



EXAMENSARBETE INOM KEMITEKNIK,
AVANCERAD NIVÅ, 30 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2020

Avsaltning utanför kommunalt verksamhetsområde för allmänt VA

KLAUDIA BUJAK

TRITA XXXX

Avsaltning utanför kommunalt verksamhetsområde för allmänt VA.

Klaudia Bujak

EXAMENSARBETE INOM KEMITEKNIK PÅ MASTERPROGRAMMET KEMITEKNIK FÖR ENERGI OCH MILJÖ

Titel på svenska: Avsaltning utanför kommunalt verksamhetsområde för allmänt VA.

Titel på engelska: Desalination in areas without access to municipal water and sewerage.

Huvudhandledare: Stefan Engblom, Ecoloop AB

Uppdragsgivare: Ecoloop AB

Examinator: Kerstin Forsberg, Institutionen för kemiteknik, KTH Kungliga Tekniska Högskolan

Sammanfattning

Sverige har generellt god tillgång till vatten, dock varierar vattentillgången och vattenanvändningen inom olika områden runtom i landet och lokala vattenbrister kan förekomma. Vattenbristen drabbar i första hand befolkning med enskild vattenförsörjning som får dricksvatten från enskilda vattentäkter, vanligen grundvattenbrunnar. Vid Sveriges kustområden och skärgårdsöar, där grundvattennivåer sjunker samtidigt som saltvatteninträngningar drabbar allt fler brunnar, aktualiseras avsaltning av havsvatten som en möjlig lösning för potentiell dricksvattenförsörjning. Antalet småskaliga avsaltningsanläggningar ökar men exakt antal förblir okänt. Detta beror på att anläggningar som producerar mindre än 10m³/dygn och inte används inom livsmedel eller offentlig verksamhet inte är anmälningspliktiga.

Detta examensarbete grundar sig i en litteratur- och enkätstudie som syftar till att sammanställa kunskapsläget kring avsaltningstekniker för saltvatten samt de juridiska och organisatoriska aspekter som kan påverka implementering av avsaltningsanläggningar för privat bruk i Sverige. Dessutom presenteras en marknadsöversikt över 6 ledande avsaltningsleverantörer samt en exempelsamling över 3 avsaltningsanläggningar som finns runt om i Stockholms län.

Resultaten visar att membranbaserad avsaltning är den mest energieffektiva metoden för saltavskiljning. Membrantekniken omvänd osmos används för småskalig avsaltning av havsvatten i Sverige och på den svenska marknaden återfinns en rad olika teknikleverantörer och återförsäljare som specialiserar sig på avsaltning. Över 5500 småskaliga avsaltningsanläggningar kunde identifieras som sålda i Stockholm skärgård, dock uppskattas det totala antalet avsaltningsanläggningar i bruk vara betydligt högre.

Resultaten visar även att svenska kommuner har dålig kunskap om avsaltning. Småskaliga avsaltningsanläggningar som används för enskild vattenförsörjning faller inte under anmälnings- eller tillståndsplikt utifrån kapitel 11 Miljöbalken. Detta medför att kommuner saknar kunskap om icke-anmälningspliktiga avsaltningsanläggningar som finns i bruk inom kommunen. Den rådande kunskapsbristen leder till svårigheter vid bedömning av avsaltningslämplighet för enskild vattenförsörjning vid bygglovsansökningar och kustkommuner efterfrågar tydlig vägledning från nationella myndigheter.

Slutsatsen är att i dagsläget finns ett stort behov av kunskapshöjande insatser kring avsaltning och ett nationellt samarbete krävs i syfte att ta fram en samlad bedömning och standardiserad hantering av frågor om avsaltning för enskild vattenförsörjning. Kustkommuner bör även vidta åtgärder för att öka kunskap om de avsaltningsanläggningar som finns i bruk inom kommunen i syfte att bedöma vattenkvaliteten vid dessa anläggningar och säkerställa att miljöbalkens föreskrifter om hälsoskydd uppfylls.

Summary

Sweden generally has good access to water. However, water supply and water use vary in different areas around the country and local water scarcity may occur. The water scarcity primarily affects households with individual water supply who receive drinking water from individual water sources, usually groundwater wells. At Sweden's coastal areas and archipelago islands, where groundwater levels are decreasing at the same time as saltwater intrusion is affecting more and more wells, desalination of seawater is being brought up as a possible solution for potential drinking water supply. The number of small-scale desalination plants is increasing, but the exact number remains unknown.

This thesis is based on a literature and questionnaire study which aims to compile the state of knowledge about desalination techniques for salt water and the legal and organizational aspects that may affect the implementation of desalination plants for private use in Sweden. In addition, a market overview of 6 leading desalination suppliers and a collection of examples of 3 desalination plants located around Stockholm County is presented.

The results show that membrane-based desalination is the most energy-efficient method for salt separation. The membrane technology, reverse osmosis, is used for small-scale desalination of seawater in Sweden, and on the Swedish market there are a number of different technology suppliers and retailers that specialize in desalination. More than 5,500 small-scale desalination plants could be identified as sold in the Stockholm archipelago, however, the total number of desalination plants in use is estimated to be significantly higher.

The results also show that Swedish municipalities have lacking knowledge of desalination. Small-scale desalination plants used for individual water supply do not fall under the notification or permit requirement based on Chapter 11 of the Environmental Code. This means that municipalities lack knowledge about non-notifiable desalination plants that are in use within the municipality. The current lack of knowledge leads to difficulties in assessing the desalination suitability for individual water supply in building permit applications and coastal municipalities require clear guidance from national authorities.

In conclusion, currently there is a great need for knowledge-enhancing initiatives regarding desalination and national cooperation is required in order to produce an overall assessment and standardized handling of issues concerning desalination for individual water supply. Coastal municipalities should also take measures to increase knowledge about the desalination plants in use within the municipality in order to assess the water quality from these facilities and ensure that the Environmental Code's regulations on health protection are complied with.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	1
1.1 SYFTE OCH MÅL.....	1
1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR	2
1.3 AVGRÄNSNINGAR	2
2. METOD	3
2.1 LITTERATURSTUDIE.....	3
2.2 MARKNADSÖVERSIKT AV AVSALTNINGSTEKNIKER.....	3
2.3 ENKÄTUNDERSÖKNING.....	3
2.3.1 Strategiskt urval av respondenter.....	4
2.3.2 Frågeformulär	5
2.3.3 Genomförande	6
2.3.4 Svarefrekvens.....	6
2.4 EXEMPELSAMLING	7
3. VATTEN I SVERIGE.....	8
3.1 VATTENANVÄNDNING.....	8
3.2 VATTENTILLGÅNG	9
3.2.1 Ytvatten.....	9
3.2.2 Grundvatten.....	9
3.2.3 Saltvatten	9
3.3 VATTENKVALITET	10
3.3.1 Kemiska parametrar	11
3.3.2 Mikrobiologiska parametrar.....	12
4. AVSALTNINGSTEKNIKER	13
4.1 MEMBRANTEKNIK.....	13
4.1.1 Reversed osmosis (RO)	14
4.1.2 Forward Osmosis (FO)	14
4.1.3 Electrodialysis (ED).....	15
4.1.4 Electrodialysis reversal (EDR)	15
4.2 TERMISK TEKNIK.....	15
4.2.1 Multi-stage flash (MSF).....	15
4.2.2 Multi Effect Distillation (MED).....	16
4.2.3 Vapor Compression (VC).....	16
4.2.4 Solar distillation.....	16
4.2.5 Freezing With Hydrates (FH).....	16
4.3 ÖVRIG TEKNIK OCH HYBRIDER	16
4.3.1 Membrane distillation (MD).....	16
4.3.2 Ion exchange	17
4.3.3 Electrodeionization (EDI).....	17
4.3.4 Capacitive Deionization (CDI).....	17
4.4 ENERGIFÖRBRUKNING OCH KOSTNAD FÖR LEDANDE AVSALTNINGSTEKNIKER	17
5. OMVÄND OSMOS	19
5.1 AVSALTNINGSPROCESS	19
5.1.1 Intag av råvatten.....	19
5.1.2 Förbehandling.....	19
5.1.3 Membranfiltrering.....	20
5.1.4 Efterbehandling av avsaltat vatten.....	22
5.1.5 Avfallshantering	23
6. RISKER MED AVSALTAT VATTEN	26
7. JURIDISKA OCH ORGANISATORISKA ASPEKTER	27
7.1 MILJÖBALKEN.....	27
7.2 LAGEN OM ALLMÄNNA VATTENTJÄNSTER (LAV)	29
7.3 ÖVERSIKTSPLAN ENLIGT PBL.....	29
7.4 DETALJPLAN	29

