterialet var 0,3 meter djupt till 0,44 SEK/ m^3 . Då räknade de med att filtermaterialet skulle hålla fem år. Detta var dock bara ett forskningsförsök (Berggren m.fl., 2004).

Förutom kostnad för sand, eventuella kemikalier och filter tillkommer även kostnader för byggande av bassäng, och vid inducerad infiltration kostnaden för att gräva en brunn samt kostnader för tillstånd om detta krävs.

3.2.2. Regnvatteninsamling

Regnvatteninsamling (RVI) har använts som vattentillgång i tusentals år (Abdulla & Al-Shareef, 2009). RVI är särskilt bra i kustområden där saltvatteninträngning i grundvatten är ett problem. RVI ger ett vatten med god kvalitet och hjälper samtidigt till att minska salthalten i grundvattnet (Kinkade-Levario, 2007). Vattnet kan samlas in på bland annat hustak och sedan förvaras i dammar och reservoarer. Regnvatteninsamling är en relativt enkel och billig metod (Abdulla & Al-Shareef, 2009).

RVI-system bidrar till att göra områden oberoende av kommunal vattenförsörjning vilket ökar självständigheten. Dessutom ökar det medvetenheten hos användaren, då det blir lättare att se hur mycket vatten som används och därmed göra ett eget val att förbruka mindre vatten (Villarreal & Dixon, 2004).

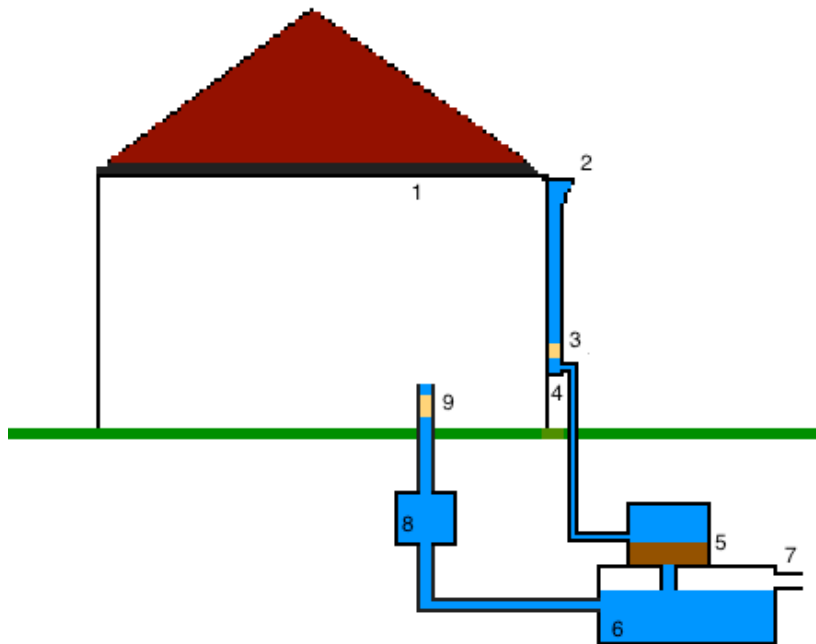
Ett RVI-system består vanligen av följande komponenter (Kinkade-Levario, 2007) (figur 5):

1. Ett uppsamlingsområde, som exempelvis kan vara ett hustak eller mark preparerad med ogenomtränglig beläggning.
2. Ett transportsystem, stuprör och hängrännor om uppsamlingsområdet är ett tak, eller kanaler och rör om uppsamlingen sker på marknivå.
3. Någon typ av tvätt för att minska risken för att löv, fågelspillning barr etc. följer med regnvattnet.
4. En uppsamlingstank som kan placeras ovanför eller under marken.
5. Distribution av vattnet genom antingen gravitation eller pumpning.
6. Reningssystem, exempelvis förfiltrering och sandfiltrering innan vattnet når uppsamlingstanken och sedan efterfiltrering innan distribution till hemmet sker, samt någon typ av desinfektion för att förhindra biofilm och få bort patogener. Detta är särskilt viktigt om vattnet ska användas som dricksvatten.

På ett tak kan ofta mycket skräp i form av barr och löv hamna. När det första regnet kommer finns det därmed risk att skräpet följer med och förorenar vattnet. Ett sätt att undvika detta är dels att ha ett större nät i stuprören precis före uppsamlingstanken samt precis efter och även ha en avledare som fylls med det första uppsamlade regnvattnet. När avledaren är fylld med vatten kan det resterande vattnet rinna vidare, skräpet blir kvar i botten av röret och kan sedan rensas bort (Texas Water Development Board, 2005). Avdelaren bör samla upp de första 20-25 literna, om inte en automatisk avdelare används kan ett avtagbart rör användas (WHO, 2011).

Filtrering som kan användas när vattnet ska användas som dricksvatten är filtrering med aktivt kol, sandfiltrering (gärna en kombination av snabb och långsam sandfiltrering), omvänd osmos och nanofiltrering (Kinkade-Levario, 2007).

Under svenska förhållanden bör förvaringstankar som ligger under mark användas då de är mer skyddade mot väder (Environment Agency, 2010).



Figur 5. Enklare skiss över ett regnvatteninsamlingssystem. Regnet samlas in i takrännor längst hustaket (1) och transporteras sedan vidare till en sidotakränna (2), vattnet passerar sedan igenom ett filter eller ett finmaskigt nät (3) som fångar upp skräp såsom löv och barr, sedan finns en avdelare alternativt ett avtagbart rör där skräp som inte fastnat i filtret samlas (4), den ska gå att tömma, liksom filtret. Ytterligare rening kan ske genom att installera ett sandfilter (valfritt) (5) innan det når uppsamlingstanken (6), då tanken är full rinner överflödigt vatten ut vid (7). Vattnet pumpas sedan upp till huset (8) och efter detta kan ännu ett filter placeras (9). Efter (9) kan sedan vattnet antingen prepareras med klor eller någon annan desinfektionsmetod innan det går vidare till ledningar i huset. Många system har ingen desinfektion på slutet. Vattnet kan då användas till allt utom dricksvatten såsom toalettspolning, tvätt, bevattning etc. (Modifierad från Wikimedia commons, 2010)

Genererad vattenmängd från ett RVI-system

Hur mycket vatten som kan samlas in beror på årsnederbörden, storleken på uppsamlingsområdet samt avrinningskoefficienten (ϕ) för uppsamlingsområdet. Viss förlust sker även i transport-systemet (Li m.fl., 2010). I en studie från Irland antogs att avrinningskoefficienten var mellan 0,7 och 0,9 (Li m.fl., 2010). Ett lutande tak med tegel har en avrinningskoefficient på 0,8 (Environment Agency, 2010).

Hur stor mängd vatten som kan samlas upp ges av V i ekvation (2) (Abdulla & Al-Shareef, 2009).

$$V = \frac{(P \cdot A \cdot \phi)}{1000} \quad (2)$$

Där:

V är den totala uppsamlade vattenvolymen (m^3)

P är årsnederbörden (mm)

A är arean på uppsamlingsområdet (m^2)

ϕ är avrinningskoefficienten

Ett riktmärke som används i Storbritannien vid dimensionering av förvaringstanken är att den bör rymma 5 % av den årliga regnvattentillgången alternativt 5 % av det årliga vattenbehovet beroende på vilken som är lägst. Ett annat sätt att dimensionera tanken är att använda modellering av ett RVI-system (Fewkes, 2012).

I en artikel om kvarteret Ringdansen i Norrköping antas det att ett RVI-system inte kan samla in vatten under vintermånaderna som i artikeln antas vara december-februari om det är i form av snö. Detta minskar mängden vatten som teoretiskt sett kan samlas in under ett år (snö kan till exempel blåsa bort) förutsatt att det är snö under dessa månader (Villarreal & Dixon, 2004).

Exempelberäkning

Om årsnederbörden i ett område är 700 mm, den totala uppsamlingsarean 100 m^2 och ϕ är 0,7 blir mängden uppsamlat vatten:

$$V = \frac{700 \cdot 100 \cdot 0,7}{1000} = 49 \text{ m}^3$$

Detta går att jämföra med tabell 1, där en familj på två personer har en total årsvattenförbrukning på:

$$\text{Vattenförbrukning} = \frac{160 \cdot 365 \cdot 2}{1000} = 116,8 \text{ m}^3$$

Vilket betyder att ett regnvattensystem skulle kunna bidra med 41 % av det totala vattenbehovet för tvåpersonshushållet.

Volymen på förvaringstanken bör utifrån 5 % dimensionering i detta exempel vara 2,45 m^3 .

Vanliga föroreningar och reningsmetoder

RVI-system i urbana områden löper stor risk att kontamineras med föroreningar från trafik och industrier och på landsbygden är det vanligt med föroreningar från jordbruket i form av gödningsmedel och bekämpningsmedel då dessa kan spridas med vinden och sedan följa med nederbörden (Sazakli m.fl., 2007). Det är vanligt med föroreningar på uppsamlingsområdet i form av fågelspillning, särskilt om det är ett tak. Detta leder till mikrobiell kontaminering i form av bland annat *E.coli* men även *Cryptosporidium* och *Salmonella* kan påvisas även om det är ovanligt, och förekomsten av patogener är ofta vanligare i obehandlat ytvatten. Att spola av taket regelbundet eller leda bort det första regnet som faller kan därmed vara en bra metod för att minska risken för kontaminering (WHO, 2011). Detta minskar också risken för bakterietillväxt i rör, ledningar och i uppsamlingstanken (Herbert & Erikson, 2009). Flera studier visar på att vattenkvaliteten i utloppet av förvaringstanken är bättre än i inloppet då en del av föroreningarna såsom tungmetaller sedimenterar och lägger sig på botten av tanken. Biofilmen som bildas ovanpå vattenytan eller i sandlagret adsorberar även patogener och organiskt material (Villarreal & Dixon, 2004).

Regnvatten kan ibland vara lätt surt med ett pH under 7 (IVL, 2011). Det finns därmed en risk att regnet kan lösa upp tungmetaller eller andra orenheter på uppsamlingsområdet, i ledningar eller i förvaringstanken (WHO, 2011). Att välja kemiskt inerta material är att föredra för att undvika detta, exempelvis tak gjorda av tegel och rör gjorda av glasfiber eller aluminium (Abdulla & Al-Shareef, 2009). Surt regn kan även behöva neutraliseras till exempel genom att blanda ner natriumkarbonat (bakpulver) i vattentanken, då rekommenderas ungefär tre teskedar bikarbonat till 1000 liter vatten. Även lagring i en tank gjord av betong kan öka pH:t något (Texas Water Development Board, 2005).

På grund av risken för kontaminering av fekalier samt risken för bakterietillväxt krävs någon form av desinfektion om vattnet ska kunna användas som dricksvatten. Den vanligaste desinfektionsmetoden är klorering. Klor sätts till vattnet efter att det lämnar uppsamlingstanken. Om detta görs i tanken kan det reagera med organiskt material i uppsamlingstanken och bilda restprodukter som samlas på botten av tanken (Li m.fl., 2010). Att använda solenergi som desinfektion är en annan metod som kan vara användbar i länder med mycket sol. Metoden går ut på att desinficera vatten med enbart solljus. De flesta patogener såsom *E.coli* dör när vattentemperaturen når 50°C och är fullt syresatt. Om andelen suspenderat material i vattnet är över 10 mg/l blir dock effekten begränsad (Li m.fl., 2010). Andra desinfektionsmetoder som kan användas är UV-lampor, ozonbehandling eller kokning av vattnet (Kinkade-Levario, 2007).

Underhåll

Enligt WHO (2011) bör vattenkvaliteten kontrolleras regelbundet och det som främst bör studeras är om vattnet innehåller *E.coli* eller andra patogener. Om vattnet vid något tillfälle kommer i kontakt med metaller bör det även undersökas om vattnet innehåller zink, bly och andra tungmetaller. Även pH bör mätas, speciellt om en ny förvaringstank börjar användas då en ny betongtank exempelvis inte har samma neutraliserande förmåga. Det är även viktigt att regelbundet rengöra uppsamlingsyta, rör och ledningar samt förvaringstank och kontrollera eventuella läckor.

För regnvatten som även används som dricksvatten kan även filter användas i kombination med de desinfektionsmetoder som beskrivs ovan, för att reducera mängden patogener i vattnet.

Underhållet av dessa är relativt lätt då det bara är att byta filter när det är igensatt, alternativt installera ett backspolningssystem. För desinfektion är det bara att följa rekommendationer om exempelvis hur ofta vattnet behöver kloreras eller UV-lampan bytas (Texas Water Development Board, 2005).

Kostnader

Ett RVI-systems kostnader kan delas upp i kapital, underhåll och driftskostnader. I en studie från Storbritannien har den totala livscykelkostnaden för 3840 RVI-system simulerats för enskilda hushåll med en till fem personer. Jämförelse av kostnader gjordes mot kostnaden för kommunalt vatten. RVI-systemen inkluderade ett uppsamlingsområde, grovfiltrering för att få bort skräp, en förvaringstank och en pump och RVI-systemet skulle inte användas som dricksvatten utan till toalettspolning, tvättmaskin, diskmaskin och bevattning. I studien beräknades installationskostnad samt kostnaden för ett komplett system som kunde lagra mellan 1,2 och 15 m³ vara 2500 till 5500 pund. Det vill säga ungefär 27000 SEK för det minsta systemet och nästan 60000 SEK för det största systemet (Roebuck, 2010). Detta är något dyrare än den beräknade kostnaden från en studie på Irland där ett regnvattensystem med lagringskapacitet på 1,5 m³ till 10 m³ beräknades kosta mellan 1500 och 4000 pund, det vill säga mellan 16000 och 43000 SEK, inklusive installation (Li m.fl., 2010).

Studien i Storbritannien visade att skillnaden i livscykelkostnad för ett RVI-system jämfört med vatten från kommunala VA-nät var lika med kapitalkostnaden för RVI-systemet (det vill säga installationskostnaden för RVI-systemet). Om ett hushåll enbart behöver betala underhålls- och driftkostnader ökade sannolikheten att ett RVI-system skulle bli billigare än kommunalt VA för användaren (Roebuck, 2010). Även en studie från Virginia i USA visade att kostnaden för ett RVI-system är högre än att få vatten från kommunala VA-ledningar men att ett bidrag till byggnation och installation gör att ett RVI-system blir mer fördelaktigt (Hicks, 2008). Det bör tilläggas att dessa studier räknar med att kommunala VA-ledningar redan är installerade och därmed är inte kostnaden för att dra nya ledningar till dessa områden inräknad.

Förutom underhållskostnader tillkommer även driftskostnader, då framförallt energikostnaden för pumpen. Kostnaden beror på förbrukningen i kilowatt (kW), antal timmar pumpen är igång samt elpriset (Zuo m.fl., 2010). För ett system där vattnet även ska användas som dricksvatten tillkommer kostnader för desinfektion samt filtrering. Den billigaste kombinationen är ett så kallat patronfilter (Cartridge filter) kombinerat med manuell klorering. För dricksvatten rekommenderas även att testa vattenkvaliteten kvartalsvis och kostnader för detta tillkommer därmed också (Texas Water Development Board, 2005).

Kostnader för RVI-system i Sverige

Det är svårt att hitta information om kostnader för ett RVI-system i Sverige då metoden är ovanlig. För ett storskaligt projekt i Norrköping med en vattentank på 20 m³ som skulle försörja 1100 bostäder med vatten till snålspolande toaletter (1 liter per spolning) och tvätt beräknades kostnaden bli 66000 SEK för förvaringstanken (Villarreal & Dixon, 2004).

Endast en återförsäljare har hittats som säljer regnvatteninsamlingssystem i Sverige. Systemet går att använda året runt. Två filter sitter vid intaget till tanken som reducerar suspenderat material

med minst 92 % och tungmetaller samt koppar och zink med ungefär 70-80 %, ett lager i filtret består av kalcium för att höja pH-värdet på vattnet (Andreasson, pers. medd. 2014). Vattnet kan, efter insamlingen användas till allt utom dricksvatten, det vill säga bad, dusch och tvätt. Systemet saknar ett så kallat "first flush device" vilket gör att allt skräp fångas upp av de två filtren. Att installera deras RVI-system kostar mellan 35000 och 50000 kronor för ett system med en förvaringstank på 2 m³. Kostnaden för en 3 m³ tank blir ungefär 3000 kronor större och för en 4 m³ tank blir kostnaden ungefär 8000 kronor större. Filtren som sitter ovanför tanken bör bytas en gång per år och nya filter kostar ungefär 300 kronor styck. Själva systemet har en livslängd på 20 år eller mer (Andreasson, pers. medd. 2014).

I ett telefonsamtal med en återförsäljare på RVI-företaget rekommenderades att privatpersoner installerar ett RO-system under vattenkranen som ska användas för dricksvatten för att rena till dricksvattenkvalitet. Detta är något som man får göra på egen hand (Andreasson, pers. medd. 2014). Systemen kostar runt 2000 kronor och har normalt en kapacitet på 180 liter per dag. Trycket i ledningarna bör ligga mellan 2,5 och 6,9 bar. Om det inte gör det behövs en pump som höjer trycket innan vattnet passerar genom membranet (Home Water Purifiers & Filters, 2013). Ett problem med denna lösning är dock att pH-värdet och mineralvärdet sjunker ytterligare med en RO-behandling, samt att systemet behöver installeras vid varje kran där vattnet ska kunna användas som dricksvatten. Det finns mineralfilter som kan installeras efter RO-systemet för att höja mineralhalten och pH-värdet efter RO-filtreringen. Energianvändningen, förutsatt att trycket i ledningarna är tillräckligt högt är väldigt låg, pumpen som används för att pumpa upp vattnet från RVI-tankens har en effekt på cirka 0,4 kW (Andreasson, pers. medd. 2014).

Övrigt

Regnvatten saknar viktiga mineraler såsom kalcium, magnesium och järn och detta gör även att regnvatten är smaklöst (WHO, 2011). För att förbättra mineralbalansen kan till exempel ett mineralfilter användas som justerar pH, hårdhet och smak (Afflux Water, 2013).

Ett RVI-system bör kombineras med vattenbesparingsåtgärder såsom snålspolande toaletter för att spara så mycket vatten som möjligt (Villarreal & Dixon, 2004).

3.2.3. Avsaltning av havsvatten

Avsaltning är en metod som har använts mer än ett halvt sekel för att få dricksvatten i områden med vattenbrist (Miller 2003). Generellt går avsaltning av havsvatten till på följande sätt: saltvatten delas upp i två vattenflöden, ett flöde med färskt vatten utan, eller med låga halter av salt, och ett flöde med hög saltkoncentration, saltslam. För att åstadkomma detta krävs någon form av energi (Khawaji, 2007). De flesta tekniker som används för att avsalta havsvatten kan delas upp i två kategorier, membranteknik och termisk teknik (Sadzadeh & Mohammadi, 2007). De vanligaste teknikerna för att avsalta havsvatten idag är membrantekniken omvänd osmos (RO) och de termiska metoderna Multi-Stage-Flash (MSF) och multi-effekt destillering (MED) (Fritzmänn m.fl., 2006).

En avsaltningsanläggning innehåller vanligtvis följande steg (WHO, 2007):

1. Vattenintag
2. Förbehandling som genererar restprodukter

3. Avsättning som genererar restprodukter i form av bland annat saltslam
4. Efterbehandling
5. Distribution och förvaring

Beroende på vattenkvaliteten och val av avsättningsteknik krävs olika typer av förbehandlingssteg, och efterbehandlingssteg. Efterbehandlingen av vattnet ser ungefär likadan ut för termisk teknik och membranteknik. Efter avsättningsprocessen har vattnet ofta lågt mineralinnehåll, alkalinitet och pH, detta behöver åtgärdas genom re-mineralisering, stabilisering genom tillsats av karbonater för att höja alkalinitet och pH samt någon typ av desinfektion. Vattnet kan även behöva renas från specifika föroreningar som är svåra att få bort i avsättningsprocessen såsom bor och kisel (WHO, 2007).

Salthalten skiljer sig också stort mellan bräckt vatten och havsvatten. Kloridhalten hos bräckt vatten ligger normalt mellan 2000 – 10 000 mg/l och för havsvatten kan den ligga över 35 000 mg/l (Prominent, 2013). Riktvärdet i Sverige för dricksvatten ligger på 100 mg/l då hastigheten för korrosionsangrepp börjar öka (Socialstyrelsen, 2006) vilket gör att ett bräckt vatten behöver renas från salt till 95-99 % och havsvatten upp till 99,7 %.

Termisk teknik

Den vanligaste typen av termisk teknik är Multi-Stage-Flash (MSF). MSF är en metod som använder snabbförångning genom att reducera trycket snarare än att höja temperaturen. Avsättningen sker i steg där vattnet passerar genom flera kammare (Khawaji, 2007). Förångnings- och avdunstningsstegen är kopplade så att den latent värmen från förångningen används för att värma upp inkommande vatten och på så sätt sparas energi (Miller 2003). Processen börjar med att det inkommande vattnet värms upp till mellan 97 och 117 °C och passerar sedan igenom en kammare i taget (El-Dessouky m.fl., 1999). Det inkommande vattnet till varje kammare kommer alltid att ha en något högre temperatur än omgivningen varför en del av vattnet kommer att förångas. Ångan som bildas i varje kammare kyls ner av rör som innehåller kallt havsvatten och samlas sedan upp i en kondensator-uppsamlare. Den latent värmen som bildas då vattenånga kondenserar används för att värma upp det inkommande havsvattnet (Khawaji, 2007). För varje steg blir vattnet något svalare, detta gör även att trycket minskar. Det kvarvarande saltvattnet drivs alltså framåt till nästa kammare på grund av tryckskillnaden utan att någon pumpning behöver göras (El-Dessouky m.fl., 1999). Mängden vattenånga som fås i varje kammare beror på vilket tryck som upprätthålls i varje steg, ju större skillnad i varje steg, desto mer vatten förångas. Destillationshastigheten beror även på antalet kammare, ju fler kammare processen innehåller, desto mer vattenånga genereras. Hur många kammare som används blir i första hand en ekonomisk fråga, ju fler kammare, desto dyrare blir det (Khawaji, 2007).