7.5	BYGGLOV	29
7.6	LIVSMEDELSVERKET'S REKOMMENDATIONER	30
7.7	TILLSYN OCH EGENKONTROLL.....	30
8	RESULTAT.....	32
8.1	MARKNADSÖVERSIKT	32
8.1.1	<i>Afflux Water</i>	32
8.1.2	<i>Bluewater</i>	34
8.1.3	<i>BRAVA Vattenrening AB</i>	36
8.1.4	<i>ENWA</i>	37
8.1.5	<i>Swedish GTC</i>	38
8.1.6	<i>Waterman</i>	40
8.1.7	<i>Summering av marknadsöversikten</i>	41
8.2	ENKÅTSVAR FRÅN KOMMUNER OCH LEVERANTÖRER.....	43
8.2.1	<i>Kommuner</i>	43
8.2.2	<i>Leverantörer</i>	45
8.3	EXEMPELSAMLING AV AVSALTNINGSANLÄGGNINGAR I BRUK	47
8.3.1	<i>Värmdö kommun</i>	47
8.3.2	<i>Österåker kommun</i>	52
9	DISKUSSION	57
9.1	FÖRSLAG PÅ VIDARE STUDIER.....	59
10	SLUTSATS	60
11	REFERENSER.....	61
	BILAGA 1.....	70
	BILAGA 2	76

1. Inledning

Sverige har generellt god tillgång till vatten, dock varierar vattentillgången och vattenanvändningen inom olika områden runt om i landet och lokala vattenbrister kan förekomma [1]. Vattenbristen drabbar i första hand befolkning med enskild vattenförsörjning som får dricksvatten från enskilda vattentäkter, vanligen grundvattenbrunnar, och är därav beroende av lokala förutsättningar [2].

I Sverige är cirka 14% av befolkningen inte anslutna till kommunala VA-områden och behöver anordna vattenförsörjningen på egen hand [3]. Detta avser fritidshusområden. Dock i och med ökad mobilitet omvandlas allt fler fritidshus till permanentboende och andelen människor med enskild VA-försörjning ökar [2]. Denna omvandling leder till ökat vattenuttag och i områden med vattenbrist samt låga grundvattennivåer blir vattenförsörjningen särskilt problematiskt [4]. Det gäller främst Sveriges kustområden och skärgårdsöar, där grundvatten oftast utgör den enda dricksvattenkällan. De stora vattenuttagen medför dessutom en risk för saltvatteninträngning i grundvattenmagasin som negativt påverkar närliggande vattentäkter [5]. Det tyder på ett stort behov av kunskapshöjande insatser kring hållbar vattenhantering samt implementering av alternativa vattenresurser i områden som drabbas av vattenbristen.

I dagsläget aktualiseras avsaltning av havsvatten som en möjlig lösning för framtida dricksvattenförsörjning och antalet småskaliga avsaltningsanläggningar ökar [6]. Avsaltningsanläggningar kan ha kapacitet att producera allt från några få liter per dygn till de större tekniskt mer avancerade avsaltningsanläggningar som har kapacitet att producera flera kubikmeter dricksvatten per dygn. Trots den ökade användningen av avsaltning är antalet befintliga småskaliga avsaltningsanläggningar okänt. Detta beror på att anläggningar som producerar mindre än 10m³/dygn och inte används inom livsmedel eller offentlig verksamhet inte är anmälningspliktiga [7][8].

Det är av stort intresse att kartlägga antalet småskaliga avsaltningsanläggningar som är i drift idag i syfte att undersöka möjligheter och risker som en ökad användning av avsaltningsanläggningar kan medföra. Risker som nämns En kartläggning av de befintliga avsaltningsanläggningarna skulle därför kunna utgöra underlag för ökad kunskap kring tillgängliga tekniker och dess praktiska effektivitet samt tekniska och organisatoriska förbättringar som tillsammans leder till långsiktig hållbar vattenhantering runtom i Sverige.

1.1 Syfte och mål

Syftet med denna studie är att sammanställa kunskapsläget kring avsaltningstekniker för saltvatten. Utöver de tekniska möjligheterna kommer även juridiska och organisatoriska förutsättningar att lyftas fram i syfte att fylla det kunskapsbehov som finns idag hos kommunernas miljökontor, bygglovshandläggare och samhällsplanerare.

Målet med denna studie är att ta fram en samlad information kring avsaltning. Detta mål kan beskrivas med hjälp av följande delmål:

- Sammanställa de mest relevanta tekniska lösningarna för avsaltning i svenska förhållanden;
- Undersöka och beskriva juridiska och organisatoriska aspekter som är viktiga för implementering av avsaltningsanläggningar;

- Presentera exempel på befintliga avsaltningsanläggningar med kapacitet mellan några liter per dygn (privat bruk) upp till över 10 m³ per dygn (kommersiellt bruk).

1.2 Frågeställningar

Studiens mål tydliggörs i nedanstående frågeställningar:

- Vilka avsaltningstekniker finns det?
- Vilka tekniklösningar finns tillgängliga för avsaltning av havsvatten för privat bruk i Sverige?
- Vilken avsaltningsteknik är mest effektiv ur energisynpunkt?
- Vilka hälsorisker kan konsumtion av avsaltat vatten medföra?
- Vilka juridiska och organisatoriska aspekter påverkar tillstånd och användning av avsaltningstekniker i svenska sammanhang?
- Hur många avsaltningsanläggningar uppskattas finnas i Stockholms kustområde?

1.3 Avgränsningar

Detta examensarbete är en kartläggning av befintliga avsaltningstekniker som kan användas för saltavskiljning från havsvatten. Dessa tekniker behandlas i korthet och arbetets fokus ligger på de tekniker är tillgängliga på den svenska marknaden.

De juridiska och organisatoriska aspekter behandlar den svenska lagstiftningen och tillämpningen av den, eventuella internationella aspekter ingår ej.

2. Metod

2.1 Litteraturstudie

En insamling av bakgrundsmaterial till nulägesanalysen genomfördes med hjälp av en litteraturstudie. Litteraturstudie som metod innebär systematisk, kritisk och metodisk granskning av litteratur som anses relevant för studien. Insamling av relevant material har genomförts under hela arbetsprocessen. Information till detta arbete har huvudsakligen hämtats från vetenskapliga publikationer och myndighetsrapporter som berör separationsmetoder för avsaltning samt de juridiska och organisatoriska aspekter kring avsaltningssystem i Sverige.

De vetenskapliga databaser som har använts vid framtagning av relevant bakgrundsmaterial är ScienceDirect och Google Scholar. Myndighetsrapporter samt lagstiftning har hämtats främst från Livsmedelsverkets och Boverkets hemsidor.

2.2 Marknadsöversikt av avsaltningstekniker

Marknadsöversikt av småskaliga avsaltningstekniker har genomförts med hjälp av en internetsökning samt kontakt med leverantörer av valda tekniker. Eftersom studiens syfte är att genomföra en nulägesanalys och identifiera kunskapsbristen, och därav tillgänglig kunskap, har sökningen genomförts med hjälp av Googles sökmotor. Kontakt med leverantörer har skett genom telefonsamtal.

2.3 Enkätundersökning

En enkätundersökning har utförts i syfte att tillhandhålla en verklig bild av kunskapsläget kring avsaltningssystem hos teknikleverantörer och relevanta myndigheter samt lokalisera befintliga avsaltningssystem som finns i bruk.