Multi-effekt destillering (MED) är en annan vanlig termisk metod som fungerar ungefär likadant som MSF. I varje steg används förångningsrör, så kallade effekter. Vattnet sprejas på rören vilket gör att vattnet förångas snabbt. Rören i det första steget måste värmas med en extern värmekälla. I nästa steg används den latent värmen som frigörs från kondensationen i kombination med ett lägre tryck för att fortsätta förångning av havsvattnet. Eftersom det framförallt är tryckskillnaden som orsakar förångningen är MED fördelaktigt att använda vid låga temperaturer (< 70 °C) i den första effekten. Detta minskar även risken för korrosion och avlagringar i anläggningen men kräver istället större förångningsrör (Khawaji, 2007). MED är mindre energikrävande än MSF (Younos & Tulou, 2005).

Förbehandling krävs i en termisk anläggning för att undvika avlagringar från kalcium och magnesium och korrosion på anläggningen från lösta gaser. Detta görs vanligtvis med kemikalier såsom polyfosfater, syror (i MSF anläggningar) och oxidationsmedel ofta klor (för att undvika mikrobiologisk tillväxt). Vattnet bör även vara fritt från olja, fett och tungmetaller (WHO, 2007).

Termiska tekniker kräver höga energimängder vilket gör att de flesta nya avsaltningsanläggningar som byggs inte använder destillation som teknik. Länder som har stor tillgång till energi för att värma inkommande vatten i kombination med dålig vattenkvalité, såsom många länder i mellanöstern kan ha en fördel av att använda tekniken (Greenlee m.fl., 2009).

Membranteknik

Membranteknik är mindre energikrävande än destillering och i och med teknikutvecklingen börjar membrantekniken ta över som främsta metod för avsaltning av havsvatten och bräckt vatten (Greenlee m.fl., 2009). Membranteknik går ut på att låta vatten passera igenom ett tunt poröst filter. Partiklar större än filtrets porer hindras från att passera igenom filtret. Denna teknik är även vanlig vid desinfektion av dricksvatten för att hindra parasiter och bakterier att följa med dricksvattnet (Younos & Tulou, 2005).

I tabell (2) visas porstorlekar för de vanligaste membranteknikerna, mikrofiltrering (MF), ultrafiltrering (UF), nanofiltrering (NF) och omvänd osmos (RO) och vad de tar bort (WHO, 2007).

Tabell 2. Membran använda för vattenrening, deras porstorlek samt vad de tar bort. (WHO, 2007)

Membrantyp	Porstorlek (μm)	Tar bort
Mikrofiltrering (MF)	0,1 – 1	Partiklar, bakterier, protozoer
Ultrafiltrering (UF)	0,001 – 0,1	Virus
Nanofiltrering (NF)	$\pm 0,001$	Flervärda metalljoner
Omvänd osmos (RO)	0,0001 – 0,001	Envärda joner

Den vanligaste membrantekniken för avsaltning är RO. I RO passerar vattnet under högt tryck igenom ett semipermeabelt (halvgenomsläppligt) membran, vars porstorleken är så liten så att inte ens envärda joner såsom natrium joner (Na^+) och kloridjoner (Cl^-) kan passera. För att rena saltvatten behövs ett högre tryck än för bräckt vatten. Detta beror på att det osmotiska trycket hos saltvatten är högre, runt 23-26 bar. För bräckt vatten med en saltkoncentration runt 2000-5000 mg/L är det osmotiska trycket 1-3 bar. Det tryck som behövs för att övervinna det osmotiska trycket är 60 – 80 bar för saltvatten och 6 – 30 bar för bräckt vatten (Greenlee m.fl., 2009). Vattnet måste förbehandlas innan det passerar igenom membranet för att minska energikostnaden och få så hög saltavskiljning som möjligt (Crittenden m.fl., 2005). Förbehandlingen består av någon typ av filtrering, till exempel sandfiltrering, mikrofiltrering (MF) eller ultrafiltrering (UF) (Greenlee m.fl., 2009). Kemikalier, så kallade antiskalanter, för att förhindra fällningar och avlagringar på membranet behöver även tillsättas. Det behöver oftast göras någon typ av pH justering också (Younos & Tulou, 2005). Efterbehandlingen består normalt av pH-justering, tillförsel av kalk, borttagning av gaser (om sådana finns, till exempel koldioxid) och slutligen

desinfektion med exempelvis UV-ljus och sedan tillförsel av klor för att undvika mikrobiell tillväxt i ledningsnätet (Khawaji m.fl., 2008).

Ett sätt att mäta effektiviteten på RO är att beräkna återvinningsgraden R_w som ges av ekvation (3) och anges i %:

$$R_w = \frac{Q_p}{Q_f} \cdot 100 \quad (3)$$

Där:

Q_p = permeatflöde (m^3/s)

Q_f = vattenflöde (m^3/s)

Ju större R_w är, desto effektivare är processen. Normalt ligger värdet mellan 35 % och 85 % och beror bland annat på inkommande vattenkvalitet, kloridhalt, typ av förbehandling och val av energidesign (Greenlee m.fl., 2009). Bräckt vatten kan ha upp till en 90 % återvinningsgrad (Charcosset, 2008). För bräckt vatten med en låg halt lösta ämnen kan ibland även NF användas vilket fungerar på samma sätt som RO fast porstorleken är större, NF är även en bra metod för att förbehandla vattnet innan RO (Younos & Tulou, 2005). NF används även vid behandling av ytvatten för att avskilja patogener men även humus och färg (Kärrman m.fl., 2004). För NF behövs tryck på 5 -10 bar (Crittenden m.fl., 2005). UF kan användas som förbehandling innan RO eller NF för att ta bort partiklar, bakterier och virus (Gnaneswar Gude m.fl., 2009).

En annan membranteknik är så kallad elektrodialys (ED). ED består av anjon- och katjonutbytesmembran som är arrangerade mellan en anod och katod. En pålagd spänning gör att anjoner i vattnet dras mot anoden. På vägen kommer de passera igenom det positivt laddade anjonmembranet och hållas tillbaka av det negativt laddade katjonmembranet och tvärt om för katjonerna. Jonerna ”fångas” i membranet och vattnet blir på så sätt fritt från salt (Sadzadeh & Mohammadi, 2007).

Membranteknik kräver en större förbehandling av råvattnet för att undvika igensättning av membranen från fällningar från metalloxyd, kolloider, oorganiska salter, igensättning av oorganiska partiklar, tillväxt av mikroorganismer och kemisk oxidation av klor. Råvattnet bör även, som vid destillationstekniker, vara fritt från olja, fett och tungmetaller (WHO, 2007).

Vanliga föroreningar

Råvattnet innehåller föroreningar såsom organiskt material, patogener, alger, joner och partiklar. Vilka föroreningar som finns i vattnet skiljer sig ofta åt mellan bräckt vatten och havsvatten. Till exempel är koncentrationen av lösta ämnen mycket högre i saltvatten än bräckt vatten medan det finns ett större problem med höga halter av bor i bräckt vatten. Vid val av förbehandling bör man utgå från vattenkvaliteten på det vatten som ska användas, ju bättre förbehandling desto större effekt har avsaltningen. Framförallt med membranteknik krävs det att det inte finns för stora partiklar i vattnet när det når membranet för att undvika att membranet täcks igen eller får avlagringar (Greenlee m.fl., 2009). Det finns fortfarande en del oklarheter om hur bra avsaltningsanläggningar är på att avskilja vissa typer av algtoxiner i havsvattnet även om studier

som gjorts i Sverige hittills inte visat att avsaltat havsvatten innehåller algtoxiner (Livsmedelsverket, 2007).

Energianvändning

Avsaltningssystem är generellt väldigt energikrävande. En MSF-anläggning kräver ungefär 12 kWh värmeenergi och 3,5 kWh elektrisk energi för att producera en kubikmeter vatten. För en MED-anläggning med låg temperatur (<70°C) är siffrorna 6 kWh värmeenergi och 1,5 kWh elektrisk energi per kubikmeter. För en RO-anläggning varierar energiåtgången beroende på storlek, men ligger mellan 4 och 7 kWh/m³. Energiåtgången beror också på hur bra anläggningen är på att återanvända energi (Lattemann & Höpner, 2007). För behandling av bräckt vatten kan energianvändningen ligga mellan 0,8 och 1,8 kWh/m³ för en RO-anläggning (Pearce, 2007). Ett NF-membran har en energianvändning under 0,5 kWh/m³ (Dach, 2008).

Kostnader

Kostnaden för avsaltning har minskat de senaste årtiondena, idag kostar det 0,5 dollar, ungefär 3,5 SEK, att producera en kubikmeter vatten på en storskalig RO-anläggning för saltvatten, för en MSF-anläggning är kostnaden ungefär 1 dollar per m³, det vill säga 6,6 SEK. För en anläggning som behandlar bräckt vatten är den exakta kostnaden svår att uppskatta då kostnaden beror på inkommande vattenkvalitet (Ghaffour m.fl., 2012). Bräckt vatten innehåller lägre halter av lösta ämnen än havsvatten, så kostnaden är alltid lägre än för behandling av havsvatten, ibland upp till 50 % lägre (Ayoub & Alward, 1995).

Kostnaden för att avsalta havsvatten beror även på storleken på anläggningen. Normalt gäller att ju högre kapacitet anläggningen har, desto lägre blir den totala vattenkostnaden och investeringskostnaden per kubikmeter vatten (Ghaffour m.fl., 2012). I en anläggning som har en kapacitet på några få kubikmeter upp till 1000 m³ per dag kan kostnaden för att avsalta havsvatten ligga från 1,78 upp till 15,20 euro / m³ det vill säga ungefär 16 – 135 SEK, på grund av den lägre driftskalan samt att många småskaliga avsaltningssystem använder förnybara energikällor vilket ofta är mer kostsamt (Karagiannis & Soldatos, 2007). Normalt står byggkostnaden för 50-85 % av den totala investeringskostnaden (Ghaffour m.fl., 2012).

Kostnaden för ett MSF-system är generellt högre än för ett RO-system då materialkostnaden är högre och processen är mer energikrävande (Ayoub & Alward, 1995). Kostnaden för ett RO-system kan minska genom reducerad energikonsumtion, och detta har exempelvis redovisats i en studie av Mohamed m.fl. (2006) där ett konventionellt småskaligt RO-system med en daglig vattenproduktion på 1,7 m³/dag jämförts med ett system med en så kallad Clark pump med energiåtervinning. Jämförelsen visade att systemet med den energisparande pumpen hade en energianvändning som var runt 20 % av det konventionella systemet. Studien visade även att addera ännu ett RO-membran till processen kunde minska den specifika vattenproduktionskostnaden med 67 % till en 10 % ökning av investeringskostnaden (Mohamed m.fl., 2006).

Svenska avsaltningssystem

I en studie av RO med förbehandling i form av sandfiltrering kontra förbehandling med UF-membran med Östersjövattnen som vattenkälla uppnåddes en saltavskiljningsgrad för båda metoderna på runt 98 %. Slutsatsen gjordes att kombinationen sandfiltrering med RO var det billigaste alternativet men med ett UF-filter minskade tvättbehovet av RO-membranen och risken

för driftstörningar blev mindre. En eventuell driftstörning hos sandfilter riskerade att göra att RO-membranet förstördes. Finns hög risk för igensättning av membranerna är alltså ett UF-filter att föredra framför sandfiltrering, däremot blir då kostnaden högre. Anläggningen skulle klara 100 m³/h och kostnaden vid avskrivningstid på 20 år för anläggningen med sandfiltrering blev 5,92 SEK/m³ och 7,19 SEK/m³ för UF och RO (Hellman, 2011).

Skärgårdsstiftelsen har en avsaltningsanläggning på Utö som varit i drift i 16 år. Där består förbehandlingen av ett trycksandfilter, ett påsfilter och ett patronfilter. Innan vattnet passerar RO-membranerna tillsätts även antiskalanter för att undvika igensättning av membranerna. Efterbehandlingen består på Utö av tillsatts av bikarbonat för att höja alkaliniteten samt ett mineralfilter för att tillsätta magnesium och kalcium till vattnet, annars blir vattnet smaklöst. Utö har sitt vattenintag på 20 meters djup där vattenkvaliteten är väldigt jämn och därför upplever konsumenterna endast små skillnader över året (af Peterssen, pers. medd. 2014).

Det finns även små avsaltningsanläggningar för enskilda hushåll. Inköpspriset för ett sådant system ligger strax under 100 000 SEK (John Sell, 2014). Systemet använder omvänd osmos och har en kapacitet på ungefär 100 l/h (Afflux water, 2013).

Underhåll

Den typiska livslängden för en avsaltningsanläggning är 20 till 30 år. Ju större anläggningen är desto mer underhåll behövs i form av exempelvis driftstekniker som övervakar systemet. Generellt behöver pumpen underhållas för att undvika att den fylls igen med skräp och slam. Rörsystemet och ledningar behöver också kontrolleras av samma anledning (Watereuse Association, 2011). För membransystem krävs rengöring i form av backspolning eller utbyte av membranerna när de är för igensatta. Ju sämre råvattenkvalitet desto oftare behöver membranerna bytas ut (Ghaffour m.fl., 2012). Membranerna kan även tvättas manuellt. Till detta används ofta kemikalier såsom alkaliska tvättmedel. Att byta ut exempelvis ett UF-filter är mindre kostsamt än att byta ut RO membranet varför förfilter alltid bör användas (Hellman, 2011). Avsaltningsanläggningar genererar också restprodukter i form av saltslam och kemikalierester vilket behöver tas om hand om. Om saltslammet är rent kan det släppas ut i havet igen från ett rör som går ut en bit i havet (Charcosset, 2008). Andra sätt att hantera saltslammet är injektionsbrunnar eller avdunstningsdammar (Ghaffour m.fl., 2012).

Miljöeffekter

De största problemen med avsaltning är restprodukter i form av kemikalier, luftföroreningar och saltslam samt att metoden är mycket energikrävande (Lattemann & Höpner, 2007). Vilken typ av energi som används samt hur energieffektiv processen är påverkar hur stor miljöpåverkan processen ger (Raluy m.fl., 2005). Ett stort problem med avsaltning är att energikällan som används ofta är icke förnybar såsom olja, vilket bidrar till förstärkt växthuseffekt. Energi användningen för att producera 20 ton vatten är ett ton olja för en MSF-anläggning (Gnaneswar Gude m.fl., 2009). Membrantekniker såsom RO är ofta fördelaktiga då processen är mindre energikrävande (ungefär en storleksordning mindre än för MSF och MED). Däremot kan koldioxidutsläppen för MED och MSF tekniker minska upp till 99,9 % om processerna kombineras med andra industrier med värmeöverskott såsom värmeverk. Om en förnyelsebar energikälla används för RO (exempelvis sol eller vindenergi) istället för fossilt bränsle leder det till att koldioxid- samt partikelutsläppen kan minska med upp till 98,5 % (Raluy m.fl., 2005).

De flesta avsaltningsanläggningar innehåller även kemisk förbehandling av råvattnet för att förhindra mikrobiologisk tillväxt, fällningar och skumning samt undvika korrosion i värmeverket och i ledningar samt undvika avlagringar i membranläggningar (Lattemann & Höpner, 2007). Att reducera den förbehandling som krävs i membranläggningar skulle minska miljöpåverkan samt energianvändningen stort, men detta kräver en teknikutveckling av membran som är motståndskraftiga mot mikrobiologisk tillväxt och avlagringar (Elimelech, 2011). För mindre membranläggningar kan förfiltrering med UF-och MF-membran, eller att använda underjordiska uttag för att ta upp råvatten (och på så sätt få en naturlig förfiltrering) i kombination med desinfektion i form av UV-ljus ersätta användningen av kemikalier (Lattemann & Höpner, 2007).

Många avsaltningsanläggningar släpper ut saltslammet direkt i havet vilket kan påverka havsmiljön negativt. Även om saltslammet i sig bara är en mer koncentrerad form av inkommande vatten finns risk att kemikalier som används i förbehandlingen följer med (Einav m.fl., 2002).

Placeringen av anläggningen är också en viktig fråga. Genom att placera anläggningen nära havet kan anläggningen minska tillgängliga ytor för strand och förstöra naturmiljöer. Om anläggningen istället placeras längre inåt land finns risk för läckage av saltvatten från ledningarna som kan påverka grundvattnet (Einav m.fl., 2002).

3.2.4. Återanvändning av vatten

Återanvändning av renat avloppsvatten är något som blivit mer och mer omtalat de senaste två decennierna som en alternativ lösning på vattenbrist (Jefferson, 2000). Det finns fyra olika typer av återanvändning av renat avloppsvatten (Flyborg m.fl., 2006):

- Direkt återanvändning: Avloppsvattnet renas till den kvalitet som användningsområdet kräver. Om vattnet ska användas till dricksvatten renas vattnet till dricksvattenkvalitet.
- Oplanerad indirekt recirkulation: Om avloppsverkets utsläppspunkt ligger uppströms ett råvattenintag kan vattenverket råka ta upp vatten som innehåller renat eller orenat avloppsvatten.
- Planerad indirekt recirkulation: Avloppsvattnet renas ytterligare ett steg och leds sedan till råvattenkällan för att förstärka vattentillgången.
- Planerad direkt recirkulation: Avloppsvattnet renas till den grad att det kan tas upp direkt till råvattenverket där det renas ytterligare.

Avloppsvattenrening

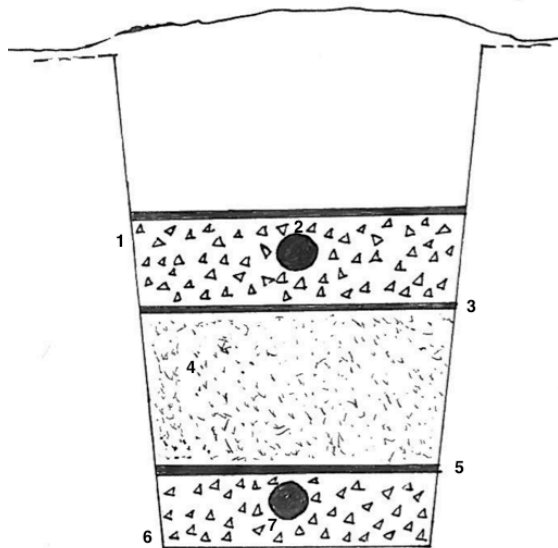
Det finns normalt två nivåer av avloppsvattenbehandling: mekanisk (primär) och biologisk (sekundär) rening. Mekanisk rening är utformad för att ta bort grövre suspenderat och flytande material från avloppsvattnet. Det inkluderar galler för att fånga upp stora partiklar och skräp, samt sedimentation för att få bort suspenderat material. Den totala halten suspenderat material reduceras med 50-60 % och BOD (biokemisk syreförbrukning) sjunker med 20-30 %. Sedan kommer den biologiska reningen där löst organiskt material som finns kvar efter den mekaniska reningen tas bort. Detta görs ofta i så kallade aktivslambassänger där mikrober bryter ner det organiska materialet och producerar koldioxid, biomassa, vatten och energi. Detta följs sedan av

ytterligare en sedimentationstank, sekundär sedimentering. Efter den biologiska reningen brukar minst 85 % av det suspenderade materialet och BOD vara borttaget. Till dessa behandlingar kan ytterligare behandlingar adderas beroende på vilken vattenkvalitet som eftersträvas, och sådana brukar kallas tertiära behandlingar. Enklare tertiära behandlingar kan inkludera att ytterligare reducera fosfor och kväve (The World Bank, 2013). Ska vattnet användas som dricksvatten krävs rening i form av kemisk koagulering, filtrering genom MF, NF och ibland även RO samt någon typ av desinfektion (EPA, 2012).

Återvunnet avloppsvatten kan internationellt i många fall vara av bättre kvalitet än vatten från vattenverk som använder grundvatten eller ytvatten som råvattenkälla då dessa källor ofta råkar ut för oplanerad indirekt recirkulation. Ofta har vattenverk som har grundvatten som råvattenkälla enklare reningsmetoder som inte klarar eventuell kontaminering av patogener. Ett vattenverk som behandlar avloppsvatten har både strängare behandlingskrav och noggrannare kontroll av vattenkvalitet än ett som behandlar grundvatten. Dessa vattenreningsverk är alltså redan utformade för att klara att rena förorenat vatten. Dessutom är många ytvattentäkter redan väldigt förorenade och kräver i sin tur ändå mycket behandling (Asano & Cotruvo, 2004). En stor fördel är givetvis också att när vattenanvändningen är stor är också vattentillgången stor.

Markbädd för rening av BDT-vatten

En markbädd består av ett spridningslager, sand och ett dräneringslager se figur 6. Den mesta reningen sker i sandlagret där en biologiskt aktiv zon vid övergångslagret bryter ner en stor del av det organiska materialet samt bakterier. Innan markbädden sitter en slamavskiljare där bland annat fett avskiljs, slamavskiljaren föregås av en brunn eller ledning där fällningskemikalier kan tillsättas för att fälla ut fosfor (Naturvårdsverket, 2003). Om markbädden enbart ska rena BDT-vatten bör systemet hålla mycket länge. Enligt Palm m.fl. (2012) finns då ingen borte gräns för markbäddens livstid.



Figur 6. Principen för en markbädd. Första lagret består av ett spridningslager (1) där BDT-vattnet sprids från spridningsledningen (2). Vattnet rinner sedan ner via övergångslagret (3) till filtersanden (4), passerar ett materialavskiljande skikt (5) till ett dräneringslager (6) där vattnet leds vidare via dräneringsledningen (7) till exempel till en närliggande sjö. (Modifierad från Naturvårdsverket (2003))

Användning av avloppsvatten vid konstgjord grundvattenbildning

Renat avloppsvatten kan användas till konstgjord grundvattenbildning (se avsnitt 3.2.1.). Vilken förbehandling som krävs varierar stort och beror på syftet med infiltrationen, typ av avloppsvatten, vilken infiltrationsmetod som används, val av plats och allmänhetens acceptans. Val av reningsmetod beror även på avloppsvattnets mikrobiologiska kvalitet, mängden suspenderat material, förekomst av tungmetaller samt koncentration av stabila och eventuellt farliga organiska substanser (Asano & Cotruvo, 2004).

Återanvändning av avloppsvatten i hushåll

Avloppsvatten från hushåll brukar normalt delas upp i kategorierna klosettwater (KL-vatten) och BDT-vatten, som innehåller vatten från bad, dusch och tvätt (Archer, 2012). Ett alternativ som ofta diskuteras är att hålla BDT-vatten separat från det övriga avloppsvattnet och bara återanvända BDT-vatten. BDT-vatten innehåller generellt mycket mindre suspenderat material, kväve, fosfor och kalium jämfört med KL-vatten samt lägre halter av patogener (Jefferson, 2000).