Enkätundersökning som metod innebär en kvantitativ eller en kvalitativ forskningsprocess där samtliga projektfaser är åtskilda. Kvantitativa enkätundersökningar använder sig utav stängda frågor med givna svarsalternativ. Denna typ av undersökning ger resultat som kan uttryckas statistiskt i syfte att beskriva och jämföra förekomsten av olika företeelser som undersöks. En kvalitativ enkätundersökning använder sig utav öppna frågor som kan ge svar med djupare innebörd och samtidigt ge respondenten möjlighet att bidra med egna insikter. För att uppnå studiens mål har en enkätundersökning med stängda frågor som kompletterats med öppna frågor valts som mest lämplig metod. En enkätundersökning har en standardiserad form vilket innebär att samtliga respondenter får samma frågor och svarsalternativ till stängda frågor. Vidare kan en enkätundersökning genomföras på ett större urval av deltagare och täcka ett omfattande geografiskt område. Eftersom denna studie syftar till att undersöka kunskapsläget i Sverige och behöver därav nå till aktörer inom olika kommuner längst Sveriges kust bedöms metoden vara lämplig. En enkätundersökning medför även fördelar för deltagarna som får möjlighet att begrunda frågor och därav ge genomtänkta och noggranna svar, vilket ökar studien tillförlitlighet. Eftersom enkäten är opersonligt administrerad minskar risken för förekomst av en så kallad intervjuareffekt, vilket innebär att intervjuaren omedvetet påverkar deltagarens svar. Enkätsvaren är vanligen lättolkade och möjliggör snabb analys och resultatsammanställning, detta förutsätter dock att frågor är rättkonstruerade och lättförståeliga. Dock kan en enkätundersökning anses vara begränsad i och med antal frågor och dess ämnesspecifika karaktär. Oklarheter i frågor kan resultera i svar som grundas på missförstånd och därav inte bidra till att uppfylla studiens mål. För att motverka detta har respondenter i denna studie haft möjlighet att ta kontakt med enkätanordnaren och ställa följdfrågor samt lämna synpunkter i slutet av enkäten. Enkätundersökning kan också resultera i ett visst bortfall eftersom undersökningen känns mindre personlig och därav blir det enklare att avstå från deltagande. Bortfall kan också bero på felkonstruerade frågor eller ointresse från deltagarnas sida för ämne

som önskas undersökas. För att minska bortfallet har testenkäter skickats ut och rättats utifrån synpunkter från testrespondenter.

2.3.1 Strategiskt urval av respondenter

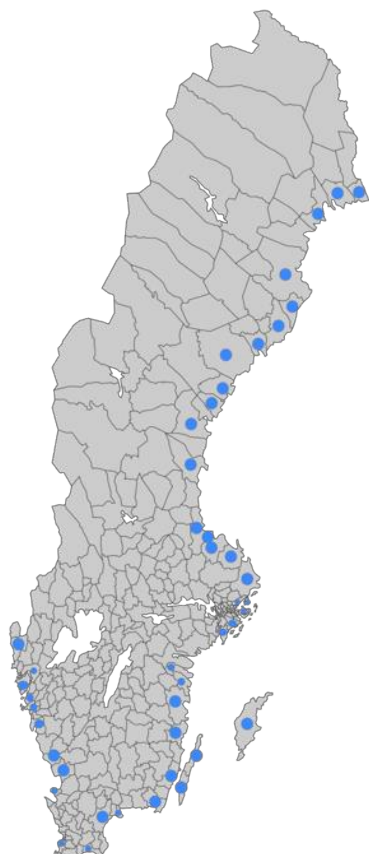
Respondenturvalet har syftat till att samtliga aktörer som berör avsaltning ska finnas representerade i intervjustudien. Respondenter till denna studie har delats i två grupper, nämligen: kommuner med kustområde samt leverantörer av avsaltningstekniker. Detta strategiska urval bedöms kunna tillhandhålla en helhetsbild av kunskapsläge samt möjliggöra identifiering av behovet för kunskapshöjande insatser inom denna aktörkedja.

2.3.1.1 Leverantörer

Leverantörer till enkätundersökningen har valts efter en inledande marknadsundersökning som följde kriterier beskrivna i kapitel 2.2. Sammanlagt har 9 olika producenter av avsaltningstekniker kontaktats. Samtliga bedöms vara ledande aktörer inom avsaltningstekniker i Sverige.

2.3.1.2 Kommuner

Kommuner till enkätundersökningen har valts utifrån geografiskt läge vilket medför att endast kommuner med tillgång till hav har blivit inbjudna att delta i studien. Detta eftersom denna undersökning fokuserar på avsaltning av havsvatten och kustnära kommuner bedöms ha potentiell kunskap om avsaltning i respektive område eller kunskapsbehov kring avsaltning som en lösning för dricksvattenförsörjning. Sammanlagt har 38 kommuner kontaktats. I Figur 1 presenteras de kommuner som fått inbjudan till att delta i studien.



Figur 1 Kommuner som har fått inbjudan till att delta i enkätundersökningen.

2.3.2 Frågeformulär

Frågeformuläret har utformats med syfte att förstå kunskapsläge och behov av förbättringsarbete inom avsaltning hos de valda aktörerna. Frågor i frågeformuläret har anpassats till de olika aktörernas roller inom avsaltning. Frågorna behandlade vissa gemensamma aspekter i syfte att tillhandhålla jämförelsepunkter för studien som speglar olika synvinklar hos de deltagande aktörerna. Ett så utformat frågeformulär möjliggör bredare undersökning där de komplexa aspekter som påverkar avsaltningsfrågan i Sverige fångas upp och därmed bidrar till identifiering av kunskapsläget hos de aktörer som finns representerade i studien.

Utifrån studiens mål har sex centrala teman identifierats för enkätundersökningen: (i) allmänt om avsaltning, (ii) samverkan och nätverk, (iii) tillsyn och kontroll, (iv) kännedom om antalet anläggningar i Sverige samt (v) förbättringsmöjligheter och (vi) utmaningar. Enkätundersökningen för teknikleverantörer innefattar även frågor kring drift och funktion, service samt rådgivning och avrådan.

Enkätformulär som har använts i denna studie har skapats med hjälp av Google-forms verktyget. Dessa formulär presenteras i separata bilagor för samtliga aktörer, Bilaga 1- leverantörer och Bilaga 2-kommuner.

I tabellen 1 och 2 presenteras ämneskategorier med tillhörande frågenummer där given kategori berörs.

Tabell 1 Frågekategorier till kommuner

Kategori	Frågenummer
<i>Allmänt om avsaltning</i>	6, 7
<i>Samverkan och nätverk</i>	2, 9, 10, 11, 12
<i>Tillsyn och kontroll</i>	3, 4
<i>Antal avsaltningsanläggningar</i>	1, 5
<i>Förbättringsmöjligheter</i>	8, 13
<i>Utmaningar</i>	14

Tabell 2 Frågekategorier till teknikleverantörer

Kategori	Frågenummer
<i>Allmänt om avsaltning</i>	4, 5, 18
<i>Samverkan och nätverk</i>	19
<i>Tillsyn och kontroll</i>	11, 13
<i>Antal avsaltningsanläggningar</i>	1, 2, 3
<i>Förbättringsmöjligheter</i>	14

<i>Utmaningar</i>	20
<i>Driftstörningar</i>	12
<i>Service</i>	8, 9, 10
<i>Rådgivning och avrådan</i>	6, 7, 15, 16, 17

2.3.3 Genomförande

Denna enkätstudie är uppdelad i tre olika faser under vilka de identifierade aktörsgrupper kontaktas. Inledningsvis har leverantörer av avsättningstekniker kontaktats, sedan kommuners miljökontor och bygglovsavdelning och slutligen verksamhetsutövare. Undersökningen har genomförts mellan den 7:e april och 30:e maj 2020.

Frågeformuläret adresserat till leverantörer har skickats till företagets VD eller försäljningschef. I de fall där ingen kontaktperson har kunnat identifierats med hjälp av företagets hemsida har en förfråga skickats till en registrator.