Innehåll avloppsvatten

Det största problemet med avloppsvatten är den höga koncentrationen patogener såsom bakterier och virus (Asano & Cotruvo, 2004). Avloppsvatten innehåller även näringsämnen fosfor, kväve och kalium (Naturvårdsverket, 1995).

BDT-vattnets sammansättning är något som varierar och det behövs mer forskning om innehåll. BDT-vatten innehåller kemiska produkter såsom schampo, tvål och rengöringsmedel, det innehåller även den största delen metaller utav avloppsvattnet från exempelvis bestick, kastruller och blixtlås (Almqvist m.fl. , 2007). BDT-vatten innehåller endast 10 % av kvävet och 7,5 % av

fosfor från avloppsvattnet (Naturvårdsverket, 2006). Näringen som finns i vattnet kommer främst från hudrester från dusch och fetter och matrester från matlagning och disk (Almqvist m.fl., 2007). BDT-vatten bör, i teorin innehålla lite patogener. Två källor till patogener i BDT-vatten var duschvatten och tvättvatten från tvättställ (Ottosson & Stenström, 2003).

Reningsmetoder

Enklare reningsanläggningar för rening av BDT-vatten är grovfiltrering samt kemisk desinfektion vilket tar bort patogener men fortfarande har vattnet en hög turbiditet samt har kvar en stor del av sitt innehåll av organiska föroreningar. Detta används i England för vatten som kräver lägre reningskrav såsom vatten som används till bevattning (Jefferson, 2000). I detta fall sker nedbrytningen av de organiska föroreningarna i jorden.

Tertiär behandling kan till exempel bestå av klorering, ozonbehandling, UV-ljus, jonbyte och behandling med aktivt kol (NGPWC, 2013). För att fungera väl behöver samtliga dessa föregås av en väl utförd sekundär behandling, till exempel i form av markbädd eller aktivt slam. Nedan följer en kort beskrivning av metoder för tertiär behandling:

Klorering

Klor är ett desinfektionsmedel som dödar mikroorganismer genom att förstöra cellväggen. Det är det billigaste desinfektionsmedlet som finns idag men har en nackdel att det formar biprodukter med organiska ämnen som kan vara skadliga i för höga doser. Klor är effektiv mot bakterier och virus men inte mot vissa protozoer (SDWF, u.d.). Även i vattenverk där klor inte används som huvuddesinfektionsmetod är det vanligt att klor ändå sätts till utgående vatten då klor har en kvarstående effekt i ledningsnätet, speciellt när den tillsätts i form av kloramin. Detta minskar risken för bakterietillväxt i ledningsnätet (Svenskt vatten, 2013).

Ozonbehandling

Ozonbehandling är en effektiv desinfektionsmetod som bryter ner mikroorganismer genom att bland annat oxidera sönder cellväggen hos mikroorganismen och ge skador på komponenter hos cellkärnans nukleinsyror (EPA, 1999). Ozon är även en bra desinfektionsmetod för protozoer (von Gunten, 2003). Ozon är även bra på att ta bort smak, färg och lukt från dricksvatten. Ofta används flera kammare med ozon i för att öka säkerheten om en av kammarna skulle råka ut för kortslutning (Crittenden m.fl., 2005). Ozon har ingen kvarstående effekt i ledningsnätet vilket gör att behandlingen bör följas av klorering (Svenskt vatten, 2013).

UV-ljus

Till skillnad mot klorering och ozondesinfektion, där mikroorganismen dör, gör UV-ljus istället att mikroorganismerna inte kan föröka sig genom att det ger reaktioner hos proteiner i DNA-molekylen så att DNA-spiralen ej fungerar. UV-ljus kan till viss mån även reagera med enzymer och proteiner i cellen vilket förstör ämnesomsättningen. UV-ljus är effektivt mot de flesta mikroorganismer men för sporbildande bakterier och adenovirus krävs högre doser av UV-ljus. Fördelar med UV-ljus är att det inte skapar restprodukter, det har låga investerings- och driftskostnader, går att bygga in i en befintlig anläggning och systemet är enkelt att sköta. Nackdelar är att UV-ljus liksom ozon inte ger resteffekter i ledningsnätet vilket ökar risken för bakterietillväxt senare. Om vattnet har en hög organisk halt när det passerar UV-ljuset finns risk

för att lättnedbrytbara ämnen bryts ner och lukt skapas. Anläggningen är även känslig för strömdippar (Svenskt vatten, 2009).

Jonbyte

Jonbyte används oftast för att göra vattnet mjukare och reducera mineraler såsom kalcium, magnesium, klor och natrium. Användningen av jonbyte har ökat i och med att det även effektivt tar bort andra föroreningar såsom barium, fluor och uran. Principen med jonbyte är att en jon i vattnet löst jon byter plats med en jon i den fasta fasen i materialet (Crittenden m.fl., 2005).

Aktivt kol

Aktivt kol används ofta som ett slutsteg efter ozonbehandling och klorering för att ta bort restprodukter. Det är även bra för att ta bort organiskt material, smak och lukt men även bly (Lemley m.fl., 1995). Det finns flera olika typer av filter med aktivt kol men principen är att reduktionen av föroreningar sker via adsorption till materialet (Crittenden m.fl., 2005).

Rening av BDT-vatten i Sverige

I Vibyåsen i Sollentuna har BDT-vattnet källsorterats från klosettvattnet. BDT-vattnet leds först till en slamavskiljare, sedan reduceras organiskt material ytterligare i en så kallad biorotor, vattnet passerar sedan genom en markbädd och till sist till en damm innan det slutligen leds till en bäck (Jönsson m.fl., 2005). En undersökning av den fekala kontamineringen av BDT-vattnet från Vibyåsen gjordes 2002. Studien visade att mängden fekalier varierade stort och att en del av de påvisade bakterierna inte kom från BDT-vattnet utan istället var ett resultat av bakterietillväxt i ledningarna. Studien visade att behandlingsstegen inte är tillräckliga för att reducera virus till den grad att vattnet kan anses vara säkert att släppa ut i bäcken (Ottosson & Stenström, 2003). Genom att förbehandla vattnet med kemisk fällning skulle reduktionen av virus öka från 70 % till 99 %, och detta är att föredra om vattnet släpps ut i en känslig recipient (Jönsson, m.fl, 2005).

Exempel på reningsverk där vatten återanvänds

I Australien återanvänds vatten mer och mer. Ett system med nivåer utifrån vattenkvalitet tillämpas med en skala som går mellan A och D (Mekala m.fl., 2008). Klass A vatten är renat så att de ska kunna användas för brandsläckning, bevattning av grödor inklusive grödor som kan ätas råa, bevattning av parker och trädgårdar samt användning av vatten i hushållet till toalettspolning och tvätt. Det bör inte användas som dricksvatten (Melbourne Water, 2013). Klass D inkluderar endast sekundär rening och bör bara användas till bevattning av skog och blommor (Mekala m.fl., 2008). En schematisk bild över ett reningsverk i Melbourne där vattnet kan renas till klass A visas i figur 7. Innan de sista förbehandlingsstegen har vattnet genomgått primär och sekundär behandling men även sandfiltrering och en första behandling med UV-ljus (Yarra Valley Water, i.d.).



Figur 7. En schematisk bild med de sista stegen i ett reningsverk i Melbourne, Australien där vattnet renas till klass A. Innan dessa steg har avloppsvattnet genomgått primär och sekundär behandling men även sandfiltrering och en första behandling med UV-ljus. I förbehandlingen doseras koaguleringsmedel före och efter vattnet passerar igenom en mikrofil. Sedan filtreras vattnet i ett UF filter innan det desinficeras med hjälp av UV-ljus innan det till sist kloreras. (Modifierad från Yarra Valley Water, i.d.)

I Singapore startades ett projekt kallat NEWater på 1970-talet med syfte att producera dricksvatten från avloppsvatten. En pilotanläggning byggdes men på grund av för höga kostnader samt opålitliga membran så dröjde det till år 2000 innan det första riktiga vattenverket byggdes. Idag finns det fyra anläggningar i Singapore som totalt täcker 30 % av Singapores vattenbehov (PUB, 2011). Vattnet genomgår först primär och sekundär behandling innan vattnet passerar igenom ett MF-filter. Vattnet passerar sedan igenom ett RO-membran och därefter är vattnet av dricksvattenkvalitet. Processen avslutas med desinfektion med UV-ljus för att säkerställa att vattenkvaliteten är tillräckligt hög. Efter detta behöver alkaliniteten höjas och pH justeras (PUB, 2013).

I Windhoek, Namibia har återanvändning av vatten tillämpats sedan 1969. Deras senaste vattenverk öppnade 2002 och producerar drickbart vatten. Inflödet kommer från ett avloppsreningsverk där förbehandlingen redan är färdig och processen mot ett drickbart vatten inkluderar sedan koagulering/flockulering, flotation, snabbsandfiltrering, ozonbehandling, filtrering genom aktivt kol, UF och till sist klorering (Pisani, 2005).

Kostnader och energianvändning

Kostnaden för rening av avloppsvatten beror på vilket avloppsvatten man börjar med, val av teknik och vilken vattenkvalitet som ska uppnås. Generellt ökar kostnaden för membranteknik med minskad membranporstorlek. För det nya vattenverket i Windhoek, Namibia beräknades kostnaden vara $0,76 \text{ US\$/m}^3$ ungefär 5 SEK/m^3 . (Wintgens m.fl., 2004).

Energianvändningen för ett system med primär och sekundär rening följt av MF (eller UF) och därefter av RO beräknas energianvändningen vara mellan $0,8$ och $1,2 \text{ kWh/m}^3$ för de sista stegen, vilket ungefär är i samma storleksordning som energianvändningen vid vattenberedning av bräckt vatten (Pearce, 2007).

Problematik med återanvändning

Även om avloppsvatten med hjälp av dagens teknik går att rena till fullgod dricksvattenkvalitet finns ändå en misstro hos människor mot att dricka vatten som kommer från renat avloppsvatten. Då dricker vi ändå ofta vatten som renats från råvattenkällor med oplanerad indirekt recirkulation av avloppsvatten. Mälaren, som bland annat Stockholm tar sitt vatten ifrån, innehåller till exempel 5 % vatten som tillförts från kommunala avloppsreningsverk, industrier samt dagvatten. Därför är en begränsning med just återanvändning av vatten socialt kopplad (Flyborg m.fl., 2006). Detta har även varit fallet i Windhoek i Namibia där acceptans hos medborgarna anses ha varit ett större hinder än tekniken (Pisani, 2005).

3.3. Juridiska aspekter

Bortledning av yt- och grundvatten samt infiltration av grundvatten är så kallade vattenverksamheter enligt 11 kap. 2 § miljöbalken (MB). För vattenverksamheter krävs enligt huvudregeln i 11 kap 9 § MB tillstånd som prövas av mark- och miljödomstolen.

Det finns några undantag från tillståndsplikten, bland annat behövs inte tillstånd för bortledning av yt- eller grundvatten för vattenförsörjning av enskilda en- eller tvåfamiljsfastigheters

husbehovsförbrukning enligt 11 kap. 11 § MB. Det behövs inte heller tillstånd om det är uppenbart att vattenverksamheten inte skadar allmänna eller enskilda intressen enligt 11 kap 12 § MB.

Vidare gäller livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten, SLVFS (2001:30) som bland annat inkluderar föreskrifter om beredning, distribution och kvalitetskrav. Dessa föreskrifter gäller dock inte vattenverk som producerar mindre än $10 m^3$ dricksvatten per dygn eller som försörjer färre än 50 personer. För dessa vattenverk hänvisas istället till Socialstyrelsens allmänna råd (SOSFS 2003:17) om försiktighetsmått för dricksvatten. Om vattenverket levererar vatten till offentlig eller kommersiell verksamhet gäller dock SLVFS (2001:30).

3.4. Vattenbesparande teknik

Ett sätt att minska vattenanvändningen är att använda olika typer av vattenbesparande teknik till exempel vattenbesparande toaletter, duschmunstycken och diskmaskiner, se vidare beskrivning av respektive teknik nedan.

Vattenbesparande toaletter

Idag använder vi ungefär 30 av 160 liter vatten, det vill säga runt 20 % av vår totala vattenanvändning till toalettspolning (se tabell 1). Genom att använda en snålspolande toalett kan denna mängd minska. Exempel på vattenbesparande toaletter är:

- *Urinsorterande vattentoalett*
Toaletten har två skålar. I den främre spolas urinen ner med endast lite spolvatten. Fekalier går tillsammans med spolvatten och toalettpapper i regel till systemet som behandlar BDT-vatten. Kan vara ett bra alternativ om man planerar att använda urinen som gödselmedel (Avloppsguiden, 2009). En urinsorterande toalett använder ungefär 0,2 l vatten/spolning vid spolning av den främre skålen och 5-6 l vatten/spolning vid spolning av den bakre skålen (WRS, 2001)
- *Extremt snålspolande toalett*
Toaletten har självfall och ställer höga krav på ledningarnas lutning. En för svag lutning gör att avfallet riskerar att inte transporteras bort och en för stark lutning kan göra att vattnet passera så snabbt att avfallet blir kvar. Ledningen bör vara av plast då plast generellt har lägre friktion och jämnare yta än exempelvis betong. Toaletten kan använda så lite som 0,6 l vatten/spolning (WRS, 2001).
- *Vakuumtoalett*
En vakuumtoalett för användning i hushåll kräver ungefär 0,6 liter per spolning (af Petersen & Palmér Rivera, 2013). Transportsystemet för en vakuumtoalett är inte vattenburet utan spolningen sker via undertryck i ledningarna. Vatten används enbart för att skölja toalettsskålen. Den kräver till skillnad från den extremt snålspolande toaletten inga ledningar med självfall (Avloppsguiden, 2013).

Vattenbesparing dusch

Ett normalt duschmunstycke använder ungefär 12 l vatten/minut. Genom att byta ut duschmunstycket kan detta minskas med hälften till 6 l vatten/minut (Energimyndigheten, 2011). Luft blandas in i vattenstrålen där slang och handtag är sammanfogade vilket gör att det känns som att lika mycket vatten träffar kroppen som med en vanlig dusch (Värmdö kommun, i.d.). Att duscha kortare tid är ett effektivt sätt att spara vatten (Energimyndigheten, 2011).

Duschvatten kan också renas lokalt och återanvändas direkt vilket både spar energi och vatten. En reningsteknik som är utvecklad av NASA går ut på att vattnet från duschen samlas upp i golvbrunnen, passerar igenom ett filter och sedan pumpas upp till duschen igen. Detta minskar energimängden för att värma upp vattnet då en del av värmen är kvar. För en tio minuter lång dusch går det åt fem liter vatten. Denna teknik har en student vid Lunds universitet använt för produktion av duschar i företaget Orbital Systems. Duscharna har testats på Ribersborgs Kallbadhus i Malmö (Nohrstedt, 2013).

Vattenbesparande diskmaskin

En diskmaskin med energiklass A använder ungefär 10-15 l vatten/diskning. Detta går att jämföra med att det går åt upp till 100 liter vatten om motsvarande mängd handdiskas (Karlstads energi, 2013).

4. Metod för val av vattenförsörjningssystem i områden med vattenbrist

Arbetsmetodiken som beskrevs i figur 1 användes för att komma fram till vilka kriterier som skulle studeras. En ny arbetsmetodik som baserades på metodiken beskriven i figur 1 togs fram, se figur 8.

1. Inventering

- Avgränsning
- Samhälleliga förutsättningar
- Naturgivna förutsättningar

2. Utformning

Steg 1 – Bortsortering baserat på naturgivna förutsättningar

Steg 2 – Bedömning av kapacitet / kvalitet / skala

Steg 3 – Förslag på VA-system

3. Utvärdering och jämförelse

- Vattenkvalitet / smittskydd
- Teknisk robusthet
- Miljö och resursanvändning
- Ansvars- och brukaraspekter
- Flexibilitet för ombyggnad
- Kostnader

Figur 8. Modifierad arbetsmetodik utifrån figur 1 i avsnitt 3.1.

Inventeringsområdet avgränsning innefattar geografiska, tidsmässiga, storleksmässiga avgränsningar i form av hur stort det geografiska området som studeras är, hur lång tidshorisonten är vid val av lämpligt system samt hur många personer eller hur stor kapacitet eller skala som systemet ska klara av utifrån tidshorisonten.

I inventeringen ingår även samhälleliga förutsättningar samt naturgivna förutsättningar. Med hjälp av frågor givna av RTK (2001), litteraturstudier samt en workshop med delaktiga i forskningsprojektet från Urban Water, SP samt Hållbarhetscenter för vatten togs åtta inventeringsfrågor fram inom samhälleliga förutsättningar samt tio frågor fram inom naturgivna förutsättningar. Dessa frågor listas nedan:

Frågeställningar som bör besvaras inom området samhälleliga förutsättningar är:

1. Nuvarande antal invånare i området (uppdelat i fast boende och fritidsboende)
2. Finns uppgifter om beräknad befolkningsutveckling, i så fall, hur ser de ut?
3. Är området befolkningstätt¹?
4. Varierar vattenanvändningen över året?

¹ Befolkningstätt om varje hushåll ligger med max 30 meter mellan varje tomt.

5. Hur ser dagens VA-nät ut uppdelat i:
 - *Avstånd till anslutningspunkt*
 - *Kapacitet*
 - *Vilka möjligheter det finns att ansluta till ett kommunalt VA-nät?*
6. Finns lokala restriktioner för vattenuttag²?
7. Olika intressenters vattenanvändning nu och i framtiden (till exempel: industri, jordbruk, hotell)
8. Hur ser avloppssituationen ut i området?

Följande frågor formulerades sedan för inventeringsområdet Naturgivna förutsättningar:

1. Vilken är markens infiltrationskapacitet?
2. Vilken är markens grundvattenlagring?
3. Vilka uttagsmöjligheter har befintliga brunnar?
4. Vilken vattenkvalitet har befintliga brunnar?
5. Avstånd till hav?
6. Avstånd till sjöar och vattendrag?
7. Vilken uttagskapacitet har närliggande sjöar och vattendrag?
8. Vilken vattenkvalitet har närliggande sjöar, vattendrag och hav?
9. Hur stor är den årliga nederbörden i området?
10. Hur är nederbörden fördelad över året?

Frågorna är tänkta att ge bakgrundsinformation om ett område samt begränsa valmöjligheterna.

Steg två behölls intakt enligt figur 1.

² Exempelvis Natura 2000 eller vattenskyddsområde.

I steg tre, *Utvärdering och jämförelse*, valdes multikriterieanalys, MKA, som verktyg med följande steg:

1. Val av kriterier
2. Viktning
3. Val av alternativ
4. Betygsättning
5. Sammanvägning
6. Känslighetsanalys
7. Val av system

Det första skedet i MKA är att välja kriterier inom respektive kategori. Dessa kan som exempel under kategorin "Teknisk robusthet" i figur 8 vara motståndskraft mot haverier, det vill säga hur bra ett system hanterar driftavbrott. Inom "Miljö- och resursanvändning" kan ett av kriterierna till exempel vara kemikalieanvändning. Ett första steg för att hitta lämpliga kriterier inom varje kategori kan vara att titta på tidigare rapporter, till exempel *"Handbok om VA i omvandlingsområden"* av Törneke m.fl. (2008) eller *"Systemstudie avlopp"* av Andersson m.fl. (2007).

När kriterierna är valda inom respektive kategori är steg två i MKA att vikta kriterierna. Det går till så att en referensgrupp får värdera hur mycket respektive kategori spelar roll för det givna området. Referensgruppen får till exempel 100 poäng att dela ut, om de ger 50 poäng till kategorin *"Teknisk robusthet"* har de sedan 50 poäng kvar att dela ut till resten av kategorierna. De poäng som varje kategori tilldelats ska sedan fördelas till de kriterier som den kategorin innehåller så att de kriterier som anses viktigast får en högre poäng och de som anses mindre viktiga får en lägre poäng. Om ett kriterium anses oviktigt kan det tilldelas noll poäng, Om alla kriterier anses lika viktiga kan poängen fördelas lika.

Steg tre i MKA är sedan att välja systemalternativ för det givna området. Dessa väljs efter viktningen för att viktningen ska ske oberoende av val av systemalternativ. Systemalternativen betygsätts sedan i steg fyra i MKA, till exempel med en skala mellan 1 och 5 där betyg 3 ges om systemet presterar lika bra som ett givet referenssystem när det kommer till ett visst kriterium. Betyg 1-2 ges om systemet istället presterar mycket sämre eller sämre än ett givet referenssystem och betyg 4-5 om systemet presterar bättre respektive mycket bättre än ett givet referenssystem.

I steg fem multipliceras poängen från viktningen med betygsättningen gjord i steg fyra, för varje kriterium. Den totala poängen summeras sedan ihop. Efter detta görs en känslighetsanalys i steg sex där poängen från viktningen ändras för att se om utfallet blir annorlunda. Till exempel kan en kategori som tilldelats högst poäng tilldelas ett lägre poäng för att se hur stor roll det spelar för utfallet. Efter känslighetsanalysen väljs slutligen ett system ut i steg sju.

5. Fallstudie

Metoden beskriven i avsnitt 4 implementerades på ett fallstudieområde, Grisslehamn i Norrtälje. Utifrån fallstudiens givna förutsättningar, det vill säga genom att svara på inventeringsfrågorna beskrivna i avsnitt 4 togs fyra systemalternativ fram som sedan jämfördes med hjälp av multikriterieanalysen beskriven i avsnitt 4.

5.1. Områdesbeskrivning

Samhället Grisslehamn består idag av 390 fastigheter, varav 139 är permanent bebodda, se figur 9 för översiktskarta. I många år har Grisslehamn haft problem med bristande vattentillgång. Många avlopp är dessutom av bristande kvalitet vilket gör att det finns en risk att enskilda avlopp förorenar grundvattnet. Under sommaren kommer vattenverket ofta upp i högsta tillåten uttagsnivå momentant. Provboringar för att hitta nya grundvattentillgångar har gjorts av kommunen som upptäckt att linserna med grundvatten är små och att det finns relict saltvatten under (Lindqvist m.fl., pers. medd. 2013).