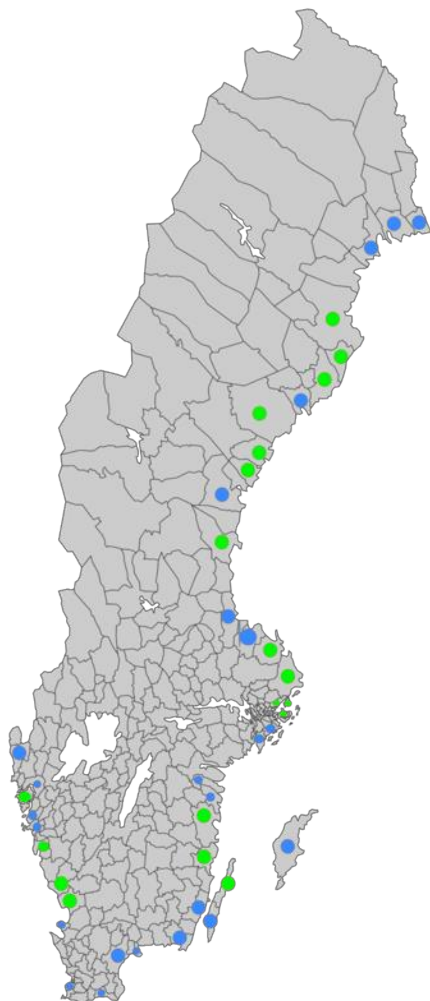
Frågeformuläret adresserat till kommuners miljökontor och bygglovsavdelning har skickats till relevanta tjänstepersoner. I de fall där ingen kontaktperson har kunnat identifierats med hjälp av kommunens hemsida har enkäten skickats till en registrator.

Samtliga personer i urvalet har fått inbjudan till att delta i studien via ett e-postutskick. Inbjudan har bestått av en kort presentation av studiens mål och omfattning, i syfte att informera deltagaren om dennes roll i sammanhanget, samt en personlig länk till enkäten och kontaktuppgifter till studiens anordnare.

2.3.4 Svarsfrekvens

Svarsfrekvensen har varierat mellan de olika aktörsgrupper och sammanlagt har 27 svar inkommit från samtliga grupper. Åtta leverantörer har valt att delta i studien, vilket resulterar i en svarsfrekvens om 90% (8 av 9). Sju kommuner har svarat med autosvar med hänvisning till 24 timmars handledningstid, dock utan vidare svar. Sex kommuner har avböjt att svara med hänvisning till tidsbrist. Totalt sett har 19 kommuner svarat på frågeformuläret, 16 svar från miljökontor och 3 från bygglovsavdelningar, vilket resulterar i svarsfrekvens om 50% (19 av 38). 8 kommuner har dock svarat ofullständigt då avsättning inte anses aktuell inom kommunen.

I figur 2 presenteras en karta med markeringar över kommuner som har deltagit i studien.



Figur 2 Kommuner som valt att delta i enkätundersökningen (grön markerade).

2.4 Exempelsamling

Exempelsamlingen innefattar en beskrivning av befintliga avsaltningssystem som finns i Sverige. Exempelsamlingens syfte är att ge en verklig bild av hur inrättning, drift och skötsel av en avsaltningssystem ser ut samt identifiera kunskapshöjande insatser och förbättringar hos samtliga aktörer.

Kontakt till verksamhetsutövare har hämtats från enkätundersökningen där samtliga aktörer fick förfrågan om kännedom av befintliga avsaltningssystem i drift. Sammanlagt har 15 personer kontaktats och platsbesök kunde genomföras hos 3 av dem.

3. Vatten i Sverige

Sverige har en god tillgång till färskvatten och ett av Europas lägsta vattenexploateringsindex. Endast 1% av tillgänglig vatten tas ut och används i hushåll, jordbruk och industri [9]. Denna statistik speglar dock inte lokala och regionala variationer i vattentillgången i förhållande till vattenuttag [10]. Detta eftersom geografiskt sett sammanfaller vattentillgången inte nödvändigtvis med vattenuttaget, vilket leder till förekommande tidvis vattenbrist i vissa regioner. Vattenbrist i Sverige är framförallt kopplad till låga grundvattennivåer och drabbar i första hand befolkning som får sitt dricksvatten från grundvattenbrunnar. Vattenbristen uppstår oftast under vår- och sommarperioden då vattenbehovet ökar i samband med bevattning samt ökad sommarbefolkning [11]. Detta blev särskilt påtagligt somrarna 2016, 2017 och 2018 då stora delar av Sverige drabbades av långvarig torka. Vattenförsörjningen försvårades och den uppstådda vattenbristen påvisade vikten av implementering av hållbar vattenhantering och nya alternativa vattenresurser [1][12][13].

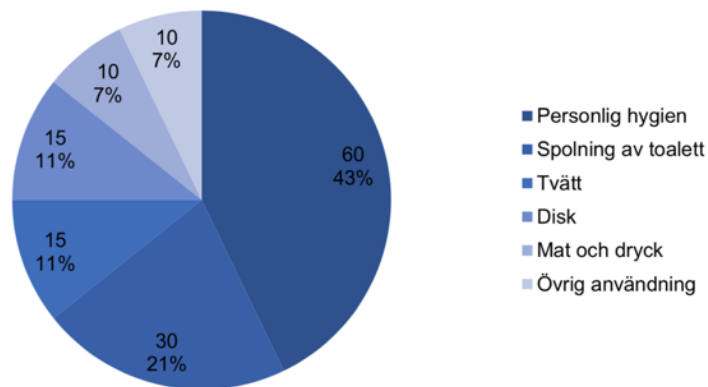
3.1 Vattenanvändning

Det totala vattenuttaget i Sverige under år 2015 beräknas uppgå till 2 444 miljoner kubikmeter. Vattenuttaget utgörs av cirka 80% ytvatten och 13% grundvatten, de resterande 7 % redovisas som ej fördelat vatten [14][15]. Utöver det har cirka 639 miljoner kubikmeter havsvatten tagits ut och använts inom industrin [16]

Sveriges vattenförsörjning utgörs huvudsakligen av allmän vattenförsörjning från kommunala vattenverk. Över 86% av landets befolkning är anslutna till det kommunala nätet. Anslutningsgraden varierar dock regionalt. I befolkningstäta kommuner får nästan 100 procent av befolkningen dricksvatten genom kommunal vattenförsörjning, däremot i kommuner med liten folkmängd, spridd över en stor yta är anslutningsgraden betydligt lägre. Den låga anslutningsgraden beror på den höga kostnaden samt praktiska svårigheter vid dragning av omfattande ledningsnät till enskilda hushåll och mindre bostadsområden. De hushållen som inte är anslutna får sitt vatten från enskilda vattentäkter och utgör omkring 14% av Sveriges befolkning [14].

Den totala vattenanvändningen i Sverige är något mindre än vattenuttaget och beräknas uppgå till 2 431 miljoner kubikmeter. Anledningen till detta är att en del vatten stannar i produkten samt att industrin tar ut dräneringsvatten som återgår till kretsloppet utan vidare användning [1] [14]. Vattenanvändningen fördelas i fyra huvudkategorier: industri, hushåll, jordbruk och övrig användning. Industrisektorn står för cirka 61% av den totala sötvattenanvändningen, hushåll använder över 23% sötvatten, medan jordbruk använder cirka 3% vatten. De resterande 13% utgörs av övrig användning som innefattar kommunalt vatten som används inom bland annat transporter, varuhandel, byggnation, hotell- och restaurang[14][15].

Den totala vattenförbrukningen per person och dygn som distribueras från allmän vattenförsörjning uppskattas uppgå till 140L och kan delas upp i sex huvudkategorier [17]. Den procentuella fördelningen mellan dessa kategorier presenteras i figur 3.



Figur 3 Procentuell fördelning per kategori uttryckt i liter per person och dygn. Bilden lånad från [17].