Det finns ett lokalt vattenverk dit 335 fastigheter, varav 123 permanenthushåll är anslutna (Leife, pers. medd. 2014). Ytterligare 39 fastigheter, varav 16 permanenthushåll är tänkta att anslutas till vattenverket år 2015 (Norrtälje kommun, 2011). Vattenverket tar råvatten från två brunnar och det behandlas genom luftning, snabbsandfilter, aktivt kolfilter och desinficeras med UV-belysning. Maxkapaciteten är 20 m³/timme med ett maxuttag på ungefär 330 m³/dygn (det går inte att köra verket på maxkapacitet under 24 timmar) (Hultkrantz, pers. medd. 2014). För att klara vattenförsörjningen då grundvattnet inte räcker till finns två sötvattendammar, där den ena ligger på en något högre höjd än den andra. Den övre dammen får vatten från Herrbäcken. Den övre dammen är på 25 000 m³ och den undre på 10 000 m³ (Norrtälje kommun, 2014). När vattnet från de två brunnarna inte räcker till pumpas vatten upp från en rörspetsbrunn som ligger i anslutning till den nedre dammen, med ett naturligt sandlager mellan brunnen och dammen. Vattnet från dammen blandas sedan ut med grundvatten och renas i vattenverket. När vatten från dammen används kloreras även vattnet i vattenverket. Det går idag inte att ta vatten enbart från dammen. För det behövs ytterligare ett reningssteg i vattenverket med exempelvis kemisk fällning och filtrering (Hultkrantz, pers. medd. 2014). I figur 9 syns de två sötvattendammarna.

Det finns ytterligare två samhällen nära Grisslehamn, Byholma och Ekbacken, se figur 9. Byholma ska få kommunalt VA år 2023 och Ekbacken s år 2020. Ekbacken består idag av 211 fastigheter varav 10 är permanent bebodda (Leife, pers. medd. 2014). Avloppen i Ekbacken består av WC till sluten tank eller torrtoalett samt BDT med infiltration (Norrtälje kommun, 2011). I området är 150 fastigheter redan anslutna till Grisslehamns dricksvattenbrunnar och har rätt att ta ut 30 m³/dygn, de har dock egen rening av vattnet (Berg, pers. medd. 2014). I Byholma finns totalt 225 bostadsfastigheter varav 9 är permanent bebodda (Leife, 2014). De flesta i Byholma har WC till sluten tank samt BDT-infiltration, några få har WC-infiltration. Vattenförsörjningen sker enskilt med borrhållsbrunnar och några få i området har rapporterat höga kloridhalter i sina dricksvattenbrunnar (Norrtälje kommun, 2011).



Figur 9. Samhället Grisslehamn, Ekbacken samt Byholma. Sötvattendammarna är inringade i figuren. (Med tillstånd från Norrtälje kommun)

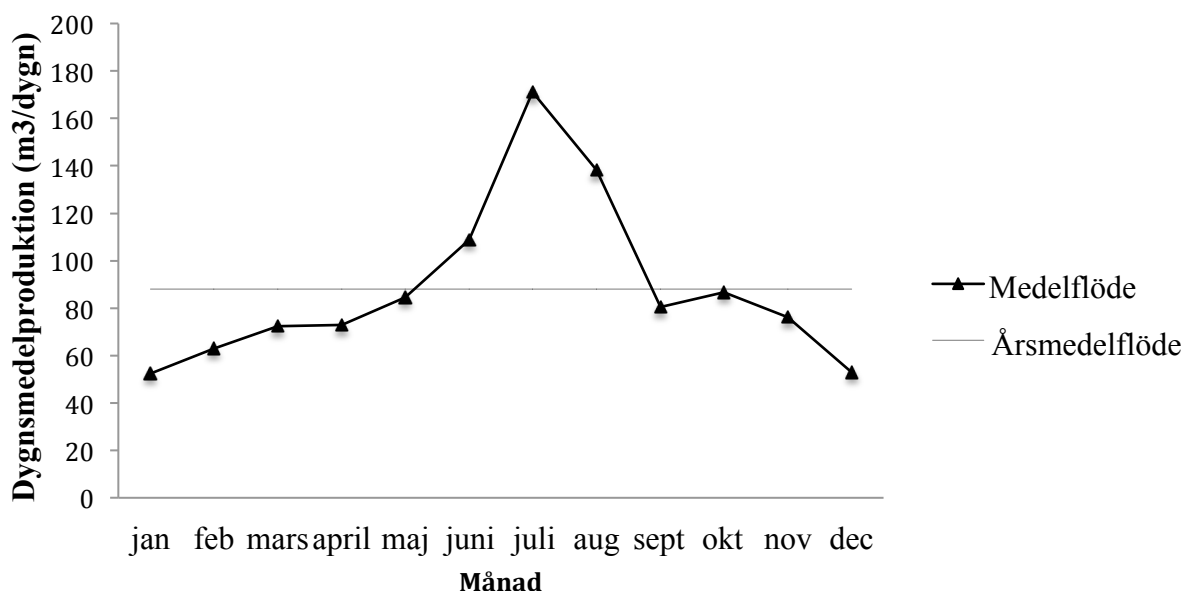
5.1.1. Studiebesök Grisslehamn

För att kunna svara på inventeringsfrågorna som beskrivs i avsnitt 4 gjordes ett studiebesök till Grisslehamn tillsammans med Martina Berg från vatten- och avloppsavdelningen på Norrtälje Kommun den 5:e februari 2014. Svaren på inventeringsfrågorna ges i bilaga 1.

5.1.2. Vattenförbrukningen i Grisslehamn

Vattenförbrukningen i Grisslehamn varierar över året med den största medelvattenförbrukningen per dygn under juli månad, se figur 10. Utanför nuvarande verksamhetsområde ligger idag totalt 491 hushåll (55 i Grisslehamn, 225 i Byholma samt 211 i Ekbacken). Med en medelvattenförbrukning per person och dygn på 160 liter samt antagandet att det under juli månad bor 2,5 personer i varje hushåll uppgår den totala vattenförbrukningen för de hushåll som ligger utanför verksamhetsområdet idag till 196 m³/dygn. Eftersom Ekbacken redan har tillåtelse att ta 30 m³/dygn blir den ökade vattenmängden som behövs om dessa hushåll ansluts till Grisslehamns vattenverk ca 166 m³/dygn. Under juli månad 2013 producerade vattenverket 170 m³/dygn i medeltal vilket skulle ge en total vattenförbrukning på 336 m³/dygn när alla fastigheter ansluts. Med en maxdygnsfaktor på 1,5 (Chalmers tekniska högskola, 1995), det vill säga att vattenverket bör dimensioneras så att det klarar en produktion av 150 % av medelförbrukningen under ett dygn skulle produktionskapaciteten behöva vara ungefär 505 m³/dygn. Detta ligger

ungefär 175 kubikmeter över kapaciteten för dagens vattenverk. Det totala antalet fastigheter som i framtiden kommer att behöva kommunalt VA uppgår till 826.



Figur 10. Dygnsmedelflödet från Grisslehamns vattenverk år 2013.

5.2. Val av kriterier för Grisslehamn

En formulering av kriterier under respektive kategori i steg 3 i figur 8 gjordes för Grisslehamn. Dessa visas i tabell tre tillsammans med en förklaring av vad respektive kriterium värderade och ett förkortat namn för kriteriet. Kriterierna valdes utifrån att de tillsammans skulle ge en helhetsbedömning av ett system ur ett hållbarhetsperspektiv. Val av kriterier gjordes i flera steg där steg ett genomfördes vid ett möte den 11 december på Urban Water genom en diskussion med Erik Kärrman och Frida Pettersson av tänkbara kriterier inom varje kategori. Som hjälp för att hitta lämpliga kriterier användes även annat ”*Handbok om VA i omvandlingsområden*” av Törneke m.fl. (2008) och ”*Systemstudie avlopp*” av Göteborg stad (2007). Efter mötet skickades ett utkast med förslag på kriterier till övriga medlemmar i projektgruppen samt till Norrtälje kommun och till intressenter i Grisslehamn där möjlighet gavs att lägga till eller ta bort kriterier. Projektgruppen hade sedan ett möte där kriterierna diskuterades och några nya kriterier lades till. Sedan hölls en workshop för Norrtälje kommun samt intressenter där det än en gång gavs möjligheter att modifiera kriterierna, vilket dock inte gjordes.

5.2.1. Kostnader för systemalternativen

Kostnader som beskrivs i tabell 3 delas upp i investeringskostnad samt driftsbehov. Driftkostnaden formulerades om till driftsbehov och betygsätts utifrån hur mycket underhåll systemalternativet behöver, eftersom en stor del av kostnader för ett system ofta är energianvändning samt kemikalieanvändning. Dessa värderas här separat för att minska risken för dubbelräkning.

Tabell 3. Kategorier samt kriterier under varje kategori som användes i multikriterieanalysen för Grisslehamn. Totalt delades 100 poäng ut. Inom varje kategori fördelas poängen på varje kriterium utifrån hur viktiga de anses vara. I tabellen visas även vad varje kriterium ska värdera samt dess förkortning.

Kategori	Kriterier	Förkortning	Värdering
Vattenkvalitet/Smittskydd	Risk för smittspridning	Smittspridning	<i>Värderar risken att dricksvattnet i vissa situationer kan bli kontaminerat med fekalier från människor och djur.</i>
	Risk för otjänlig vattenkvalitet	Otjänlig	<i>Värderar risken att det kommer in oönskade ämnen i dricksvattnet, till exempel läkemedelsrester eller andra kemiska föroreningar</i>
	Risk för otjänlig vattenkvalitet annat krav	Otjänligt (annat krav)	<i>Finns det till exempel en industri som har ett annat krav på vattenkvaliteten.</i>
Teknisk robusthet	Motståndskraft hydraulisk överbelastning	Hydraul. överbelastn	<i>Värderar möjligheterna att momentant eller under en längre tid producera mer vatten än antagen vattenförbrukning.</i>
	Konsekvens för lågt vattenuttag	Lågt uttag	<i>Värderar konsekvenserna av att brukarna förbrukar mindre vatten än antagits momentant eller under en lite längre period.</i>
	Motståndskraft överbelastning organiskt material	Org. överbelastn	<i>Värderar konsekvenserna av att råvattenresursen har ett högt innehåll av organisk substans.</i>

	Motståndskraft haverier	Haveri	<i>Värderar konsekvenserna av ett driftavbrott i reningsutrustning eller distribution</i>
Miljö- och resursanvändning	Energianvändning	Energi	<i>Värderar energianvändningen för drift av systemet.</i>
	Kemikalieanvändning	Kemikalier	<i>Värderar kemikalieanvändningen för rening och regenerering av filter och membran</i>
	Påverkan på vattenresurs	Vattenresurs	<i>Värderar dricksvattensystemens påverkan på vattenresurserna i omgivningen</i>
	Annan miljöpåverkan	Miljöpåverkan	<i>Värderar lokal miljöpåverkan på mark, vatten och luft</i>
Ansvars- och brukaraspekter	Tydlighet i ansvarsförhållanden	Tydl. ansvar	<i>Värderar om ansvarsförhållandena är tydliga givet dagens regelverk</i>
	Tillsyn och underhåll	Tillsyn	<i>Värderar mängden tillsyn som behövs för systemen</i>
	Enkelt att genomföra?	Genomförbarhet	<i>Värderar hur enkelt det är att genomföra systemen tekniskt och socialt.</i>
	Användarvänlighet	Användning	<i>Värderar brukarsituationen, om</i>

brukarna får ett mer eller mindre användarvänligt system jämfört med ett konventionellt.

Flexibilitet för ombyggnad

Hur enkelt är det att bygga ut systemet?

Utbyggnad

Värderar hur enkelt det är att bygga ut systemen utöver antagen vattenförbrukning

Kostnader

Investeringskostnad

Investering

Värderar investeringskostnaden för systemen.

Driftsbehov

Driftsbehov

Värderar tiden som behöver läggas på driften av systemen.

6. Resultat

6.1. Viktning

Det totala antalet poäng som kunde delas vid viktningen sattes till 100 och dessa poäng skulle sedan delas ut till varje kategori utifrån hur viktig man tyckte att den kategorin var för val av system.³ De poäng som tilldelats varje kategori skulle sedan fördelas mellan kriterierna i den kategorin. Av tabell 4 framgår att Vattenkvalitet/Smittskydd fick störst vikt.

Tabell 4. Resultatet av viktningen för respektive kategori och kriterium för Grisslehamn. Totalt delades 100 poäng ut som fördelades först till kategorierna och sedan till varje kriterium inom kategorierna utifrån hur viktiga de ansågs vara.

Kategori	Vikt	Kriterier	Vikt
Vattenkvalitet/Smittskydd	30	Risk för smittspridning	20
		Risk för otjänlig vattenkvalitet	10
		Risk för otjänlig vattenkvalitet annat krav	0
Teknisk robusthet	15	Motståndskraft hydraulisk överbelastning	3,75
		Konsekvens för lågt vattenuttag	3,75
		Motståndskraft överbelastning organiskt material	1,5
		Motståndskraft haverier	6
Miljö- och resursanvändning	20	Energianvändning	5
		Kemikalieanvändning	5
		Påverkan på vattenresurs	5
		Annan miljöpåverkan	5
Ansvars- och brukarspekter	10	Tydlighet i ansvarsförhållanden	3
		Tillsyn och underhåll	3
		Enkelt att genomföra?	2
		Användarvänlighet	2
Flexibilitet för ombyggnad	15	Hur enkelt är det att bygga ut systemet?	15
Kostnader	10	Investeringskostnad	5
		Driftsbehov	5
Summa	100		100

³ Medverkande vid viktningen var: Hanna Leife och Jessica Eisenring från Bygg- och Miljökontoret på Norrtälje kommun samt Erik Kärrman på Urban Water Management, Amelia Morey Strömberg från Utvecklingscentrum för vatten samt Karin Sjöstrand från SP (Sveriges tekniska forskningsinstitut).

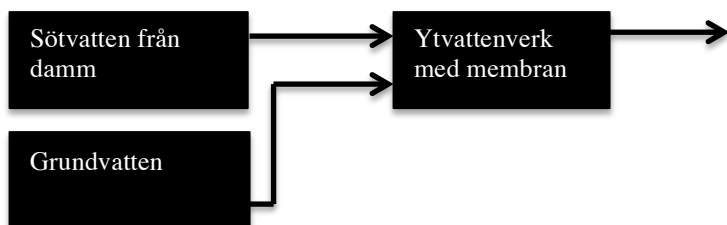
6.2. Val av systemalternativ

Fyra systemalternativ togs fram utifrån inventeringsfrågorna och nuvarande vattenförbrukning för vattenverket. Möjligheterna för Grisslehamn att ha konstgjord grundvattenbildning bedömdes som låg då jordarterna inte ansågs gynnsamma för infiltration, därför valdes detta alternativ bort utifrån svaren på inventeringsfrågorna beskrivna i bilaga 1.

Systemalternativen är i första hand meningen att vara ett komplement till nuvarande vattenförsörjning, främst för att klara försörjningen under sommarmånaderna då det är då som Grisslehamn ibland får problem med vattenbrist. Utifrån beräkningarna gjorda i avsnitt 5.1.1 skulle det behövas ytterligare 175 m³ vatten / dygn då resten av Grisslehamn samt Byholma och Ekbacken ansluts till kommunalt VA. Systemalternativen beskrivna nedan är framtagna för att kunna tillgodose det utökade vattenbehovet runt år 2025.

6.2.1. Systemalternativ 1 - Ytvattenverk

Idag tar Grisslehamns vattenverk vatten från sötvattendammarna när grundvattnet inte räcker till. Vattnet leds fram till vattenverket och blandas med grundvattnet innan det genomgår samma rening som grundvattnet, med ett extra sista steg där vattnet även kloreras. Det första systemalternativet bygger på att dessa sötvattendammar börjar användas mer då verksamhetsområdet för kommunalt VA utökas till hela Grisslehamn, Byholma och Ekbacken. Kapaciteten på det nuvarande vattenverket beräknas inte klara av den utökade vattenanvändningen varför vattenverket även behöver byggas om för att klara en ny maxkapacitet på 505 m³/dygn. Dessutom måste verket byggas om så det klarar behandling av ytvatten. Då vattnet passerar ett naturligt sandlager innan det pumpas in till vattenverket (och därmed får en första bortfiltrering av stora partiklar) föreslås att vattenverket byggs om med membranfiltrering, förslagsvis tvåstegsmembran såsom UF och MF (alternativt NF, beroende på behov) för avskiljning av patogener samt ökade halter av organiskt material, humus och färg. Se figur 11 för principskiss.

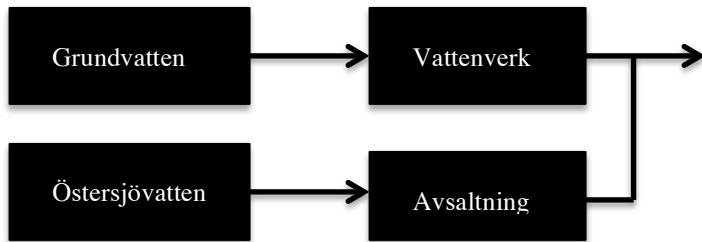


Figur 11. Principskiss över systemalternativ ett. Vatten tas från sötvattendammen då grundvattnet inte räcker till. Vattenverket måste byggas om så det klarar producera 505 m³/dygn istället för 330 m³/dygn. Förslaget är att verket byggs med membran, till exempel MF med NF för avskiljning av patogener, organiskt material och humus. Detta gör också att kemisk fällning inte behövs.

6.2.2. Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO (RO)

Det andra systemalternativet är avsaltning med RO-filtrering. En principskiss för avsaltning med RO-filtrering visas i figur 12. Vilka processer som sker i förbehandlingen varierar från anläggning till anläggning och beror på inkommande vattenkvalitet. Alternativet här består av

förbehandling med sandfilter, partikelfilter och dosering av antiskalanter. Efterbehandlingen består av UV-behandling samt kol och mineralfilter (Krasnai, 2014).



Figur 12. Principskiss över systemalternativ 2. Grundvatten tas från brunnar och behandlas i det nuvarande vattenverket i Grisslehamn. Som komplement byggs en avsaltningsanläggning med RO som avsaltar Östersjövatten. Anläggningen kan tas i drift när grundvattnet inte räcker till.

6.2.3. Systemalternativ 3 – Regnvatteninsamling (RVI)

Systemalternativ 3 är ett RVI-system hushållsnivå. Varje hushåll samlar in regnvatten från sina tak. Principen ges i figur 13. Systemet går att använda året runt. Vattnet kan, efter insamlingen användas till allt utom dricksvatten, det vill säga bad, dusch och tvätt. Vill hushållet även använda vattnet som dricksvatten rekommenderas någon typ av desinfektion till exempel genom installation av ett RO-filter enligt avsnitt 3.2.2.



Figur 13 – Principskiss över systemalternativ tre. En del av vattenförsörjningen löses med regnvatteninsamling på hushållsnivå genom uppsamling på taket. För att regnvattnet ska kunna användas som dricksvatten behövs till exempel en installation av ett RO-filter. Detta kan komplettera den nuvarande vattenförsörjningen i Grisslehamn då grundvattnet inte räcker till.

Räcker regnvattnet?

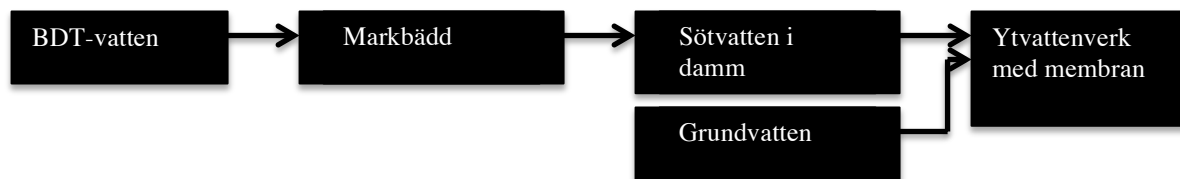
Hur mycket regnvatten som kan samlas in totalt under året ges av ekvation (2). Årsnederbörden är 639 mm. Takytan antas vara 100 m² och avrinningskoefficienten 0,8. Mängden vatten som kan samlas in per år blir därmed:

$$V = \frac{(639 \cdot 100 \cdot 0,8)}{1000} = 51,12 \text{ m}^3$$

Tanken bör vara $0,05 \cdot 51,12 = 2,6 \text{ m}^3$ vilket kan avrundas till en tank på 3 m³. Ett hushåll på 2,5 personer som förbrukar i snitt 160 liter per person och dag gör av med 146 m³ vatten per år vilket gör att regnvattnet skulle stå för ungefär 35 % av den totala vattenanvändningen.

6.2.4. Systemalternativ 4 – Insamling av BDT-vatten (BDT)

Då Grisslehamn har ett problem med många underkända avlopp togs även ett systemalternativ fram med syftet att återanvända BDT-vatten. Varje hushåll ansluts till en central markbädd för BDT-vatten och skulle också till ett avloppssystem med en sluten tank dit toalettavloppet leds. BDT-vattnet leds sedan i en ledning till en gemensam markbädd, se figur 14. Efter markbädden leds vattnet vidare till sötvattendammarna. Från sötvattendammarna tas vatten när grundvattnet inte räcker till. Detta systemalternativ kräver, liksom alternativ 1 att vattenverket byggs ut så det klarar behandling av ytvatten. Kapaciteten på vattenverket behöver även ökas till samma som i alternativ 1.



Figur 14. Principskiss över systemalternativ 4. BDT-vatten leds bort från varje hushåll till en markbädd som ligger i anslutning till de nuvarande sötvattendammarna. Detta görs för att minska risken att dammarna torkar ut. Vattnet behandlas i ett ytvattenverk enligt samma princip som i systemalternativ 1 (avsnitt 6.2.1).

I ett första skede skulle nästan alla fastigheterna i Ekbacken anslutas (184 stycken), på grund av att Ekbacken idag till större delen redan har separerat avlopp samt den geografiska närheten till sötvattendammarna. En gemensam ledning skulle sedan dras till en markbädd som skulle placeras i anslutning till den övre sötvattendammen.

6.3. Betygsättning

De fyra systemalternativen beskrivna i avsnitt 6.2. betygsattes sedan utifrån hur väl de ansågs klara kriterierna i tabell 3. Betygen sattes mellan 1 och 5 utifrån hur väl de presterar jämfört med ett konventionellt⁴ vattenförsörjningssystem baserat på råvatten från en ytvattentäkt i Grisslehamns skala enligt:

Betyg 5: Systemet presterar **mycket bättre** än ett konventionellt vattenförsörjningssystem baserad på råvatten från ytvattentäkt i Sverige i Grisslehamns skala

Betyg 4: Systemet presterar **bättre** än ett konventionellt vattenförsörjningssystem baserad på råvatten från ytvattentäkt i Sverige i Grisslehamns skala

Betyg 3: Systemet presterar **lika bra** som ett konventionellt vattenförsörjningssystem baserad på råvatten från ytvattentäkt i Sverige i Grisslehamns skala

Betyg 2: Systemet presterar **sämre** än ett konventionellt vattenförsörjningssystem baserad på råvatten från ytvattentäkt i Sverige i Grisslehamns skala

Betyg 1: Systemet presterar **mycket sämre** än ett konventionellt vattenförsörjningssystem baserad på råvatten från ytvattentäkt i Sverige i Grisslehamns skala

En första betygsättning gjordes.⁵ Resultatet av betygsättningen visas i tabell 5, investeringskostnader för systemen visas i bilaga 2 och motiveringen bakom varje betyg visas i bilaga 3.

⁴ Med konventionellt ytvattenverk menas kemfällning, sedimentering och snabbfiltrering som är de vanligaste behandlingsstegen i ett konventionellt ytvattenverk i Sverige idag enligt Kärrman m.fl. (2004).

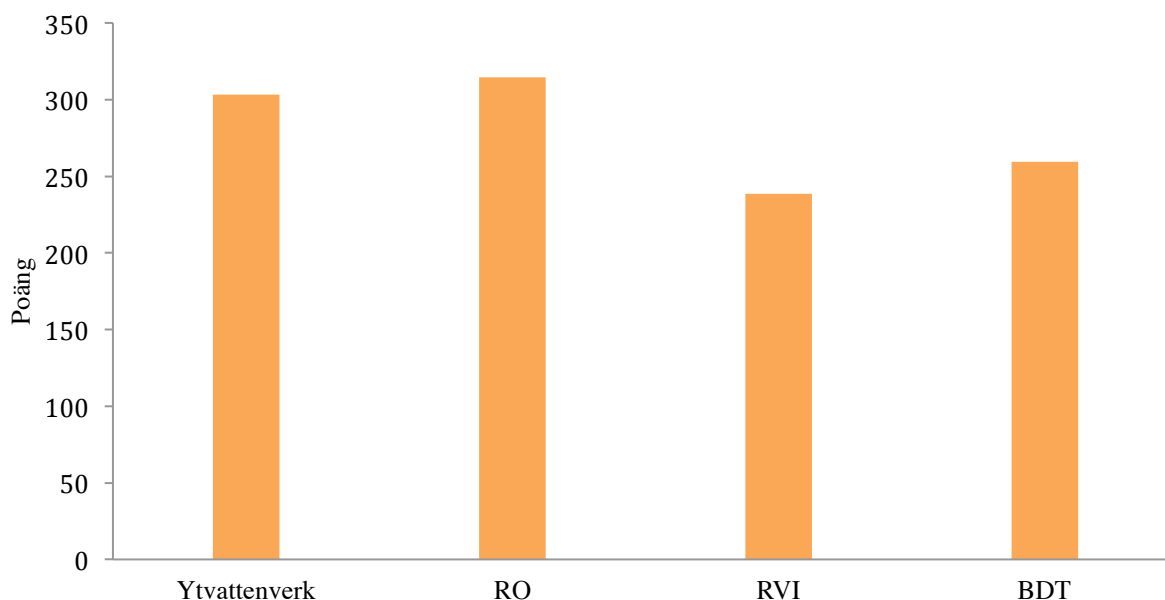
⁵ Medverkande vid betygsättningen var: Hanna Leife och Jessica Eisenring från Bygg- och Miljökontoret samt Martina Berg från VA-kontoret i Norrtälje kommun samt projektgruppen.

Tabell 5. Resultatet av betygsättningen för systemalternativ 1-4. Betyget motsvarar hur bra systemet uppfyller respektive kategori där 5 är högst och 1 lägst.

Kategori	Kriterier	Betyg Söt.	Betyg RO.	Betyg RVI.	Betyg BDT.
Vattenkvalitet/Smittskydd	Risk för smittspridning	4	4	2	3
	Risk för otjänlig vattenkvalitet	3	2	3	2
	Risk för otjänlig vattenkvalitet annat krav	-	-	-	-
Teknisk robusthet	Motståndskraft hydraulisk överbelastning	3	3	1	3
	Konsekvens för lågt vattenuttag	3	3	2	3
	Motståndskraft överbelastning organiskt material	2	2	3	2
	Motståndskraft haverier	3	4	5	3
Miljö- och resursanvändning	Energianvändning	2	1	2	2
	Kemikalieanvändning	4	4	5	4
	Påverkan på vattenresurs	3	3	3	4
	Annan miljöpåverkan	3	3	3	2
Ansvars- och brukarspekter	Tydlighet i ansvarsförhållanden	3	3	2	3
	Tillsyn och underhåll	3	3	2	3
	Enkelt att genomföra?	3	2	1	1
	Användarvänlighet	3	3	2	3
Flexibilitet för ombyggnad	Hur enkelt är det att bygga ut systemet?	2	3	1	3
Kostnader	Investeringskostnad	3	4	1	2
	Driftkostnad	3	3	1	2

6.4. Resultat MKA

Resultatet från viktningen i avsnitt 6.1, samt betygsättningen i avsnitt 6.3, multiplicerades med det totala poängantalet visas i figur 15. Ju högre poäng, desto bättre är systemet enligt MKA. Det visade sig att avsaltning med RO samt Ytvattenverket fick klart högre poäng än insamling av BDT-vatten och regnvatteninsamling.



Figur 15. Figuren visar den totala poängen som respektive systemalternativ fick i multikriterieanalysen (MKA) Högst poäng fick avsaltning med RO (RO) med 314,5 poäng, följt av ytvattenverket med 303,5 poäng. BDT fick 259,5 poäng och RVI 238,75 poäng.

6.4.1. Känslighetsanalys

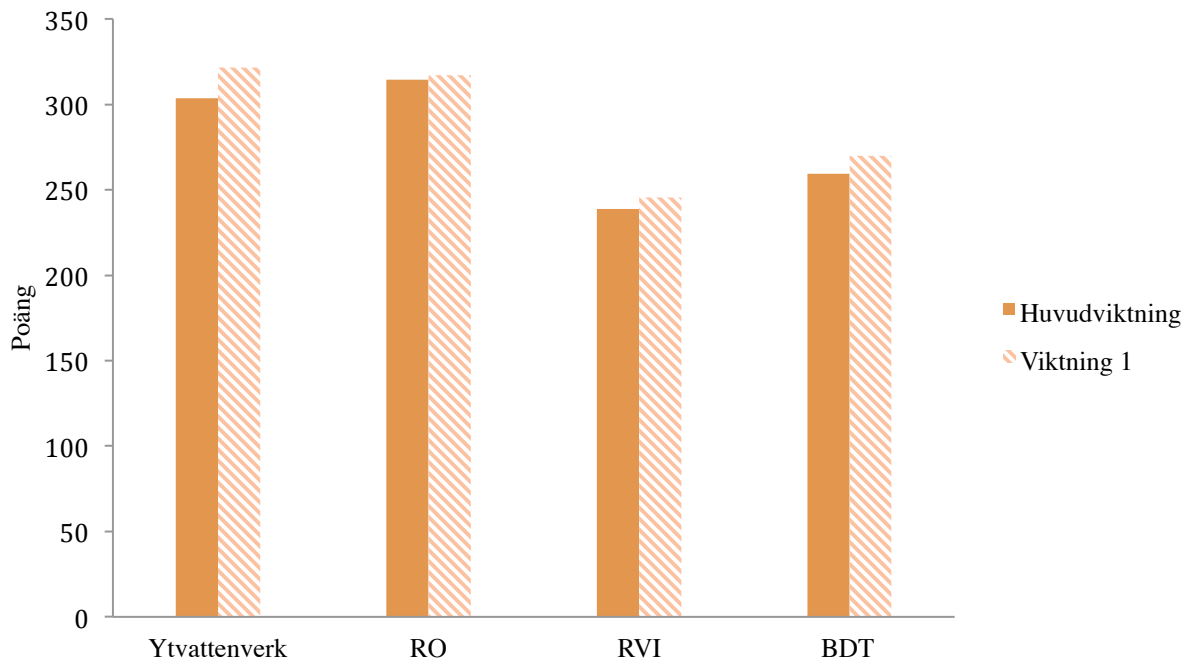
En känslighetsanalys gjordes för att se om det fanns någon viktning som påverkade resultatet så att utslaget blev annorlunda än resultatet som visas i figur 15. I känslighetsanalysen hölls betygssättningen intakt och känslighetsanalysen genomfördes enbart på viktningen. Analysen gjordes genom att ge enstaka kriterier större proportion av de totala poängen. Till exempel; om investeringskostnaden värderas 2 gånger högre jämfört med övriga kriterier multipliceras först investeringskostnadens poäng med 2 och därefter skalas samtliga kriterier så att summan av alla poäng blir 100.

Då RO och ytvattenverket hade så pass mycket mer poäng än BDT och RVI gjordes först en känslighetsanalys mellan dessa. En känslighetsanalys gjordes sedan för BDT och RVI för att se om dessa fick en högre placering än RO eller ytvattenverket om de kriterier som dessa system fått höga betyg i och som hade en högre vikt från början än fem poäng värderades högre. I analysen undersöktes även hur hög vikt vissa kriterier behövde få för att BDT eller RVI skulle få en förstaplacering.

Känslighetsanalys mellan RO och ytvattenverket

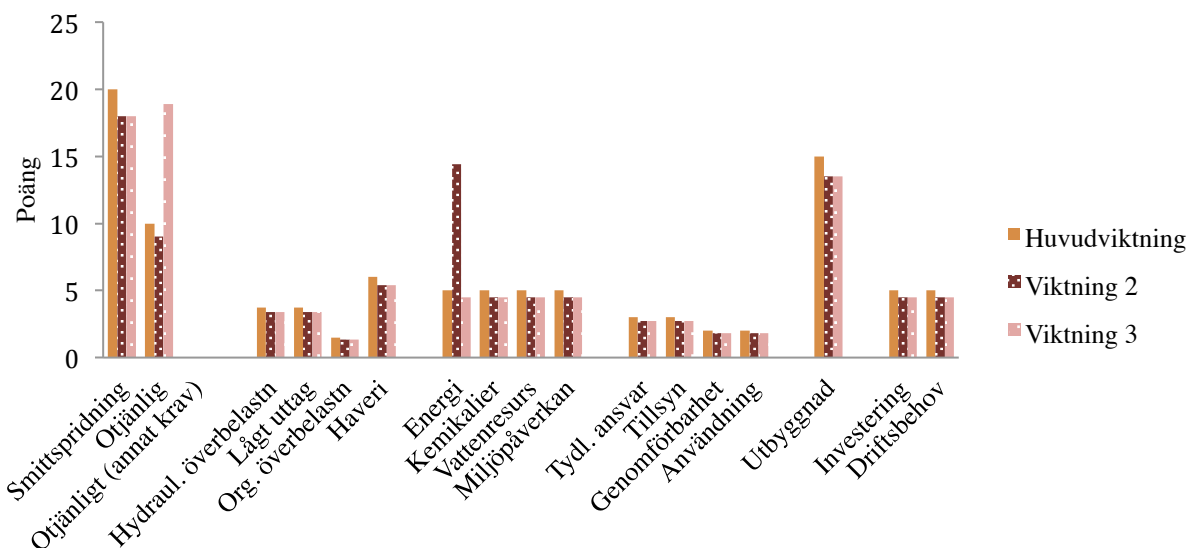
Då inga utbyggnadsplaner är planerade i Grisslehamn och vattenverket dessutom redan är dimensionerat för en 50 % högre vattenförbrukning än den högsta medeldygnsanvändningen var det första som undersöktes vad som hände om *"Hur enkelt är det att bygga ut systemet?"* tilldelades noll poäng och resten av poängen fördelades likvärdigt mellan resten av kriterierna. Resultatet av det var att ytvattenverket fick placering ett och RO placering två, se figur 16 för en jämförelse mellan resultatet där *"Huvudviktningen"* som visas i tabell 4 har använts i MKA.

Däremot räcker det med att *"Investeringskostnad"* värderas 1,8 gånger högre (nio poäng istället för fem) för att RO och ytvattenverket återigen blir likvärdiga.



Figur 16. Figuren visar den totala poängen som respektive systemalternativ fick i multikriterieanalysen (MKA) efter att kriteriet *"Hur enkelt är det att bygga ut systemet?"* med förkortningen *"Utbyggnad"* tilldelades 0 poäng (Viktning 1) tillsammans med den ursprungliga viktningen som visas i tabell 4 (Huvudviktning). Ju högre poäng desto bättre är systemet enligt MKA. Högst poäng fick då ytvattenverket med 321,76 poäng följt av RO som fick 317,05 poäng. BDT fick 270 poäng och RVI 245,58 poäng.

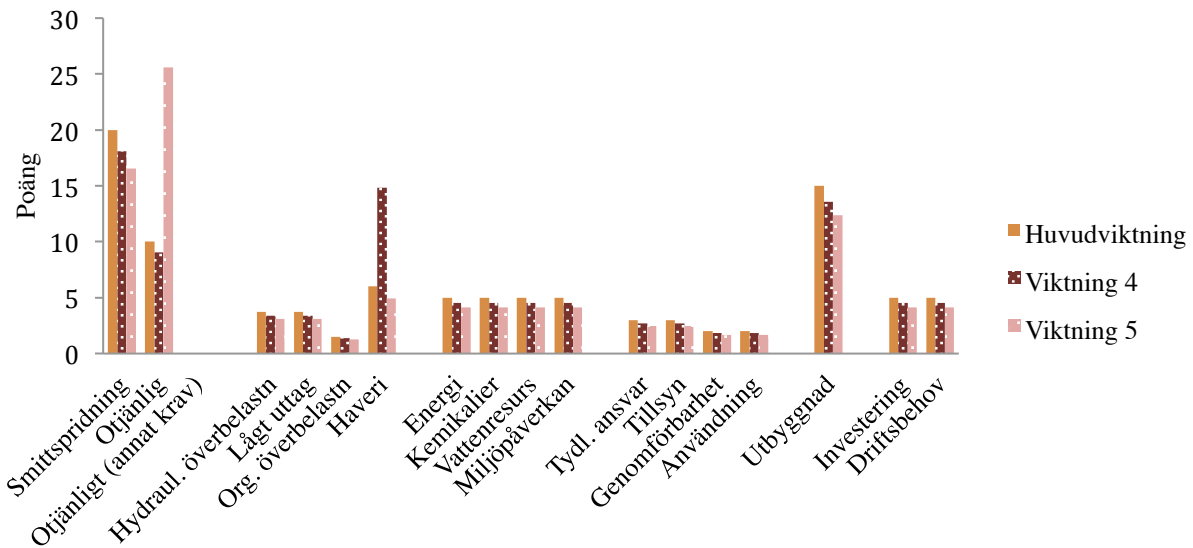
Då ytvattenverket och avsaltning med RO hade relativt jämna poäng så undersöktes sedan de kriterier där ytvattenverket hade ett högre betyg än RO och viktpoängen var högre än fem. Det visade sig att om *"Energianvändning"* värderas 3,2 gånger högre (16 poäng istället för fem) eller *"Risk för otjänlig vattenkvalitet"* värderas 2,1 gånger högre (21 poäng istället för tio) blir ytvattenverket likvärdigt med avsaltning med RO, se figur 17 för fördelningen av viktpoäng mellan de olika kriterierna.



Figur 17. Figuren visar hur många viktpoäng som respektive kriterium tilldelats från början enligt tabell 4 (Huvudviktning) samt viktpoängen då "Energianvändning" värderades 3,2 gånger högre (Viktning 2) samt "Risk för otjänlig vattenkvalitet" värderades 2,1 gånger högre (Viktning 3). När kriterierna viktades enligt viktning 2 och viktning 3 blev RO och ytvattenverket likvärdiga. En förklaring av vad varje förkortning står för finns i tabell 3. Alla kriterier är grupperade så de ligger nära andra kriterier inom samma kategori.

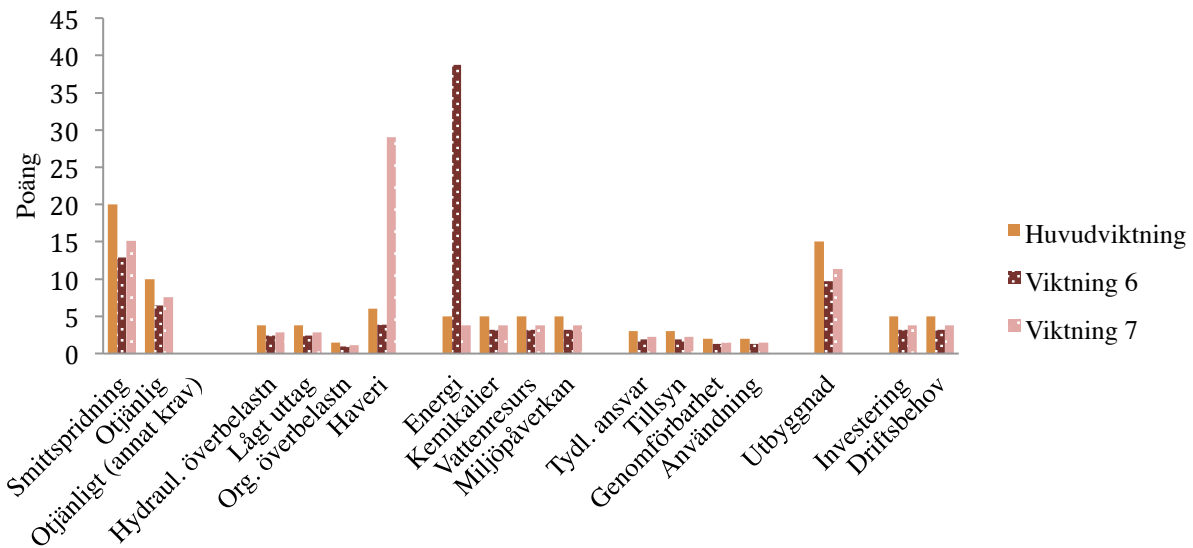
Känslighetsanalys RVI och BDT

Både RVI och insamling av BDT fick betydligt lägre poäng än avsaltning med RO och ytvattenverket i MKA. Därför gjordes först en undersökning mellan RVI och insamling av BDT på samma sätt som mellan ytvattenverket och avsaltning med RO. RVI blev likvärdigt med insamling av BDT om "Motståndskraft haverier" värderades ungefär 2,73 gånger högre (16,38 poäng istället för sex) samt om "Risk för otjänlig vattenkvalitet" värderades ungefär 3,1 gånger högre (får 31 poäng istället för tio), se figur 18.

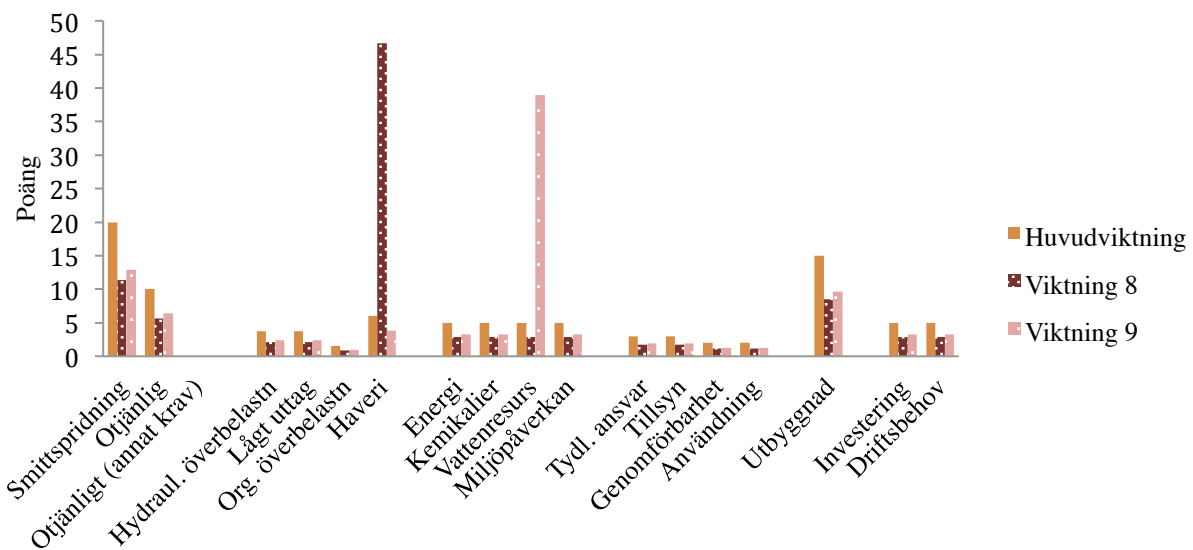


Figur 18. Figuren visar hur många viktpoäng som respektive kriterium tilldelats från början enligt tabell 4 (Huvudviktning) samt viktpoängen då "Motståndskraft haverier" värderades 2,73 gånger högre (Viktning 4) samt "Risk för otjänlig vattenkvalitet" värderades 3,1 gånger högre (Viktning 5). När kriterierna viktades enligt viktning 4 och viktning 5 blev BDT och RVI likvärdiga. En förklaring av vad varje förkortning står för visas i tabell 3. Alla kriterier är grupperade så de ligger nära andra kriterier inom samma kategori.

Det undersöktes även hur mycket högre ett kriterium behövde värderas för att RVI eller insamling av BDT skulle värderas likvärdigt med ytvattenverket eller avsaltning med RO. Det krävdes att "Energianvändning" värderades 12 gånger högre (38,7 poäng istället för fem) innan avsaltning med RO och BDT blev likvärdiga och för att RVI och ytvattenverket skulle bli likvärdiga krävdes att "Motståndskraft haverier" värderades 6,4 gånger högre (29 poäng istället för sex), se figur 19. Ingen av dessa viktningar gjorde ändå att RVI eller BDT hamnade på förstaplats. För att RVI skulle hamna på första plats krävdes att "Motståndskraft haverier" värderades 13,7 gånger högre (46,65 poäng istället för sex). För att BDT skulle hamna på första plats krävdes att "Påverkan på vattenresurs" värderades 12,1 gånger högre (38,91 poäng istället för fem), se figur 20.