Den totala vattenförbrukningen per person och dygn från enskild vattenförsörjning är okänd, men uppskattas vara lägre än vid allmän vattenförsörjning [18].

3.2 Vattentillgång

3.2.1 Ytvatten

Ytvatten innefattar främst vatten från sjöar och vattendrag. Vattenmängden i ytvattentäkter beror främst på klimatologiska och geologiska parametrar. Ytvattens sammansättningen påverkas av ytliga flöden, så som tillrinning av grundvatten, nederbörd och ytavrinning [17][19]. Dessutom påverkas ytvattens karaktär av markanvändningen vid vattentäkten, så som jordbruk och industri [20]. Vattenkvaliteten i ytvattentäkter uppvisar därmed stor variation och kan förändras snabbt till följd av årstid och meteorologiska förhållanden [11]. Ytvatten behöver behandlas innan det kan anses vara drickbart, vilket gör att ytvatten främst används vid allmän dricksvattenförsörjning, då kommunala vattenverk tar hand om vattenrening och säkerställer tillfredställande kvalitet på vatten som levereras till konsumenter [21].

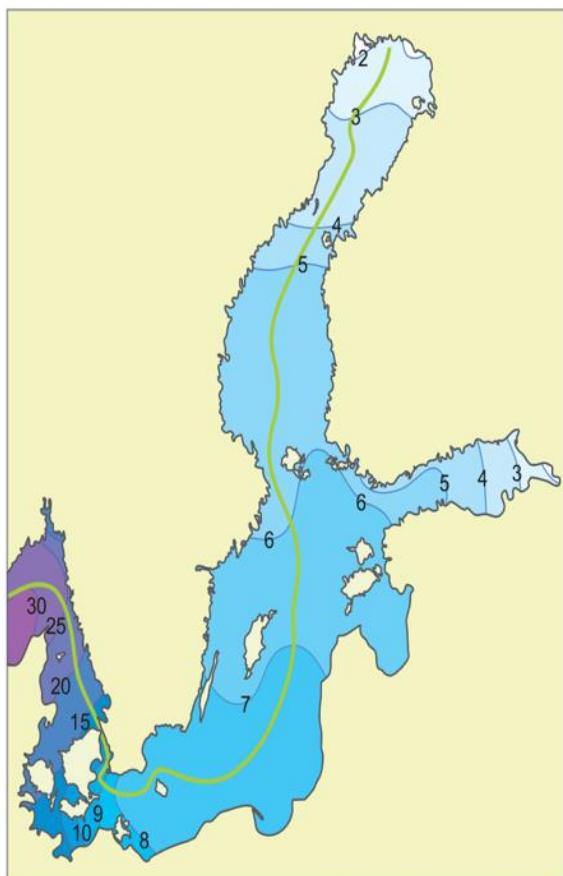
3.2.2 Grundvatten

Grundvatten är nederbörd som har infiltrerats genom marken och lagras i geologiska bildningar. Därav påverkas vattenmängden i grundvattenmagasinet av nederbördsmängden, jordarternas hydrauliska konduktivitet och förekomst av öppna sprickor i berggrunden samt dess magasinering förmåga [22]. Vattenmängden är därmed god i grovkorniga jordlager, där vatten kan släppas igenom för att nå berggrunden, samt i sprickiga och porösa berggrunder [23]. Grundvattens sammansättning påverkas främst av geologiska och hydrogeologiska förhållanden, men även av eventuell antropogen påverkan i området [24]. Grundvattenkvaliteten anses vara god och drickbar utan några krav på förbehandling, vilket gör grundvatten till en viktig källa vid enskild vattenförsörjning [25].

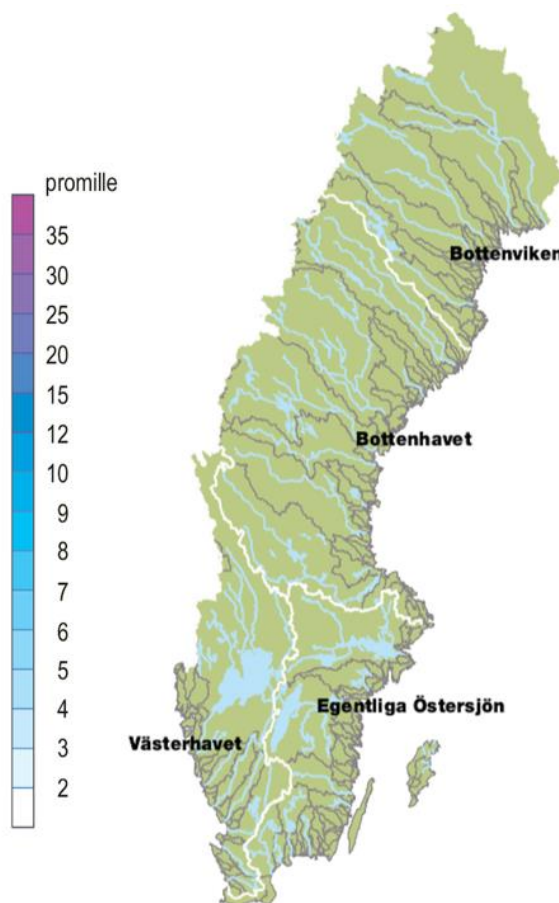
3.2.3 Saltvatten

Svenskt havsområde är mycket speciellt i flera avseende och utgörs av både Östersjön och Västerhavet. Vid beskrivningar av Östersjön brukar en indelning mellan Bottenhavet, Bottenhavet och Egentliga Östersjön tillämpas, se figur 4 [26]. Östersjön är ett innanhav med stort sötvatteninflöde från nederbördsrikt dräneringsområde norr om Sverige samt begränsat utbyte med Västerhavet och Atlanten [27]. Grunda trösklar som förekommer i Östersjön och olika salthalt skapar en saltskiktning som försvårar cirkulationen av havsvattnet och resulterar i långsam vattenomsättning [27][28]. Dessa egenskaper gör Östersjön speciellt känslig mot antropogen påverkan vilket bidrar till Östersjöns höga föroreningsinnehåll och övergödning. Som följd av övergödning drabbas Östersjön årligen av kraftig algbloomning som potentiellt kan ha negativa effekter på människors hälsa om vattnet används som dricksvattenkälla [29].

Salthalten i Östersjön varierar mellan Bottenviken, Bottenhavet och Egentliga Östersjön. Även Västerhavet har varierat salthalt som generellt sett mycket högre än den i Östersjön. Detta presenteras i figur 5. Salthalten i Bottenviken är låg och sträcker sig från 2-3,5 promille. I Bottenhavet är salthalten högre och uppgår till 4-5 promille. I Egentliga Östersjön är salthalten mellan 6-8 promille dock, som resultat av saltsiktningen, kan salthalten uppgå till 11-16 promille på ca 60 meters djup. Västerhavets salthalt uppgår till 15-30 promille, här är saltsiktningen obetydlig och djupvattens salthalt ligger på cirka 34 promille [26][28].



Figur 5 Salthalten längst Sveriges kust, uttryckt i promille. Bilden lånad från [26].



Figur 4 Indelning av Sveriges havsområde enligt SMHI. Bilden lånad från Naturvårdsverket 2011 [26].

3.3 Vattenkvalitet

Vatten förekommer sällan som rent H₂O, utan består av ett brett spektrum av olika komponenter så som: mineraler, gaser och organiskt material. Vattnets huvudsakliga funktion är att hydrera kroppen och upprätthålla en god vätskebalans. På grund av vattnets mineralinnehåll kan det anses vara en källa till en rad olika essentiella ämnen [29]. Det råder dock stora osäkerheter och delade uppfattningar kring dricksvattens roll som källa till dessa livsviktiga ämnen. Dessutom saknas det representativa studier kring vattenkonsumtions betydelse för intag av mineralämnen [30].