Figur 19. Figuren visar hur många viktpoäng som respektive kriterium tilldelades från början enligt tabell 4 (Huvudviktning) samt viktpoängen då "Energi" värderades 12 gånger högre (Viktning 6) samt "Motståndskraft haveri" värderades 6,4 gånger högre (Viktning 7). När kriterierna viktades enligt viktning 6 blev RO och RVI likvärdiga. När kriterierna viktades enligt viktning 7 blev RO och BDT likvärdiga. En förklaring av vad varje förkortning står för visas i tabell 3. Alla kriterier är grupperade så de ligger nära andra kriterier inom samma kategori.



Figur 20. Figuren visar hur många viktpoäng som respektive kriterium tilldelades från början enligt tabell 4 (Huvudviktning) samt viktpoängen då "Motståndskraft haveri" värderades 13,7 gånger högre (Viktning 8) samt "Påverkan på vattenresurs" värderades 12,1 gånger högre (Viktning 9). När kriterierna viktades enligt viktning 8 hamnade RVI på förstaplats med högst poäng. När kriterierna viktades enligt viktning 9 hamnade BDT på förstaplats med högst poäng. En förklaring av vad varje förkortning står för visas i tabell 3. Alla kriterier är grupperade så de ligger nära andra kriterier inom samma kategori.

7. Diskussion

7.1. Litteraturstudie om vattenbrist

I litteraturstudien togs fyra olika metoder för att tillgodose vattenförsörjningen i ett område med vattenbrist upp. Dessa var konstgjord grundvattenbildning, regnvatteninsamling, avsaltning av havsvatten samt återanvändning av vatten. Det kan tänkas att det även finns andra sätt att hantera vattenbrist men då dessa alternativ var väl beprövade, passar svenska förhållanden samt att det fanns många artiklar om dem så gjordes valet att fokusera på dessa alternativ. Alternativen är inte lämpliga på alla ställen som har vattenbrist och därmed utvecklades en metod för att lämpligen kunna välja rätt system för ett område med vattenbrist.

I litteraturstudien diskuterades även vattenbesparande teknik (avsnitt 3.4.). Under projektets gång bestämdes det dock att systemalternativen skulle klara en normal vattenförbrukning (160 liter per person och dag). Valet gjordes istället att vattenbesparande teknik skulle finnas med för att visa att besparing och ny teknik faktiskt kan leda till minskad vattenanvändning så att inga nya råvattenkällor behöver hittas. I ett område med större vattenbrist än Grisslehamn kanske vattenbesparande teknik hade blivit en mer aktuell fråga.

7.2. Metod

Metoden i den här rapporten är modifierad utifrån Stockholms läns landstings generella arbetsmetodik för val av VA-system. En liknande metod har använts av Göteborg stad för att välja hållbara systemalternativ för hantering av avlopp och bioavfall. Metoden har kontinuerligt modifierats med hjälp av projektgruppen. De frågor som behöver besvaras för att kunna värdera de naturgivna och samhällsliga förutsättningarna för ett område ges i avsnitt 4. Det kan tänkas att det saknas frågor för att kunna göra en helhetsbedömning. När frågorna testades på fallstudieområdet (svaren visas i bilaga 1), gick det att svara på alla befintliga frågor. Inga nya frågor uppkom under arbetet med fallstudien varför ytterligare frågor inte lades till i efterhand. Både jag och projektgruppen hade Grisslehamn i bakhuvudet när frågorna formulerades, varför vissa frågor omedvetet kan ha blivit specificerade för just Grisslehamn.

Som utvärdering, steg 3 i figur 8, användes multikriterieanalys (MKA). Hajkowicz & Higgins (2006) nämner att det ofta inte är valet av MKA-teknik som avgör hur bra utfallet blir. Komplicerade MKA-metoder kan istället riskera att leda till att beslutsfattaren blir förvirrad. Därför användes en linjär additiv metod, ekvation (1), som MKA-verktyg i den här rapporten. Varje kategori under steg 3 bör hållas konstant för alla områden då de gemensamt är tänkta att ge en total hållbarhetsbedömning utifrån ekonomiska, sociala och miljömässiga kriterier. Inom respektive kategori kunde dock valet av kriterier varieras beroende på område. Valet av kriterier skulle helst göras av en bred referensgrupp så att inga områden missas. För fallstudien gavs även representanter från Norrtälje kommun möjlighet att komma med åsikter om val av kriterier utifrån vad de ansåg vara viktigt i analysen. Det kan tänkas att valet av kriterier (tabell 3), hade sett annorlunda ut om den enbart konstruerats med hjälp av projektgruppen. Många av kriterierna, till exempel användarvänlighet, risk för smittspridning och investeringskostnad är generella kriterier som skulle kunna finnas med i en lista med obligatoriska kriterier. Utöver denna lista kan sedan intressenter i varje område lägga till eller ta bort mera platsspecifika kriterier. Det gjordes dock inte en sådan separation i det här projektet utan alla kriterier togs fram efter att

arbetet med fallstudien hade påbörjats. I ett fortsatt arbete borde analys göras om vilka kriterier som kan anses vara obligatoriska och vara en del av MKA-analysen från början. Därefter finns möjligheten att lägga till ytterligare kriterier.

7.3. Fallstudie

7.3.1. Val av systemalternativ

Systemalternativ 1 innebär en nybyggnation av ett ytvattenverk där sötvattendammarna skulle fungera som råvattenkälla. Dessa dammar är redan idag byggda för att användas då grundvatten inte räcker till. Idag renas vattnet i vattenverket som ett grundvatten enligt Hultkrantz, pers. medd. (2014). Detta gäller även då en del av vattnet tas från sötvattendammarna. Den enda egentliga desinfektionen som sker i verket idag är UV-ljus, som kompletteras med klorering då grundvattnet blandas ut med ytvatten. I ett framtidsscenario där vattenanvändningen kan öka till 505 m³/dygn, som går att jämföra med det nuvarande verkets maxkapacitet på ungefär 330 m³/dygn, krävs en ombyggnad av verket. Med en högre vattenanvändning krävs även att en större del av råvattnet tas från sötvattendammarna. Vattenverket borde då byggas om så att det klarar av en ökad kapacitet samt behandling av ytvatten. Vattnet passerar redan idag ett sandlager innan det pumpas in till verket vilket ger en reduktion av organiskt material. För att veta om det nuvarande sandfiltret är tillräckligt som förbehandling innan vattenverket samt vilken typ av förbehandling som skulle krävas om så inte är fallet krävs att vattenprover tas på ytvattnet. Inga vattenprover har dock tagits inom ramen för detta projekt.

Systemalternativ 2, avsaltning av havsvatten, är en väl beprövad vattenförsörjningsmetod i områden med vattenbrist om tillgång till havsvatten finns, även i Sverige. Membranteknik valdes framför destillering då det enligt bland annat Raluy m.fl. (2005) och Greenlee m.fl. (2009) med dagens teknik är betydligt mindre energikrävande än destillering. Dessutom finns beprövad erfarenhet samt befintliga återförsäljare av membranläggningar i Sverige. Ett problem med membranteknik är att det kräver förbehandling av vattnet för att undvika att membranerna sätts igen (WHO, 2007). Genom att placera intaget på ett större djup såsom i en anläggning på Utö så kan enligt af Peterssen (pers. medd., 2014) en jämnare vattenkvalitet uppnås med mindre säsongsvariationer och lägre risk för driftstörningar. Risken är annars hög för att bland annat algblomning kan sätta igen membranerna under sommarmånaderna. Då anläggningen på Utö varit i drift under 16 år med få driftstörningar, samt att Norrtälje kommun tidigare använt avsaltning antogs det att avsaltning borde vara ett möjligt alternativ för Grisslehamn. Men det behöver då göras en noggrann undersökning av vattenkvaliteten, särskilt av mängden partiklar på olika djup, så att inte igensättning riskeras under sommarmånaderna. En fördel med avsaltning är att det befintliga vattenverket inte behöver byggas ut utan att en avsaltningsanläggning istället kan användas då kapaciteten på vattenverket inte räcker till för att tillgodose vattenförsörjningen, framförallt på sommaren.

Systemalternativ 3 och 4, det vill säga regnvatteninsamling (RVI) samt återanvändning av vatten är näst intill obeprövade i Sverige. Under arbetets gång hittades två artiklar där regnvatteninsamling diskuteras för tillämpning i Sverige. Den första är en artikel skriven av Herbert & Erikson (2009) där vattenkvaliteten hos ett befintligt RVI-system i Sverige beskrivs. Den andra artikeln är en artikel av Virraeal & Dixon (2004) där författarna undersöker om RVI

skulle kunna användas i ett höghusområde i Norrköping. Detta aktualiserades dock inte. Att tekniken är så pass obeprövad i Sverige gjorde det svårt att veta hur vårt svenska klimat påverkar insamlingsmöjligheterna. Virraeal & Dixon (2004) räknar till exempel med att regnvatten inte går att samla in under december till februari om nederbörden består av snö, men det framgår inte varför snön inte går att samla upp senare. Det kanske även är så att det inte är snö under dessa tre månader. Hänsyn har inte tagits i studien till om regnvatteninsamling inte är möjlig under dessa tre månader då Grisslehamn idag inte har problem med vattenbrist på vintern. I ett område där vattenbristen är fördelad jämnt över året hade dock effekten av ett tre månaders bortfall av vatten behövts ta med i beräkningarna.

Regnvatten är i sig ett relativt rent råvatten, men riskerar att kontamineras då det kommer i kontakt med uppsamlingsområdet, med bland annat patogener från fågelspillning. WHO (2011) beskriver att kontaminering kan minskas om uppsamlingsytan spolats av regelbundet. Samtidigt nämner Sazakli m.fl. (2007) att RVI-system i urbana områden riskerar att kontamineras med luftburna föroreningar från trafik och industrier varför regnvattnet har en sämre kvalitet redan när det når uppsamlingsytan. I ett område som Grisslehamn med lite trafik och industrier borde dock regnvattnet vara relativt fritt från luftburna föroreningar, men risken för kontaminering av patogener kvarstår dock.

I Sverige hittades bara en återförsäljare av ett komplett RVI-system. Systemet kräver att separata RO-system kombineras med anläggningen om dricksvattenkvalitet ska uppnås. Detta är något som användaren måste installera själv vilket gör alternativet krångligare för användaren. Det finns även andra sätt att desinficera regnvatten där den vanligaste behandlingen av regnvatten enligt Li m.fl. (2010) är klorering. Andra metoder är enligt Kinkade-Levario (2007) UV-lampor och ozonbehandling. Ingen av dessa metoder används för befintliga system i Sverige idag varför en analys av ett RVI-system med den typen av desinfektion inte undersöktes.

Enligt Kinkade-Levario (2007) kan regnvatteninsamling minska risken för saltvatteninträngning i brunnar då vattnet istället för att rinna ner till havet släpps ut under mark, konstgjord grundvattenbildning. I Grisslehamn finns problem med saltvatteninträngning och därmed skulle ett sådant argument kunna stärka regnvatteninsamling som ett hållbart alternativ. Grisslehamn har dessutom en stor del fritidsboende. Det kan tänkas att dessa hushåll hade kunnat ha ett RVI-system för sin vattenförsörjning då de använder huset för att minska belastningen på det kommunala VA-nätet.

Systemalternativ 4 är återanvändning av vatten. Återanvändning av vatten är något som tillämpas i områden med svår vattenbrist, till exempel i Windhoek i Namibia (Pisani, 2005), i Singapore (PUB, 2013) och Australien (Mekala m.fl., 2008). Pisani (2005) samt Flyborg m.fl. (2006) konstaterar att acceptansen för återanvänt avloppsvatten är låg trots att dagens teknik gör det möjligt att rena vatten till en fullgod dricksvattenkvalitet. Även i det här projektet möttes återanvändning av BDT-vatten, här i form av att förstärka tillförseln av vatten till sötvattendammarna, med viss skepticism. Under studiens gång ägnades därmed tid åt att försöka hitta svenska studier där kvaliteten på BDT-vatten undersöktes. En undersökning av kvaliteten för BDT-vatten gjordes av Ottoson & Stenström (2003) där det visade sig att avskiljningen av virus var något låg. Det konstaterades sedan av Jönsson m.fl. (2005) att en avskiljning till upp till 99 % kunde fås genom att förbehandla vattnet med kemisk fällning. För systemalternativet med BDT-

vatten har kemisk fällning uteslutits varför det kan finnas risk för att virus finns kvar i vattnet då det når sötvattendammarna. Det har dock förutsatts att avskiljningen av virus ändå blir fullgod då vattnet kommer att behandlas i ett membranverk varför en filtrering i UF eller NF kommer avskilja eventuella virus, se tabell 2 i avsnitt 3.2.3.

Ett annat problem med återanvändning av BDT-vatten är att det saknas tillräcklig forskning av sammansättningen vilket Almqvist m.fl. (2007) poängterar. Det kan tänkas att mer forskning om BDT-vattnets innehåll och möjlighet till återanvändning kan göra att acceptansen för återanvändning ökar. Att ta upp återanvändning av blandat avloppsvattnet var inte aktuellt för Grisslehamn då vattenbristen inte är tillräckligt akut samt att acceptansen för en sådan lösning borde vara ännu lägre än för återanvändning av enbart BDT-vatten.

7.3.2. Kostnader

Kostnader inkluderar inte ledningsdragning då de områden som idag ligger utanför kommunalt verksamhetsområde för VA är med i Norrtälje kommuns utbyggnadsplan för kommunalt VA. Det kan tyckas bristfälligt att ledningar till markbädden heller inte räknas med i återanvändning av BDT men här antas också att dessa ledningar ändå behöver dras då Ekbacken blir en del av det kommunala verksamhetsområdet. I stort sett alla hushåll i Ekbacken har redan separat avlopp med WC till slutna tank varför den extra kostnaden för separata ledningar i husen inte räknas med. Om fler hushåll som inte har separata ledningar i hushållet ansluts till markbädden blir kostnaden för anslutning högre eftersom separata ledningar även behöver byggas i huset.

Kostnaderna blir alla ungefärliga då alla systemalternativ kräver noggranna platsundersökningar och vattenprover. Dessutom är köp av mark inte inkluderat vilket kan bli en stor kostnad om kommunen inte äger marken.

Kostnaden för RVI-systemet blev klart högst vilket antagligen beror på att priset togs från den enda nuvarande återförsäljaren av ett RVI-system. Det kan tänkas att kostnaden hade kunnat bli mycket lägre om det förutsatts att systemet byggs av den som äger huset och systemkomponenter köps in själv av återförsäljare. Detta undersöktes inte då det ansågs för krångligt för hushållet. Däremot visar tidigare studier av kostnader från Storbritannien (Roebuck, 2010) samt Irland (Li m.fl., 2010) på kostnader i ungefär samma storleksordning som de kostnadsförslag som gavs från en återförsäljare i Sverige. Li m.fl. (2010) skrev dock att system med en lagringskapacitet av ungefär 1,5 m³ kunde kosta så lite som 16000 kronor, vilket då blir klart lägre än 45000 kronor för en tank på 3 m³ som användes när RVI systemet jämfördes i MKA (se bilaga 2).

Avsaltning med RO har den lägsta kostnaden. Kostnaden för avsaltning är beroende på kapaciteten på verket. I den här beräkningen är kapaciteten 10 m³/h (om verket är i drift 18 timmar per dygn blir det i kombination med det befintliga vattenverket en kapacitet på 505 m³/dygn). Maxkapaciteten för enbart avsaltningsanläggningen blir vid 18 timmars drift 180 m³/dygn vilket är betydligt lägre än kapaciteten för ytvattenverket. RO anläggningen skulle fungera som ett komplement till det befintliga vattenverket medan ytvattenverket skulle nybyggas från grunden. Att installera en sådan RO anläggning skulle alltså göra att vattenverket inte behövde byggas ut. Men det kräver samtidigt att det befintliga vattenverket producerar vatten av

en tillräckligt god kvalitet. Det gör även att ett nytt verk, med kapitalkostnad, delvis kom att jämföras med ett äldre verk utan kapitalkostnad.

7.3.3. Viktning

Det är viktigt att poängtera att viktningen genomförs för varje enskilt område. Om metoden testas på ett annat område kommer därmed viktningen att göras om av en annan grupp utifrån det områdets förutsättningar.

Viktningen genomfördes under en workshop med representanter från bygg- och miljökontoret i Norrtälje kommun samt projektgruppen. Viktningen genomfördes under kort tid och med liten förberedelse. Det gör att en del av kriterierna kan ha fått en högre respektive lägre vikt än de hade fått om referensgruppen fått förbereda sig och diskutera kring de olika kriterierna mer. Viktningen är en väldigt stor del av en multikriterieanalys och bör ges en del betänketid innan poäng delas ut. Det fanns inte tid till det inom ramen för det här projektet, men kan vara bra att poängtera om en liknande analys ska göras i ett framtida projekt. Det kan även tänkas att en bredare referensgrupp hade genererat ett annorlunda utfall. Att viktningen kan variera beroende på referensgrupp är något som tas upp i *"Systemstudie avlopp"* av Göteborg stad (Andersson m.fl., 2007). Där diskuteras även att viktningen kan förändras över tid. Viktningen ska främst ses som ett diskussionsunderlag för kommande beslut och resultatet är ofta en politisk fråga.

I Sverige används främst energi från vattenkraft och kärnkraft som båda har låga koldioxidutsläpp, varför en hög energianvändning i ett membranverk inte bidrar till ett ökat koldioxidutsläpp i samma utsträckning som i ett land som främst använder kol eller olja som energikälla. I ett sådant land kanske energianvändningen hade behövt värderas mycket högre vid viktningen. I Sverige blir istället energianvändningen snarare en kostnadsfråga. En hög energianvändning leder till större kostnader. Många länder där avsaltning är vanligt förekommande använder fossilt bränsle som energikälla varför koldioxidutsläppen blir betydligt högre än de blir om avsaltning används i Sverige. Där hade energianvändning troligen behövts analyseras mer ur ett miljöperspektiv

7.3.4. Betygsättning

Betygsättningen gjordes utifrån beskrivningen i avsnitt 6.3. där systemalternativ 1 till 4 jämfördes med ett konventionellt vattenförsörjningssystem i Grisslehamns skala baserat på råvatten från en ytvattentäkt. Betygsättningen sätts utifrån hur väl respektive systemalternativ uppfyller kriterierna i tabell 3. Betygsättningen gjordes först med hjälp av litteraturstudien och genom att olika återförsäljare och dylikt kontaktades. Denna modifierades sedan efter ett möte den 18:e februari 2014 med projektgruppen samt representanter från Norrtälje kommun. Modifieringen var liten och placeringen mellan de olika systemalternativen blev likadan varför betygsättningen innan mötet inte redovisas i rapporten. I bilaga 3 diskuteras motiveringarna bakom betygsättningen som visas i tabell 5.

Utifrån viktningen som visas i tabell 4, var det tre kriterier som fick klart högre poäng än övriga, dessa var *"Risk för smittspridning"*, *"Risk för otjänlig vattenkvalitet"* samt *"Hur enkelt är det att bygga ut systemet?"*. Dessa får en stor utslagskraft om vissa systemalternativ betygsätts högre respektive lägre än andra alternativ.

Både ytvattenverket och avsaltning med RO tilldelades betyg 4 under kriteriet "*Risk för smittspridning*", RVI och BDT tilldelades betyg 2 respektive betyg 3. Det kan tänkas att ett högre betyg hade kunnat fås om befintliga RVI-system i Sverige idag hade sett annorlunda ut, med till exempel, tillhörande desinfektion, istället för att installera RO-system för de kranar där dricksvattenkvalitet önskas.

Avsaltning med RO tilldelades betyget 2 under kriteriet "*Risk för otjänlig vattenkvalitet*". Detta baseras på att det finns många oklarheter i hur bra befintliga anläggningar i Sverige idag är på att reducera algtoxiner. I Livsmedelsverkets rapport nr 1 från 2007 "*Algtoxiner i avsaltat dricksvatten*" undersöks frågan med resultatet att algtoxiner inte kan påvisas i någon större utsträckning. En sådan undersökning bör dock göras för flera anläggningar där en kraftig algblomning i råvattnet sker för att verkligen kunna utesluta att algtoxiner inte riskerar att finnas kvar i dricksvattnet.

Alla system förutom avsaltning med RO (som tilldelades betyg 3) fick betyg 2 för kriteriet "*Hur enkelt är det att bygga ut systemet?*". Då jämförelsen ska vara mot ett konventionellt ytvattenverk i Grisslehamns skala kan betyget tänkas något lågt för just ytvattenverket. Det finns, som sagt, redan två sötvattendammar med en total volym på 35 000 m³ med en naturlig tillrinning från Herrbäcken. Betyget motiveras med att dammarna är förhållandevis små, med negativ tillrinning under sommarmånaderna (då avdunstningen är högre än tillrinningen, se bilaga 1). Vattenanvändningen är som högst i Grisslehamn under sommarmånaderna. Det kan däremot tänkas att det inte är motiverat på grund av dammarnas vattenvolym ändå skulle räcka för sommarmånaderna varför betyg 3 kunde ha varit ett mer lämpligt betyg, det vill säga, på samma nivå som ett konventionellt ytvattenverk i Grisslehamns skala. Det skulle dock göra att betyget för avsaltning med RO borde ökas till 4 (eftersom systemet alltid går att bygga ut i större utsträckning än dammarna). Betygshöjningen för RO leder till att poängskillnaden mellan de två systemalternativen skulle bestå. Den eventuella poängskillnaden som skulle uppkomma om en betygsändring gjordes för ytvattenverket till betyg 3, skulle i så fall vara jämfört med RVI och BDT, men då dessa system ändå fick en så pass mycket lägre poängsumma så påverkar inte skillnaden resultatet.

Ett annat betyg som behöver diskuteras är att avsaltning med RO fick betyg 4 för kriteriet "*Kemikalieanvändning*". Kemikalieanvändningen för avsaltningsanläggningen ansågs i det här fallet vara lägre än för ett konventionellt vattenverk. Detta beror på att förbehandlingsstegen reducerar användningen av kemikalier. Detta beskrivs av Lattermann & Höpner (2007). Mindre avsaltningsanläggningar kan reducera (och till och med helt undvika) att kemikalier används genom att ta in vatten på större djup samt använda förfiltrering såsom exempelvis UF eller MF. Detta bekräftas även av af Peterssen (pers. medd., 2014) som är drifttekniker på Skärgårdsstiftelsens anläggning på Utö i Stockholms skärgård, där kemikalieanvändningen till stor del kunde undvikas genom förfiltrering och vattenintag på 20 meters djup. Däremot leder denna typ av förbehandling till en högre energianvändning vilket bland annat bidrar till att avsaltning med RO får betyg 1 för kriteriet "*Energianvändning*".

Insamling av BDT fick betyg 2 för kriteriet "*Driftbehov*" för att markbädden kräver extra underhåll, till exempel genom slamtömning. Detta är då jämfört med driften för övriga

systemalternativ och ett betyg som representanter från Norrtälje kommun påverkade då de ansåg att en markbädd kräver mer drift och underhåll jämfört med de avloppslösningar som används idag.

7.3.5. Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomfördes på viktningen för att se om det var några kriterier som påverkade resultatet. Kriteriet *"Hur enkelt är det att bygga ut systemet?"* var något övervärderat. Detta i och med att inga utbyggnadsplaner är planerade i Grisslehamn. Systemalternativen är dessutom redan dimensionerade för att klara att producera 50 % mer vatten än dygnsmedelförbrukningen under den månad då vattenförbrukningen är som högst. Om kriteriet *"Hur enkelt är det att bygga ut systemet?"* tilldelades noll poäng och poängen istället delades likvärdigt mellan resten av poängen fick ytvattenverket högst poäng (figur 16). Denna placering höll dock inte om ekonomi värderades 1,8 gånger högre. Att avsaltning hade lägst investeringskostnad visade sig alltså spela en stor roll vid känslighetsanalysen. Det kan därmed vara rimligt att se över viktningen av just investeringskostnad. Särskilt då kostnaderna är ungefärliga och inte inkluderar kostnader för bland annat köp av mark (se avsnitt 7.3.2.). Det kan därmed vara så att kostnaden i vissa fall blir högre än de kostnader som presenteras i bilaga 2. Avsaltning med RO får också en fördel gentemot ytvattenverket då den enbart skulle fungera som ett komplement till det gamla grundvattenverket, medan det nya ytvattenverket skulle klara hela det ökade vattenbehovet och därmed också får en högre investeringskostnad.

En klar fördel med RVI är, som även beskrivs av Villarreal & Dixon (2004) att självständigheten för vattenförsörjningen ökar hos användaren. Risken för haveri är även låg då systemet är förhållandevis enkelt. Det krävdes dock att kriteriet *"Motståndskraft haveri"* värderades 13,7 gånger högre (figur 20) för att RVI skulle få placering ett. Insamling av BDT-vatten bidrar till en ökning av mängden tillgängligt vatten. Det krävdes dock att kriteriet *"Påverkan på vattenresurs"* värderades 12,1 gånger högre (figur 20) för att BDT skulle få placering ett. Det fanns alltså inga kriterier som gjorde att regnvatteninsamling eller insamling av BDT hamnade på första plats med hjälp av endast en liten höjning av poängen.

7.3.6. Nytt eller gammalt vattenverk?

Det kan konstateras att avsaltning med RO samt ytvattenverket måste vara de två bästa alternativen för Grisslehamn utifrån den här studien. Det är dock svårt att göra en säker inbördes ranking mellan dessa alternativ. Att två system fick väldigt lika totalpoäng var även ett resultat i systemstudien gjord av Göteborg stad som beskrivs i *"Systemstudie avlopp"* (Andersson m.fl., 2007) där de bästa alternativen fick väldigt lika totalpoäng men där poängen för enstaka kriterier kunde variera stort. För att fastställa vilket av alternativen som är bäst bör en mer noggrann viktning och värdering göras. Några frågor som då borde studeras djupare är till exempel: Borde ekonomi värderas högre? Är kostnaden för avsaltning med RO verkligen mycket lägre? Hur bra är kvaliteten på dricksvattnet från det befintliga grundvattenverket? Är det framtida underhållsbehovet av det gamla grundvattenverket större än för ett nytt ytvattenverk? Driftkostnader används inte som kriterium i projektet då det var väldigt svårt att få fram information om driftkostnader för det befintliga vattenverket. Det kan tänkas att driftkostnaderna för det befintliga verket är så pass mycket lägre än det skulle bli för ett nytt ytvattenverk med

membranteknik, att kostnaden för en sådan investering hade blivit orimligt hög. Det kan även vara så att kostnaderna med tiden blir så stora på grund av slitage, att ett nytt vattenverk ändå behöver byggas, varför en sådan lösning vore bättre än avsättning med RO som komplement. Denna analys saknas i projektet varför en vidare undersökning av befintliga kostnader vore motiverat.

7.4. Vidare studier

I ett vidare utvecklingsarbete för utbyggnad av vattenförsörjning i Grisslehamn borde vattenkvaliteten undersökas, framförallt på havsvattnet samt i sötvattendammarna, då detta påverkar kostnaden för verket. Om regnvatteninsamling blir aktuellt bör även vattenkvaliteten på regnvattnet undersökas.

Det var relativt förvånande att två tekniker som båda innefattar membranfiltrering lyckades få så pass mycket högre betyg jämfört med till exempel regnvatteninsamling. Att testa metoden på ett område som inte har lika gott om grundvatten och tillgång till ytvatten hade varit intressant för att se om utfallet hade blivit annorlunda.

Resultatet från multikriterieanalysen visade att avsättning med RO var det mest hållbara alternativet för Grisslehamn. Detta förutsätter att det fortfarande finns tillräckligt mycket grundvatten så att det befintliga grundvattenverket kan fortsätta att producera en del av dricksvattnet, med tillräckligt bra kvalitet. Därför hade det även varit bra, att i ett framtida arbete med Grisslehamn även undersöka grundvattenkvaliteten och göra en noggrann undersökning av grundvattentillgången. Om tillgången skulle visa sig lägre än väntat, eller kvaliteten sämre, kan ytvattenverket än en gång vinna fördel, då ett sådant verk skulle klara att behandla vatten av en sämre kvalitet.

I litteraturstudien diskuterades vattenbesparingsåtgärder men de systemalternativ som tillämpades i denna rapport är planerade att klara en vattenförbrukning på 160 liter per person och dygn. I ett framtida arbete hade det varit intressant att undersöka hur vattenbesparingsåtgärder kan införas på ett lämpligt sätt för att på så sätt få ner vattenförbrukningen i ett område med vattenbrist. Därmed kan det kanske undvikas att ett nytt vattenverk behöver byggas eller att avsättningsanläggningar behöver köpas in. Det hade även varit intressant att undersöka hur mycket vatten som hade kunnat sparas om ett hushåll kombinerade återanvändning av BDT-vatten med regnvatteninsamling.

8. Slutsats

- Resultatet från multikriterieanalysen (MKA) visade att avsaltning med omvänd osmos är det mest hållbara alternativet för att tillgodose vattenförsörjningen i Grisslehamn.
- På klar andraplats hamnade nybyggnad av ett ytvattenverk för att använda vatten från sötvattendammar.
- Det finns många andra möjligheter att tillgodose vattenförsörjningen i områden med vattenbrist. Regnvatteninsamling och återanvändning av vatten hör till de mera obeprovide i Sverige som skulle kunna fungera som alternativ.
- Känslighetsanalysen visade att investeringskostnaden hade en stor påverkan på om avsaltning med omvänd osmos eller byggande av ett ytvattenverk fick högst poäng i MKA.
- I ett vidare utvecklingsarbete för utbyggnad av vattenförsörjning i Grisslehamn bör vattenkvaliteten undersökas, då den kan avgöra hur kostsamma alternativen blir. Det bör även göras en analys av det befintliga vattenverkets status och driftkostnader samt en noggrann jämförelse med vad driftkostnaden för ett nytt vattenverk skulle bli. Inom en snar framtid kanske det befintliga verket ändå behöver byggas om varför ett ytvattenverk kanske skulle vara en bättre investering idag än avsaltning med RO som komplement till det befintliga vattenverket.
- Regnvatteninsamling visade sig vara alltför kostnadskrävande för att vara ett alternativ i Grisslehamn, men i ett område som saknar närhet till ytvatten eller hav kan det tänkas vara den enda lösningen.
- Genom att införa vattenbesparingsåtgärder på hushållsnivå kanske vattenanvändningen hade kunnat minskas så att nya lösningar för att producera mer vatten inte hade behövt införas.

Referenser

Tryckta referenser

Abdulla, F.A. & Al-Shareef, A.W. (2009), Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, *Desalination* 243, 195–207.

af Petersen, E. & Palmér Rivera, M. (2013), Förutsättningar för kretslopp av avfall från vakuumtoaletter och slutna tankar i Kungsbacka – Rapport från projekt Hav möter land, Rapportnummer: 2013-72, Länsstyrelsen i Västra Götalands län.

Afflux Water (2013), Lilla Östersjöpaketet - avsaltninganläggning för fritidshus, <http://www.affluxwater.com/produkter/lilla-ostersjopaketet>, Hämtad: 2013-12-03.

Almqvist, H., Andersson, Å., Jensen, A. & Jönsson, H. (2007), Sammansättning och flöden på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers, Rapportnummer: 2007-05, Svenskt vatten.

Amazon (2014), Reverse osmosis system inline remineralisation mineral water filter, http://www.amazon.co.uk/Reverse-Osmosis-Remineralisation-Mineral-Water/dp/B007C5XJWC/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1391435856&sr=8-1&keywords=reverse+osmosis+minerals, Hämtad: 2014-02-12.

Andersson, K., Roos, B. & Hård, S. (2007), Systemstudie avlopp – En studie av framtida hållbara system för hantering av avlopp och bioavfall i Göteborgsregionen, Kretsloppskontoret Göteborg stad.

Archer, D-E. (2012), Utvärdering av system för BDT-vattenrening med avseende på resurseffektiva städer och hållbar urban livsstil inom EVAA-projektet och H+ området, Helsingborg, Emulsionen ekonomisk förening.

Asano, T. & Cotruvo, J. (2004), Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations, *Water Research* 38, 1941–1951.

Avloppsguiden (2009), Olika typer av toaletter – en översiktlig jämförelse, PDF: http://husagare.avloppsguiden.se/attachments/download/62/Toaletter_for_kallsortering.pdf , Hämtad: 2013-12-04.

Avloppsguiden (2013), Vakuumtoalett, <http://husagare.avloppsguiden.se/vakuumtoalett.html>, Hämtad: 2013-12-05.

Ayoub, J. & Alward, R. (1996), Water requirements and remote arid areas: the need for small-scale desalination, *Desalination* 107, 131-147.

Berggren, D., Jonsson, E., Johansson, P-O., Gustafsson, J-P. & Abrahamsson, J. (2004), Filter av olivinsand för avskiljning av naturligt organiskt material vid dricksvattenrening, Rapportnummer: 2004-01, VA-Forsk.

- Boman, D. & Hanson, G. (2004), Salt grundvatten i Stockholms läns kust- och skärgårdsområden, Länsstyrelsen i Stockholms län.
- Bouwer, H. (2002), Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering, *Hydrogeology Journal* 10, 121–142.
- Chalmers tekniska högskola (1995), Kompendium i VA-ledningsteknik, Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik på Chalmers tekniska högskola.
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J. & Tchobanoglous, G. (2005), *Water treatment – principles and design*, John Wiley & Sons, Inc.
- Charcosset, C. (2009), A review of membrane processes and renewable energies for desalination, *Desalination* 245, 214–231.
- Dach, H. (2008), Comparaison des opérations de nanofiltration et d’osmose inverse pour le dessalement selectif des eaux saumâtres : de l’échelle du laboratoire au pilote industriel, Doktorsavhandling vid Angers Universitetet.
- Einav, R., Harussi, K. & Perry, D. (2002), The footprint of the desalination processes on the environment, *Desalination* 152, 141-154.
- El-Dessouky, H., Ettouney, H. & Al-Roumi, J. (1999), Multi-stage flash desalination: present and future outlook, *Chemical Engineering Journal* 73, 173-190.
- Elimelech, M. & William, A.P. (2011), The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment, *Science* 333, 712-717.
- Energimyndigheten (2011), Energieffektiva kranar och duschmunstycken, <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Vatten-och-varmvattenberedare/Energieffektiva-kranar-och-duschmunstycken/>, Hämtad: 2013-12-05.
- Environment Agency (2010), *Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide*, PDF: <http://cdn.environment-agency.gov.uk/geho1110bten-e-e.pdf>, Hämtad: 2014-03-13.
- EPA (United States Environmental protection agency) (2012), *Guidelines for water reuse*, EPA 600-R-12-618.
- EPA (United States Environmental protection agency) (1999), *Wastewater technology fact sheet ozone disinfection*, EPA 832-F-99-063.
- Fewkes, A. (2012), A review of rainwater harvesting in the UK, *Structural Survey* 30, 174-194.
- Flyborg, L., Hoyer, K., & Persson, K. (2006), Ser vi början på återanvändning av renat avloppsvatten för beredning av dricksvatten?, *Vatten* 62, 179–187.

- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007), State-of-the-art of reverse osmosis desalination, *Desalination* 216, 1–76.
- Frycklund, K., Jacks, G., Johanson, P-O. & Lekander, K. (1994), Konstgjord grundvattenbildning – Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration, Rapportnummer: 1994-08, VA-Forsk.
- Ghaffour, N., Missimer, T. & Amy, G. (2013), Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability, *Desalination* 309, 197–207.
- Gnanaswar Gude, V., Nirmalakhandan, N. & Deng, S. (2010), Renewable and sustainable approaches for desalination, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2641–2654.
- Greenlee, L., Lawler, D., Freeman, B., Marrot, B. & Moulin, P. (2009), Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges, *Water Research* 43, 2317–2348.
- Hanson G. (2000), Konstgjord grundvattenbildning: 100-årig teknik inom svensk dricksvattenförsörjning, Rapportnummer: 2000-5, VA-Forsk.
- Hajkowicz, S. & Higgins, A. (2008), A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management, *European Journal of Operational Research* 184, 255–265.
- Hellman, M. (2011), Avsaltning av Östersjövatten Val av rätt förbehandling för råvattnet, Värmeforsk Service AB. <http://www.varmeforsk.se/rappporter?action=show&id=2428>, Hämtad: 2014-03-13.
- Herbert, R.B. & Erikson, B. (2009), Regnvatteninsamling från hustak på södra Gotland, *Vatten* 65, 225–230.
- Hicks, B. (2008), A cost-benefit analysis of rainwater harvesting at commercial facilities in arlington county, Virginia, Masters project, the Nicholas School of the environment- and earth sciences, Duke University.
- Home water purifiers & filters (2013), ClearChoice reverse osmosis water filter system, <http://www.home-water-purifiers-and-filters.com/clearchoice-reverse-osmosis-water-filter.php>, Hämtad: 2014-01-28.
- IVL (Svenska miljöinstitutet) (2011), Månadsmedelhalter i nederbörd, [http://www3.ivl.se/db/plsql/DVSNEDM\\$b1.ActionQuery?P_STAT_ID=289&P_MAN=2011%25](http://www3.ivl.se/db/plsql/DVSNEDM$b1.ActionQuery?P_STAT_ID=289&P_MAN=2011%25), Hämtad: 2014-04-27.
- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T. & Judd, S. (1999), Technologies for domestic wastewater recycling, *Urban Water* 1, 285-292.

- John Sell (2013), Vattenrening från havsvatten, http://www.johnsell.fi/html/vattenrening_havsvatten.php, Hämtad: 2014-01-15.
- Jönsson, H., Ashbolt, N., Baky, A., Drangert, J-O., Krantz, H., Kärrman, E., Ledin, A., Ottosson, J., Almqvist, H., Westrell, T. & Vinnerås, B. (2005), Slutrapport för modellstaden Urbana Enklaven, Rapportnummer: 2005-8, Urban Water.
- Karagiannis, I. & Soldatos, P. (2008), Water desalination cost literature: review and assessment, *Desalination* 223, 448–456.
- Karlstads energi (2013), Tvätt, disk och dusch, <http://www.karlstadsenergi.se/energipartips/tvatt-disk/>, Hämtad: 2013-12-05.
- Khawaji, A.D. & Kutubkhanah, I.K. & Wie, J-M. (2008), Advances in seawater desalination technologies, *Desalination* 221, 47–69.
- Kinkade-Levario, H. (2007), Design for water : rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse, New Society Publishers, Kanada.
- Kärrman, E., Bergstedt, O., Westrell, T., Heinicke, G., Stenström, T-A. & Torsten Hedberg, T. (2004), Systemanalys av dricksvattenförsörjning med avseende på mikrobiologiska barriärer och miljöpåverkan, Rapportnummer: 2004-12, VA-Forsk.
- Lattemann, S. & Höpner, T. (2008), Environmental impact and impact assessment of seawater desalination, *Desalination* 220, 1–15.
- Lemley, A., Wagenet, L. & Kneen, B. (u.d.), Activated carbon treatment of drinking water, Fact sheet 3, College of Human Ecology, Cornell University.
- Li, Z., Boyle, F. & Reynolds, A. (2010), Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland, *Desalination* 260, 1–8.
- Livsmedelsverket (2001), Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten, SLVFS 2001:30.
- Livsmedelsverket (2007), Algtoxiner i avsaltat dricksvatten, Rapportnummer: 2007-01.
- Lång, L-O., Olofsson, B., Mellqvist, E., Ojala, L., Maxe, L., Thorsbrink, M. (2006), Miljömålsuppföljning av grundvatten i kustområden – statusbeskrivning och diskussionsunderlag, Rapportnummer: 2006-24, SGU (Sveriges geologiska undersökning).
- Melbourne water (2013), Using recycled water, <http://www.melbournewater.com.au/whatwedo/recyclewater/Pages/Using-recycled-water.aspx>, Hämtad: 2013-12-03.
- Mekala, G., Davidson, B., Samad, M. & Boland, A-M. (2008), Wastewater reuse and recycling systems: A perspective into India and Australia, *International Water Management*

Institute, PDF: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR128.pdf. Hämtad: 2014-03-13.

Miller, J.E. (2003), Review of water resources and desalination technologies, Sandia National Laboratories.

Miljöbalken 1998:808. 11 kap. Vattenverksamhet.

Mohamed, E., Papadakis, G., Mathioulakis, E. & Belessiotis, V. (2006), An experimental comparative study of the technical and economic performance of a small reverse osmosis desalination system equipped with an hydraulic energy recovery unit, *Desalination* 194, 239–250.

Naturvårdsverket (1995), Vad innehåller avlopp från hushåll?, Rapportnummer: 4425, Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket (2003), Markbädd, Del av Naturvårdsverkets allmänna råd 87:6: Små avloppsanläggningar, hushållspillvatten från högst 5 hushåll.

Naturvårdsverket (2006), Naturvårdsverkets allmänna råd om små avloppsanordningar för hushållspillvatten; Bilaga 1: Beräkning av specifika mängder och halter för miljöskydd, NFS 2006:7.

NGPWC (Northern Great Plains Water Consortium) (2013), Tertiary Wastewater Treatment, <http://www.undeerc.org/Water/Decision-Support/Treatment-Technologies/Tertiary-Wastewater-Treatment.aspx>, Hämtad: 2013-12-03.

Nohrstedt, L. (2013), Så sparade duscharna 100 000 liter vatten – på två månader, http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article3787021.ece, Hämtad: 2014-01-15.

Norrtälje kommun (2011), Program för utveckling av kommunalt vatten och avlopp 2010-2030, <http://www.norrtalje.se/Bygga-bo-och-miljo/Vatten-och-avlopp/Kommunalt-vatten-och-avlopp/Program-for-utveckling-av-kommunalt-vatten-och-avlopp-2008-2030/>, Hämtad: 2014-05-11.

Norrtälje kommun (2014), Grisslehamns vattendomar, tillgängliga på Bygg- och miljökontoret i Norrtälje kommun.

Olofsson, B. & Rönkä, E. (2007), Baltic University urban forum – Urban management guidebook, kapitel 4: Small-scale water supply in urban hard rock areas. The Baltic University Press, 21-26.

Ottosson, J. & Stenström, T-A. (2003), Faecal contamination of greywater and associated microbial risks, *Water Research* 37, 645–655.

Palm, O., Malmén, L. & Jönsson, H. (2002), Robusta, uthålliga små avloppssystem – En kunskapssammanställning, Rapportnummer: 5224, Naturvårdsverket.

Palm, O., Elmefors, E., Moraesus, P., Nilsson, P., Persson, L., Ridderstolpe, P. & Evehorn, P. (2012), Läget inom markbaserad avloppsvattenrening – samlad kunskap kring reningstekniker för små och enskilda avlopp, Rapportnummer: 6484, Naturvårdsverket.

Pearce, G. (2008), UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications: a comparison of energy costs, *Desalination* 222, 66–73.

Pisani, P. (2006), Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant, *Desalination* 188, 79–88.

Prominent (2013), Avsaltning av bräck och havsvatten, http://www.prominent.se/desktopdefault.aspx/tabid-6023/570_read-2273/, Hämtad: 2013-11-22.

PUB, Singapore's national water agency (2011), NEWater <http://www.pub.gov.sg/about/historyfuture/Pages/NEWater.aspx>, Hämtad: 2013-12-03.

PUB, Singapore's national water agency (2013), NEWater Technology, <http://www.pub.gov.sg/water/newater/newatertech/Pages/default.aspx>, Hämtad: 2013-12-03.

Raluy, G., Serra, L. & Uche, J. (2005), Life cycle assessment of water production technologies: Part 1: Life Cycle Assessment of Different Commercial Desalination Technologies (MSF, MED, RO), *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10, 285 – 293.

Roebuck, R. M., Oltean-Dumbrava, C. & Tait, S. (2011), Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom, *Water and Environment Journal* 25, 355–365.

Rosén, L., Back, P-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å., Brodd, P. & Grahn, L. (2009), Multikriterieanalys för hållbar efterbehandling – Metodutveckling och exempel på tillämpning. Rapportnummer: 5891, Naturvårdsverket.