Vattnets sammansättning och koncentration av samtliga komponenter påverkas av råvattenkällan och dess geologiska förutsättningar samt antropogen påverkan [29]. Trots de olika förutsättningarna behöver dricksvatten hålla samma höga kvalitet oavsett ursprungskällan. För att säkerställa god vattenkvalitet har rekommendationer tagits fram av Livsmedelsverket på kvalitetsparametrar som behöver kontrolleras [31]. Allmänt kan dessa parametrar delas upp i två grupper, nämligen mikrobiologiska och kemiska faktorer [32].

3.3.1 Kemiska parametrar

3.3.1.1 Lukt

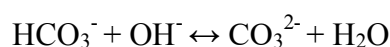
Lukt kan vara en indikator för eventuell förorening eller bristfällig vattenbehandling. Vanligen orsakas lukten av oorganiska eller organiska föroreningar, mikroorganismer, korrosion eller klorering [32][33].

3.3.1.2 Färg

Dricksvatten bör vara genomskinlig, om färg uppkommer i dricksvatten kan detta tyda på förhöjd metallhalt, från exempelvis korrosion eller industriell förorening, eller organiska föroreningar, så som: humus- och fulvosyror [32][33].

3.3.1.3 Alkanitet

Alkanitet är ett mått på vattnets buffertkapacitet, vilket innebär förmågan att acceptera oxoniumjoner utan att reagera med kraftigt pH-ändring. I dricksvatten utgörs buffertkapaciteten främst av vätekarbonatjoner då bidrag från andra joner är försumbar. Buffertkapacitet kan anges av följande kemisk reaktion:



Ur korrosionssynpunkt är halt över 60mg/l HCO_3^- rekommenderad för att minska korrosionsrisken [33]

3.3.1.4 pH

pH är ett mått på vattnets surhetsgrad som orsakas av vätejoners aktivitet. Ur korrosionssynpunkt är värden mellan 7,5 och 9 rekommenderade, medan vid pH lägre än 7 råder förhöjd risk för korrosionsskador på rörledningar och därav metallupplösning i vattnet som leder till försämrad vattenkvalitet [34]. Ett pH-värde över 10,5 kan indikera överskott av alkaliska föreningar [33].

3.3.1.5 Hårdhet

Hårdhet beskriver vattnets mineralinnehåll med avseende på främst kalciumjoner. Vatten med lågt respektive högt mineralinnehåll kallas mjukt vatten respektive hårt vatten [29].

Vattnets hårdhet betecknas med tyska hårdhetsgrader (°dH) och bestäms av koncentrationen kalciumoxid (CaO) per liter vatten, där 1°dH motsvarar 10 mg CaO. Gränsvärdet för mycket mjukt vatten är 0-2°dH och mycket hårt vatten över 20°dH [29][35].

3.3.1.6 Klorid

Klorid förekommer naturligt i både salt- och grundvatten. Halter över 50mg/l i grundvatten kan dock indikera saltvattenträngning eller relikv grundvatten. Vid högre halt klorid, över 300mg/l kan vattenkvaliteten med avseende på smak försämrast [33].

3.3.1.7 Natrium

Natrium förekommer naturligt i grund- och saltvatten, även i halter över gränsvärdet. Halter över gränsvärdet i grundvatten kan indikera saltvattenträngning i grundvattenmagasinet. Högre natriumhalter, över 200mg/l, kan ge smak [33].

3.3.1.8 Magnesium

Magnesium förekommer naturligt i råvatten, även i halter över gränsvärdet. En hög magnesiumhalt kan ge smak [33].

3.3.1.9 Sulfat

Sulfat förekommer naturligt i råvatten, även i halter över gränsvärdet. Vatten med hög sulfathalt blir korrosivt och kan dessutom skapa irritationer i mag- och tarmkanalen. Halter över 250mg kan ge förändrad smak [33].

3.3.1.10 Kalcium

Kalcium förekommer naturligt i råvatten, även i halter över gränsvärdet. Hög kalciumhalt kan orsaka fällning i distributionssystemet samt eventuella skador på textilier vid tvätt [33].

3.3.1.11 Järn

Järn förekommer naturligt i råvatten, även i halter över gränsvärdet. Hög halt järn i vattnet kan medföra missfärgning och försämrad vattensmak samt eventuella skador på textilier vid tvätt [33].

3.3.1.12 Mangan

Mangan förekommer naturligt i råvatten, även i halter över gränsvärdet. Utfällning av mangan i vattnet kan medföra missfärgning samt eventuella skador på textilier vid tvätt. Dessutom kan hög manganhalt i kombination med bröstmjölksersättning påverka nervsystemet negativt [33].

3.3.1.13 Fluorid

Fluorid förekommer naturligt i råvatten. Halter under gränsvärdet har positiv påverkan på tandhälsan. Dock kan konsumtion av dricksvatten med för hög fluoridhalt öka risken för fluorinlagring (osteofluoros) samt orsaka tandemaljfläckar (fluoros) hos barn vars tänder anläggs [33].

3.3.2 Mikrobiologiska parametrar

3.3.2.1 Odlingsbara bakterier 22°C och 36°C

Förekomst av odlingsbara bakterier i dricksvatten kan indikera ökad risk för vattenburen smitta, normalt sett inte av fekalt ursprung. Den används ofta som mått på desinfektionens effektivitet och dricksvattens mikrobiologiska kvalitet [36].

3.3.2.2 Mikrosvamp

Mikrosvamp i dricksvatten kan orsaka förändrad lukt och smak. Höga halter av vissa mögelsvampar, över 1000/100ml, kan orsaka överkänslighetsreaktioner, så som: eksem, klåda och utslag [36].

3.3.2.3 Koliforma bakterier

Koliforma bakterier i dricksvatten kan indikera ökad risk för vattenburen smitta [36].

3.3.2.4 *Clostridium perfringens*

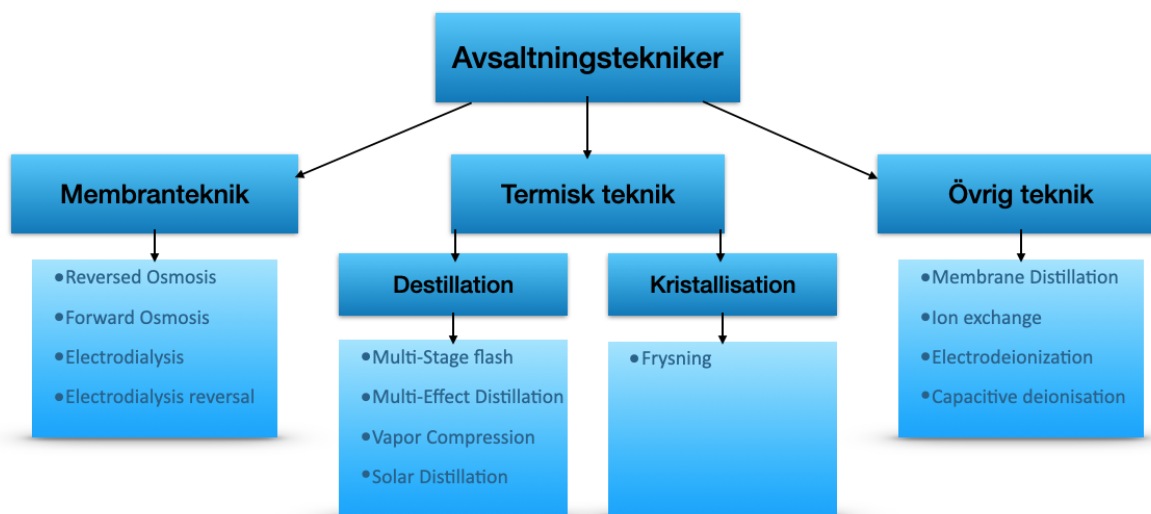
Clostridium perfringens i dricksvatten kan indikera ökad risk för vattenburen smitta. Höga halter av denna bakterie kan orsaka mag- och tarmbesvär [36].

3.3.2.5 *Escherichia coli (E-coli)*

E-coli i dricksvatten kan indikera ökad risk för vattenburen smitta. Det är vanligen harmlösa bakterier, dock förekommer det sjukdomsframkallande E-coli som kan orsaka allvarliga symptom [36].

4. Avsättningstekniker

Avsättning är en process varvid lösta salter separeras från saltvatten och rent dricksvatten erhålls. I dagsläget finns det en rad olika tekniker som kan användas vid avsättning av havsvatten. Dessa tekniker delas vanligen in i tre huvudtyper: membran teknik, termisk teknik och övriga tekniker, som inkluderar bland annat termiska membran tekniker [37]. Denna teknikfördelning presenteras i figur 6.



Figur 6 Teknikfördelning mellan olika avsättningstekniker.

Gemensamt för alla dessa avsättningstekniker är det höga energibehovet som utgör den största begränsningen för användning av avsättningsprocesser. Det minimala energikravet för separation av salter från havsvatten bestäms av termodynamiken och är därav oberoende av tekniken eller antalet separationssteg [37][38]. Det teoretiska minimala energikravet för avsättning av havsvatten med en saltkoncentration av 35 000 ppm beräknas till 1,06kWh/m³. Det verkliga energibehovet uppskattas vara mellan 5-26 gånger större beroende av separationstekniken [38]. Generellt sett kräver membran tekniker mindre energi än de termiska metoderna, vilket beror på att endast elektrisk energi behövs för att driva membran processer, medan termiska tekniker kräver både elektrisk och termisk energi [37]. Energikostnaden står för cirka 50% av den producerade vattenkostnaden. Utöver det är även kapitalinvesteringar samt drifts- och underhållskostnader viktiga faktorer som bör tas hänsyn till vid ekonomisk utvärdering av avsättningstekniker [38].

4.1 Membranteknik

Membran separationstekniker är en relativt ny, men mycket snabbväxande och brett tillämpad metod [39]. Membrantekniker har visat sig vara väldigt effektiva för separation av joner och mindre molekyler, vilket gör metoden särskilt lämplig för vattenrening [37]. Arbetsprincipen för membran tekniker är att ett ämne får passera ett selektivt och poröst membran, som fungerar som en barriär för substansens beståndsdelar. Dessa separeras med avseende på kemiska och fysikaliska egenskaper så som laddning och storlek [40]. Vid vattenrening innebär detta att organiskt material, mikroorganismer, upplösta joner och andra ämnen stoppas av membranen. Vilka ämnen som avskiljs av ett membran beror främst på membranens material och porstorlek [41]. Allmänt kan membranen vara tillverkade av antingen organiskt eller icke-organiskt material, men även keramiska membran förekommer. Vidare kan membran processer delas in i fyra huvudtyper med avseende på dess porstorlek, nämligen: mikrofiltrering (MF), ultrafiltrering (UF), nanofiltrering (NF) och omvänd osmos (RO). De två förstnämnda har porstorlek mellan 1-0,01µm, vilken innebär att endast större partiklar kan avskiljas, dock kan

dessa membran med fördel användas i förbehandlingssteget vid avsaltning av havsvatten [42]. Nanofiltrering och omvänd osmos har membran med porstorlek mellan 0,01-0,0001 μm [37]. Dock har de flesta NF- och RO-membran inga tydliga porer och vatten flödar istället genom kanaler som skapas av polymerkedjor som bygger upp membranet [42].

Drivkraften för membrantekniker kan vara tryck, koncentrationsgradient, temperaturskillnad eller elektrisk potential [39][40][41]. Energiförbrukningen utgörs av främst elektrisk energi som används för att driva högtryckspumpar för samtliga membranprocesser [35].

Membranseparationstekniker har en rad olika fördelar med avseende på vattenrening. Den mest anmärkningsbara fördelen är teknikens höga energieffektivitet som beror på avsaknad av fasändring under separationsprocessen [43]. De främsta fördelar som förknippas med dessa tekniker är: (i) processens enkelhet som erbjuder högeffektiv och selektiv separation i endast ett eller några få steg, (ii) miljövänlig separation då inga kemiska reaktioner är inblandade och därav inga sekundära produkter erhålls (iii) lågt fotavtryck samt (iiii) enkelhet vid uppskalning av anläggningen tack vare den modulära konstruktionen [37][39][40][41]. Nackdelar som nämns i samband med membranseparationstekniker är (i) kostnad, (ii) energikonsumtion, (iii) membranens livslängd samt (iiii) produktion av koncentrerat avfall [40].

4.1.1 Reversed osmosis (RO)

Reversed osmosis (RO), omvänd osmos, är den mest använda membrantekniken för avsaltning. Den drivande kraften för separationen är tryck och beroende av vätskans sammansättning och osmotiskt tryck kommer tryckbehovet att variera [37]. En vätska med hög halt av lösta ämnen kommer kräva ett högre tryck för att passera genom membranet. Således kräver rening av havsvatten med RO en högre trycksättning än rening av bräckt vatten (WIPO 2011, [37][47]. Detta eftersom det osmotiska trycket hos saltvatten ligger runt 23-26 bar, medan för bräckt vatten är det osmotiska trycket mellan 1-3 bar. Det medför att ett tryck av 60-80 bar för saltvatten, respektive 6-30 bar för bräckt vatten, krävs för att övervinna det osmotiska trycket [2][37]. De finns tre membrantyper som används vid RO-separationen, nämligen: cellulosebaserade membran, aromatisk polyamid och tunnfilmkomposit (TFC) [44]. TFC ger det högsta vattenflödet och bäst beständighet mot högt och lågt pH samt organiska föroreningar, dock är installationskostnader höga för denna membrantyp [37]. RO har en kapacitet mellan 0,1 m^3/dygn och 395 000 m^3/dygn [38].

4.1.2 Forward Osmosis (FO)

Forward Osmosis (FO), framåt osmos, är en lovande separationsteknik för avsaltning [37]. Den drivande kraften för separationen är en osmotisk tryckgradient och till skillnad från RO, drivs FO vid lågt eller inget hydrauliskt tryck [45][46]. Som ett resultat av osmotisk tryckskillnad, mellan en lösning med högre kemisk potential (t.ex. havsvatten) och en lösning med lägre kemisk potential (lösningsmedel), kommer vattnet att passera ett membran, renas med avseende på lösta ämnen och bioföroreningar för att slutligen överföras till ett lösningsmedel [37]. Det högkoncenterande lösningsmedlet avdunstar och återförs systemet så att endast rent vatten kvarstår [47]. Val av lösningsmedlet och FO-membranet är därmed de viktigaste faktorerna vid utveckling av mer effektiva och tillämpningsbara FO-processer för rening av havsvatten [37][48]. Lösningensmedlet behöver tillhandhålla tillräckligt högt osmotiskt tryck för att hålla vattenflödet stabilt under processen. Vidare bör lösningen vara giftfri, enkel att återvinna samt billig [49]. FO-membran bör ha låg koncentrationspolarisering (CP), hög saltretention och stark mekanisk hållfasthet [37][49]. FO-membran är generellt sett mindre benägna att skadas av föroreningar i jämförelse med tryckdrivna membranprocesser, dock är detta fortfarande ett problem som påverkar även FO-membrans prestanda [49]. Membran som används i FO-processen är vanligen kommersiellt tillgängliga RO-membran som har genomgått kemisk ytmodifiering i syfte att ge membranet önskade egenskaper [45][50].

4.1.3 Electrodialysis (ED)

Elektrodialys är en elektrokemisk separationsteknik som ofta tillämpas i avsaltningsanläggningar [37][47]. Den drivande kraften för separationen är elektrisk potential. Elektrodialys är en membranteknik, där vatten separeras från saltjoner genom att passera anjon- och katjonmembran [51]. Dessa membran är placerade mellan en katod och en anod som ger upphov till elektrisk spänning. Den elektriska spänningen medför att anjoner i vatten lockas av den positiva elektroden (anoden), och katjoner lockas av den negativa elektroden (katoden). Eftersom anjonbytarmembran endast är permeabelt för katjoner, kommer anjonerna hållas tillbaka av detta membran, det omvända gäller för katjoner. På detta sätt separeras havsvatten från lösta salter. Precis som RO kräver ED en förbehandling av råvattnet i syfte att skydda membranet [37]. ED har kapacitet mellan 2 och 145 000 m³/dygn [38].