RTK (2001), Hur väljer man vatten- och avloppslösningar där kommunalt VA saknas? – en metodstudie. Regionplane- och trafikkontoret, Arbetspromemoria 2001:9, Stockholms läns landsting.

Sadrzadeh, M. & Mohammadi, T. (2008), Sea water desalination using electro dialysis, *Desalination* 221, 440–447.

Sazakli, E., Alexopoulos, A. & Leotsinidis, M. (2007), Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia island, Greece, *Water Research* 41, 2039–2047.

SDWF, Safe drinking water foundation, What is chlorination?, PDF: <http://www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/WhatIsChlorination.pdf>, Hämtad: 2013-12-04.

- SGU (Sveriges Geologiska undersökning) (2014), Kartgenerator, http://maps2.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html, Hämtad: 2014-02-06.
- SMHI (2009), Normalvärden för nederbörd 1961-1990 mätstation 9850 (Norrveda), http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SMHI_month_year_normal_61_90_precipitation_mm.txt, Hämtad: 2014-02-06.
- Socialstyrelsen (2006), Dricksvatten från enskilda brunnar och mindre vattenanläggningar, ISBN: 91-85482-73-0 , Artikelnr: 2006-101-8.
- Socialstyrelsen, Socialstyrelsens allmänna råd om försiktighetsmått för dricksvatten, SOSFS 2003:17.
- Spandre, R. (2009), Artificial groundwater recharge, Encyclopedia of Life Support System, 3, 1-9.
- Svenskt vatten, Fakta om dricksvatten, <http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Dricksvatten/For-dig-som-soker-information/>, Hämtad: 2013-11-20.
- Svenskt vatten (2013), Måste dricksvatten kloreras?, <http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Dricksvatten/For-dig-som-soker-information/Klorering-av-vatten/>, Hämtad: 2013-12-04.
- Svenskt vatten (2009), Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk. PDF: <http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Dricksvatten/Rad-och-riktlinjer/>. Hämtad: 2014-03-13.
- Texas Water Development Board (2005), The Texas manual on rainwater harvesting, Third ed, TWDB Publication.
- Törneke, K., Tilly, L., Kärrman, E., Johansson, M. & van Moeffaert, D. (2008), Handbok om VA i omvandlingsområden, Rapportnummer: 2008-11, Svenskt vatten utveckling.
- Veolia vatten, Grisslehamn, PDF: www.veoliavatten.se/sweden/ressources/documents/1/2345,Grisslehamn.pdf, Hämtad: 2014-01-24.
- Villarreal, E-L. & Dixon, A. (2005), Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden, Building and Environment 40, 1174–1184.
- von Gunten, Urs. (2003), Ozonation of drinking water: PartII. Disinfectionand by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine, Water Research 37, 1469–1487.

Värmdö kommun, Exempel på vattenbesparande produkter,
<https://www2.varmdo.se/dman/Document.phx?documentId=nz05806173355161&cmd=download&action=save>, Hämtad: 2013-12-05.

Water reuse association (2011), Seawater desalination costs, PDF:
http://www.watereuse.org/sites/default/files/u8/WateReuse_Desal_Cost_White_Paper.pdf,
Hämtad: 2014-03-13.

Wheida, E. & Verhoeven, R. (2007), An alternative solution of the water shortage problem in Libya, *Water Resources Management* 21, 961-982.

WHO (2007), Desalination for safe water supply, Guidance for the health and environmental aspects applicable to desalination, Public health and the environment world health organization, Geneva, Switzerland.

WHO (World Health Organization) (2011). Rainwater harvesting: water quality and health risk,
http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/rainwaterharv/en/, Hämtad: 2013-11-18.

Wikimedia Commons (2010), Simple diagram to show rainwater harvesting,
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simple_Diagram_to_show_Rainwater_Harvesting.png,
Hämtad: 2013-11-20.

Wintgens, T., Melin, T., Schäfer, A., Khan, S., Muston, M., Bixio, D. & Thoeye, C. (2005), The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse, *Desalination* 178, 1-11.

The World Bank (2013), Introduction to wastewater treatment processes,
<http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/wastewater-treatment>, Hämtad: 2013-12-02.

WRS (Water Revival Systems Uppsala AB) (2001), Marknadsöversikt – Extremt snålspolande toaletter samt urinsorterande toaletter & urinaler, för avskiljning av klosettvattnen, Rapportnummer: 2001-1, SwedEnviro.

Yadav, A., Sonje, A., Mathur, P. & Jain, D.A. (2012), A review on artificial groundwater recharge, *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 3(3), 304- 311.

Yarra valley water, Aurora sewage treatment plant and recycled water treatment plant, Fact Scheet, PDF: <http://www.yvw.com.au/yvw/groups/public/documents/document/yvw1002057.pdf>, Hämtad: 2013-12-03.

Younos, T. & Tulou, K.E. (2005), Overview of desalination techniques, *Journal of Contemporary Water Research & Education* 132, 3-10.

Zuo, J., Liu, C. & Zheng, H. (2010), Cost–benefit analysis for urban rainwater harvesting in

Beijing, Water International 35, 195–209.

Personliga meddelanden

af Peterssen, Tomas (2014), Driftstekniker på Skärgårdsstiftelsens avsaltningsanläggning på Utö, Telefonsamtal (13-01-2014).

Andreasson, Gunnar (2014), Teknisk support ACO Nordic AB. Telefonsamtal, mailkontakt (2014-01-14, 2014-01-28).

Berg, Martina (2014), Projektledare vatten- och miljökontoret Norrtälje kommun. Mailkontakt (2014-01-29) och möte (2014-02-05).

Eisenring, Jessica (2014), Bygg- och miljökontoret Norrtälje kommun, Möte (2014-02-05).

Hanaeus, Jörgen (2014), Luleå tekniska universitet, Telefonkontakt och mailkontakt (2014-02- 10 och 2014-02-17).

Hultkrantz, Björn (2014), Ansvarig för vattenverket i Grisslehamn från Veolia vatten. Telefonkontakt (2014-01-27) och möte (2014-02-05).

Iwerbo, Anders. (2014), Virdisol AB (entreprenör), Telefonkontakt (2014-02-05).

Krasnai, Robert. (2014), Försäljare på Afflux water AB, Mailkontakt (2014-02-02).

Kärrman, Erik. (2014), Urban Water Management, Personligt meddelande (2014-02-14).

Leife, Hanna (2014), Bygg- och miljökontoret Norrtälje kommun, Mailkontakt (2014-01-27).

Lindqvist, Maria., Leife, Hanna. & Bagheri, Essi., Bygg- och miljökontoret samt VA-avdelningen Norrtälje kommun, Muntlig presentation (2013-11-05).

Rosén, Ola., (2014), Konsult på Grotmij, Telefonsamtal (2014-02-12).

Bilagor

Bilaga 1. Svar på inventeringsfrågor, Grisslehamn.

Samhälleliga förutsättningar

1. Nuvarande antal invånare i området (uppdelat i fast boende och fritidsboende)

I nuvarande verksamhetsområde finns 335 fastigheter varav 123 permanentushåll. I Grisslehamns tätort finns 390 fastigheter och 139 permanentushåll. De fastigheter som idag ligger utanför verksamhetsområdet planeras ansluta till kommunalt vatten år 2015 och kommunalt avlopp 2013. (Norrtälje kommun, 2011 samt Leife, 2014).

2. Finns uppgifter om beräknad befolkningsutveckling, i så fall, hur ser de ut?

Finns idag inga planer på utbyggnad, inga nya bygglov (Berg, 2014).

3. Är området befolkningstätt?

Det är relativt tätbebyggt med under 200 meter mellan varje fastighet (i Grisslehamns tätort).

4. Varierar vattenanvändandet över året?

Vattenanvändningen visas i figur 10 i avsnitt 5.1.1. Som grafen visar är det stor skillnad i användning mellan sommar och vinter.

5. Hur ser dagens VA-nät ut?

Avstånd till anslutningspunkten: Anslutningspunkten ligger precis utanför planerade verksamhetsområdet.

Kapacitet: Vattenverket har inte kapacitet att producera mer vatten än 330 m³/dygn.

Vilka möjligheter finns att ansluta till dagens VA-nät? Goda möjligheter förutom under sommarmånaderna.

6. Finns lokala restriktioner för vattenuttag?

Ja. Finns restriktioner för grundvattenuttag. Kommunen äger rätt att ta ut 300 m³ grundvatten/dygn i medeltal över året, men inte mer än 500 m³/dygn (Norrtälje kommun, 2014).

7. Olika intressenters vattenanvändning nu och i framtiden (ex. industri, jordbruk, hotell etc.)

Finns idag inget jordbruk i Grisslehamn, de större vattenanvändarna, fiskeriet, hotell, marinan, campingen och ett vandrarhem är alla redan anslutna till vattenverket (Berg, 2014). En stor

vattenanvändare är Eckerölinjen som fyller sin vattentank med 40 m³ per gång. Detta klarar inte vattenverket av varför Eckerölinjen numera tar sitt vatten på Åland (Hultkrantz, 2014).

8. Hur ser avloppssituationen ut i området?

I stort sett alla inom det nuvarande verksamhetsområdet är anslutna till det kommunala avloppet. De som inte är anslutna har WC med infiltration. De fastigheter i Grisslehamn som ligger utanför verksamhetsområdet har också WC med infiltration (Eisenring, 2014).

Naturgivna förutsättningar

1. Vad är markens infiltrationskapacitet?

Finns inte jordlager lämpliga för infiltration. Området består mestadels av morän och urberg (SGU, 2014). Ingen geologisk undersökning har dock gjorts.

2. Vad är markens grundvattenlagring?

Smala grundvattenlinser med relict saltvatten under. Risk för saltvatteninträngning i djupborrade brunnar (Norrtälje kommun, 2013).

3. Vilka uttagsmöjligheter har befintliga brunnar?

Begränsade, SGU klassar området som klass 1, det vill säga dålig tillgång på grundvatten (Norrtälje kommun, 2013).

4. Vilken vattenkvalitet har befintliga brunnar?

Få vattenprov gjorda, de som är tagna visar på något höga kloridhalter, även höga järn och manganhalter (Norrtälje kommun, 2013 samt Hultkrantz, 2014).

5. Avstånd till hav?

Ligger precis vid havet.

6. Avstånd till sjöar och vattendrag?

Finns en sjö men den är liten och inte aktuell som dricksvattentäkt. Herrviksbäcken rinner ner i den övre sötvattendammen som används som vattentillgång då grundvattnet inte räcker till (Hultkrantz, 2014).

7. Vilken uttagskapacitet har närliggande sjöar och vattendrag?

Tillgången på vatten i dammarna beror på Herrviksbäckens tillrinning vilket beräknas vara 10 liter per sekund. Men under sommarmånaderna beräknas den vara negativ på grund av att vattnet avdunstar från sötvattendammen (Norrtälje kommun, 2014).

8. Vilken vattenkvalitet har närliggande sjöar, vattendrag och hav?

Ytvattenkvalitet. Ibland hög organisk halt.

Det hav som ligger nära är Östersjön. Östersjön har problem med övergödning och algbloomning (Länsstyrelsen i Stockholm, 2014).

9. Hur stor är den årliga nederbörden i området?

Då SMHI inte har någon station för mätning av nederbörd i Grisslehamn användes istället data från mätstationen Norrveda som är den närmaste mätstationen som ligger vid kusten, ungefär tre mil fågelvägen söder om Grisslehamn. Årsnederbörden i Norrveda är 639 mm (SMHI, 2014).

10. Hur är nederbörden fördelad över året?

Se tabell 7. Ungefär 65 % av nederbörden sker sista halvan av året.

Tabell 7 – Nederbördsdata från SMHI's mätstation Norrveda. Normalvärden under perioden 1961-1990.

Månad	Nederbörd (mm)
Januari	48,6
Februari	33,6
Mars	31,7
April	38,3
Maj	34,4
Juni	40,8
Juli	74
Augusti	70
September	72,9
Oktober	61,6
November	71,7
December	61,3

Bilaga 2. Investeringskostnader

Investeringskostnaden inkluderar inte ledningsdragning samt markköp.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk

Ett vattenverk som byggdes med membranteknik för behandling av ytvatten med samma skala kostade 10 miljoner kronor i investering (Rosén, pers.medd. 2014). För 826 fastigheter blir kostnaden: 12107 kronor per fastighet.

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO

Kostnaden för en avsaltningsanläggning varierar mellan återförsäljare. Här återges det lägsta priset som ett företag gett. Anläggningen skulle ha en produktion på 10 m³/h uppdelat på två membranverk som kostar 870 000 kronor vardera (Krasnai, 2014), exklusive hus för anläggningen samt reservvattentank, därför läggs ytterligare 50 % på kostnaden så kostnaden uppgår i 2,61 miljoner kronor. För 826 hushåll blir investeringskostnaden: 3160 kronor per hushåll.

Systemalternativ tre – RVI

Kostnaden för ett RVI-system inklusive RO antogs utifrån avsnitt 3.2.2. vara 45 000 kronor per hushåll. Utan RO blir kostnaden ungefär 2000 kronor lägre.

Systemalternativ 4 – Insamling av BDT-vatten

Kostnaden för ytvattenverket är samma som i systemalternativ ett, det vill säga 12107 kronor per hushåll. Sedan beräknas markbädden (inklusive slamavskiljare, installation och pump) kosta 2000 kr per m² (Haneus, 2014). Enligt en entreprenör så bör man dimensionera en markbädd med BDT avskiljning för 5 personekvivalenter och därmed 12 m² per hushåll (Iwerbo, pers.medd. 2014). Kärrman (pers. medd. 2014) menar dock att då så pass många hushåll ska anslutas, där många hushåll är semesterhushåll, kan istället 6 m² per hushåll räcka. Det blir då en total kostnad på: 2.208 miljoner som, om det delas mellan 826 hushåll blir (tillsammans med ytvattenverket) en kostnad på: 14780 kronor.

Bilaga 3. Motivering betygsättning

Risk för smittspridning

Värderar risken att dricksvattnet i vissa situationer kan bli kontaminerat med fekalier från människor och djur.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 4. *Sötvattendammen anses inte utgöra något större hot mot smittspridning jämfört med ett konventionellt vattenverk. Membranteknik särskilt NF utgör ett bra skydd mot patogener.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 4. *Avsaltning anses inte utgöra något större hot mot smittspridning jämfört med ett konventionellt vattenverk, även här används membranteknik*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *Finns risk för fekaliekontaminering av regnvatten i de kranar som inte har ett RO-filter anslutit till sig.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3: *Då BDT-vattnet i slutändan skulle behandlas i vattenverket med membranteknik finns ingen större risk mot smittspridning jämfört med ett konventionellt vattenverk.*

Risk för otjänlig vattenkvalitet

Värderar risken att det kommer in oönskade ämnen i dricksvattnet, till exempel läkemedelsrester eller andra kemiska föroreningar

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Som ett konventionellt vattenverk.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 2. *Finns fortfarande mycket oklarheter kring hur bra avsaltningsanläggningar i Sverige lyckas reducera algtoxiner.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 3: *Som ett konventionellt vattenverk.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2: *Finns en risk för sämre ytvattenkvalitet i dammarna om markbädden får för hög belastning.*

Risk för otjänlig vattenkvalitet annat krav

Kommer inte betygsättas då området inte har verksamhet som kräver vattenkvalitet med andra krav.

Motståndskraft hydraulisk överbelastning

Värderar möjligheterna att momentant eller under en längre tid producera mer vatten än antagen vattenförbrukning

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Vattenverket dimensioneras enligt maxdygnsfaktorn, det vill säga dimensionerad för att kunna producera 50 % mer vatten än den högsta förväntade medelvattenförbrukningen under juli månad. Verket har alltså inte kapacitet att producera mer än detta.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Kan kompletteras med en reservvattentank som kan användas vid överbelastning.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 1: *Har bara kapacitet att ge så mycket vatten som det finns nederbörd.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3: *Samma vattenverk som alternativ ett.*

Konsekvens för lågt vattenuttag

Värderar konsekvenserna av att brukarna förbrukar mindre vatten än antagits momentant eller under en lite längre period

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Påverkas inte av för lågt uttag.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Påverkas inte av för lågt uttag.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *Finns risk för bakterietillväxt vid för lågt uttag.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3: *Påverkas inte av för lågt uttag.*

Motståndskraft överbelastning organiskt material

Värderar konsekvenserna av att råvattenresursen har ett högt innehåll av organisk substans.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 2. *Högre organisk halt i ytvattendammen än ytvattenverket dimensioneras för kan påverka utkommande vattenkvalitet i vattenverket eller sätta igen membranen.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 2. *Hög organisk halt kan sätta igen membranen.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 3: *Borde inte påverkas stort.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2: *Hög organisk halt i inkommande avloppsvatten kan påverka reningen i markbädden. Dessutom påverkas vattenverket med risk för igensättning av membran.*

Motståndskraft haverier

Värderar konsekvenserna av ett driftavbrott i reningsutrustning eller distribution

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Som ett konventionellt vattenverk.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 4. *Genom att använda två anläggningar kan effekten av haveri minskas.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 5: *Enkelt system. Finns ingen avancerad teknik som kan haverera.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3: *Som ett konventionellt vattenverk.*

Energianvändning

Värderar energianvändningen för drift av systemet.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 2. *Något högre energianvändning vid membranverk mot att använda kemisk fällning istället.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 1. *Hög energianvändning.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *Kan ge ökad energianvändning om pump måste installeras för RO-membranet i huset.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2: *Något högre energianvändning vid membranverk mot att använda kemisk fällning istället.*

Kemikalieanvändning

Värderar kemikalieanvändningen för rening och regenerering av filter och membran

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 4. *Lägre kemikalieanvändning då membran används istället för kemisk fällning.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 4. *Lägre kemikalieanvändning då membran används istället för kemisk fällning.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 5: *Ingen kemikalieanvändning.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 4: *Lägre kemikalieanvändning då membran används istället för kemisk fällning.*

Påverkan på vattenresurs

Värderar dricksvattensystemens påverkan på vattenresurserna i omgivningen

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Låg påverkan.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Låg påverkan.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 3: *Den minskade grundvattenbildningen som sker vid regnvatteninsamling från hustak antas vara försumbar.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 4. *Minskat utsläpp av BDT-vatten som annars skulle ledas bort till ett reningsverk som släpper ut vatten i Östersjön.*

Annan miljöpåverkan

Värderar lokal miljöpåverkan på mark, vatten och luft

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Låg påverkan.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Låg påverkan.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 3: *Låg påverkan.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2. *En stor markbädd skulle kräva en del land som kanske annars används som rekreationsområde. Finns även risk för lukt från markbädden.*

Tydlighet i ansvarsförhållanden

Värderar om ansvarsförhållandena är tydliga givet dagens regelverk

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Tydligt.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Tydligt.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *Otydligt när det ligger på fastighetsägaren, vem ska till exempel ha ansvaret för att hålla anläggningen ren vid sjukdom?*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3. *Tydligt*

Tillsyn

Värderar mängden tillsyn som behövs för systemen

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3 *Kräver tillsyn men då det enbart skulle innebära en utbyggnad av vattenverket torde tillsynen bli ungefär densamma som för vattenverket idag.*

Systemalternativ 2 – Avsättning med RO: Betyg 3. *Kräver marginellt mer tillsyn jämfört med konventionellt system*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *Kräver en del tillsyn av användaren.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3. *Kräver tillsyn men då det enbart skulle innebära en utbyggnad av vattenverket torde tillsynen bli ungefär densamma som för vattenverket idag.*

Enkelt att genomföra?

Värderar hur enkelt det är att genomföra systemen tekniskt och socialt.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Kräver vattenprover för att installera rätt typ av tvåstegsmembran (till exempel MF, UF eller UF, MF).*

Systemalternativ 2 – Avsättning med RO: Betyg 3. *Kräver vattenprover för att kunna installera rätt antal membran så att rätt avskiljning av klorid uppnås.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 1: *Kräver installation av ett RVI-system på varje tomt. Kommer ta tid.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 1. *Kräver att en markbädd byggs, kräver en hel del markarbete, med schaktning etc. Kan vara svårt att få tillstånd då det är ovanligt med stora markbäddar i Sverige. Kan bli svårt att övertyga fastighetsägare och andra att man inför ett avloppsledningssystem bara för BDT och därmed behåller slutna tankar för klosettatten.*

Användarvänlighet

Värderar brukarsituationen, om brukarna får ett mer eller mindre användarvänligt system jämfört med ett konventionellt.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Samma som ett konventionellt system för brukaren.*

Systemalternativ 2 – Avsättning med RO: Betyg 3. *Samma som ett konventionellt system för brukaren.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *RVI-systemet i sig är relativt användarvänligt men RO-systemet kräver en del arbetsmoment som brukaren måste sköta.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 3. *Samma som ett konventionellt system . Fastighetsägarna med BDT-vatteninsamling får ett extra krav på sig att inte släppa föroreningar till BDT-vattenavloppet (dock inget formellt extra krav)*

Hur enkelt är det att bygga ut systemet?

Värderar hur enkelt det är att bygga ut systemen utöver antagen vattenförbrukning

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 2. *Sötvattendammarna får sitt vatten från Herrbäcken, tillflödet beror på nederbörden, det finns inget annat vatten att tillgå.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Går att lägga till ytterligare ett membranverk.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 2: *Går att utöka uppsamlingsytan till exempel på hårdgjorda ytor på tomten, går även att installera en större tank för förvaring av regnvatten som bara används under sommaren*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2: *Går att ansluta fler hushåll till markbädden men kan bli ett stort jobb med att dra ledningar.*

Investeringskostnad

Värderar investeringskostnaden för systemen.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Som ett konventionellt vattenverk.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 4. *Lägre än ett konventionellt verk (i den skala som det planeras byggas nu, det vill säga som ett komplement till det befintliga vattenverket).*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 1: *Mycket högre investeringskostnad*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2: *Högre investeringskostnad.*

Driftsbehov

Värderar tiden som behöver läggas på driften av systemen.

Systemalternativ 1 – Ytvattenverk: Betyg 3. *Som ett konventionellt vattenverk.*

Systemalternativ 2 – Avsaltning med RO: Betyg 3. *Som ett konventionellt vattenverk.*

Systemalternativ 3 – RVI: Betyg 1. *Kräver drift av systemen i varje fastighet vilket, blir många timmar totalt.*

Systemalternativ 4 – BDT: Betyg 2. *Kräver extra drift av markbädden, slamtömning bland annat.*