4.1.4 Electrodialysis reversal (EDR)

EDR använder samma arbetsprincip som ED, dock har denna teknik utökats med ett självrengörande system som förhindrar avlagringar av föroreningar på membranet. Självrengörandesystemet går ut på att vattenflödet ändrar riktning ett antal gånger i timmen och på så sätt spolat membranerna. Tekniken används främst som kompletterande metod till andra avsaltningstekniker vid avsaltning av bräckt vatten [38][47].

4.2 Termisk teknik

Termiska avsaltningstekniker baseras på fasförändring i vattentillståndet, vilket medför separation med avseende på salter. Termiska tekniker kan delas i två grupper, destillation och kristallisation av vatten.

Arbetsprincipen för destillation är att havsvatten värms upp till dess mättnadstemperatur och avdunstar. Det förångade vattnet är fritt från salter och kan kondenseras till rent vatten [37]. Destillation precis som de flesta membrantekniker kräver förbehandling av råvatten i syfte att minska risken för avlagringar av kalcium och magnesium samt eventuell korrosion. Förbehandlingssteget består vanligen av kemikalietillsättning i form av polyfosfater, syror och oxidationsmedel [2]. Arbetsprincipen för kristallisation är att havsvattentemperatur sänks till dess fryspunkt så att iskristaller bildas. Iskristallerna är fria från föroreningar och behöver separeras från kvarstående saltlösningen, göras rent och slutligen smälta så att rent vatten utvinns. Dessa tekniker behöver vanligen ingen förbehandling, är energieffektiva och har låg korrosionsrisk [46][52].

4.2.1 Multi-stage flash (MSF)

Multi-stage flash (MSF) är den näst mest använda tekniken för avsaltning av havsvatten, [37][53][54]. Denna separationsteknik kräver både elektrisk och termisk energi och har därav en hög energikonsumtion [37]. Den termiska energin används för att värma upp inkommande vattenflöde till dess mättnadstemperatur (90-110 °C), medan den elektriska energin behövs för att driva pumpar [38][53]. MSF-systemet består av flera kammare där avdunstning sker vid givet tryck. Trycket minskar successivt i varje efterkommande kammare vilket medför att inkommande vatten alltid är överhettat i förhållande till rådande tryck- och temperatur i kammaren [37][47]. Som resultat av överhettning kommer värme och ånga att avges. Denna ånga kan sedan fångas upp och kondenseras så att rent vatten framhålls och överskottsvärme återförs systemet och användas för att värma upp ett nytt havsvattenflöde genom värmeväxling [37][38]. Denna process repeteras i varje steg. Antalet steg i ett MSF-system varierar från 4-40 och MSF kan därav behandla vattenvolymer från 10 000 till 40 000 m³/dygn [55].

4.2.2 Multi Effect Distillation (MED)

Multi Effect distillation (MED) fungerar på samma sätt som MSF och består därmed av en rad tryckkammare varvid vatten förångas och tryckgradienten minskas för varje steg [37]. Skillnaden är att MED använder en extern värmekälla endast vid initial införsel av vattenflöde, vilket medför betydligt mindre energikonsumtion jämfört med MFS [38][47]. Vattentemperaturen höjs till vanligen ca 110 °C i det första steget. Antalet steg varierar mellan 2-16 och MED-systemet har vanligen kapacitet mellan 600- 30 000 m³/dygn. Det finns även MED-system som kan arbeta vid initialtemperatur på 70 °C, dock är antal steg begränsade till 10 i en så utformad MED-process [37].

4.2.3 Vapor Compression (VC)

Vapor Compression (VC), ångkompression, är en destillationsprocess där separationen erhålls genom förångning av havsvatten. Värme som behövs för avdunstning av havsvatten tas från den komprimerade vattenången. Under kompressionen ökas både trycket och temperaturen vilket medför att vid senare kondensering av en komprimerad ånga, kan mycket latent värme utvinnas och överförs systemet med havsvatten [37]. Det finns två metoder som bygger på ångkompression, nämligen termisk ångkomprimering (thermal vapor compression TVC) och mekanisk ångkomprimering (mechanical vapor compression, MVC). TVC går ut på att vattenånga extraheras från ett kärl och som resultat av denna extraktion sänks omgivningstrycket i kärlet. Den extraerade vattenången komprimeras av en ångstråle vilket leder till kondensering av ången och därav värmeavgivning. Detta värme används för att förånga inkommande havsvatten och därav erhålla rent vatten [47]. MVC använder istället mekaniska kompressorer för att komprimera ången. Kapacitet för en VC-processer ligger på mellan 10 000 – 30 000 m³/dygn för TVC, respektive 100 – 3 000m³/dygn för MVC [37].

4.2.4 Solar distillation

Solar distillation är en enkel separationsteknik som bygger på att havsvatten utsätts för solstrålning varvid avdunstning sker och bildad renad ånga kan fångas upp på kondenseringsytor där kondensering sker och rent vatten erhålls. Denna teknik kräver vanligen stor yta och kännetecknas av låg produktivitet, dock hittas dess tillämpning i både liten och stor skala [47].

4.2.5 Freezing With Hydrates (FH)

Freezing with hydrates (FH), frysning med hydrater, är en frysprocess som går ut på att ett kristallint hydrat bildas vid aggregering av vattenmolekyler och gasformig kolväte. Vid bildning av hydratet exkluderas salter och andra föroreningar så att efter smältning endast rent vatten erhålls. Kolvätegasen återförs systemet [56].

4.3 Övrig teknik och hybrider

Det finns en rad olika tekniker som utnyttjar fördelar från olika tekniker och utgör så kallade tekniska hybrider.

4.3.1 Membrane distillation (MD)

Membrane distillation (MD), membrandestillation, är en separationsprocess som utnyttjar både termisk teknik och membranteknik. Precis som i en termisk process, förångas saltvattnet och den bildade ången får sedan passera genom ett hydrofobt membran, precis som i en membranteknik [57]. Den vattenånga som passerar membranet kommer i kontakt med ett kylmedium och kondenserar så att rent vatten erhålls [37]. Drivkraften för denna process är partialtryckdifferensen samt temperaturgradienten [47][57]. Det finns fyra olika typer av membrandestillation, nämligen: Direct Contact Membrane Distillation (DCMD), Air Gap Membrane Distillation (AGMD), Sweeping Gas Membrane Distillation (SGMD) och Vacuum Membrane Distillation (VMD) [58]. DCMD är den mest utforskade tekniken på grund av teknikens potential för användning i stor skala samt möjlighet till utnyttjande av förnybara

energiressurser [59]. MD-system arbetar vid temperaturen mellan 50°C - 80°C, vilket utgör en viktig fördel jämfört med andra termiska tekniker. Dessutom kan metoden användas för separation av vatten med hög saltkoncentration även vid låg tryck. Vatten som erhålls har en mycket låg salthalt [37][59].

4.3.2 Ion exchange

Ion exchange, jonbyte, är en välkänd separationsteknik som i vattenreningssammanhang oftast används i förbehandlingssteget, dock kan den även användas för rening av bräckt vatten. Jonbyte är en reversibel kemisk reaktion som går ut på att joner utbyts mellan en fast- och en vätskefas [47][60]. Jonbyte vid avsaltningsprocessen innebär att saltjoner som finns lösta i saltvatten kommer att bytas ut mot andra joner och på så sätt rena vatten.

4.3.3 Electrodeionization (EDI)

Electrodeionization (EDI), elektrodejonisation, är en separationsprocess som bygger på elektrodialys och jonbyte. Kombinationen av dessa tekniker möjliggör en effektiv behandling av lösningar med låg jonstyrka. I EDI-systemet får saltjoner passera bäddar av jonbytarhartser som ökar jontransportens effektivitet genom att absorbera saltjonerna från inkommande vattenflöde och överföra dem till membranen [47].

4.3.4 Capacitive Deionization (CDI)

Capacitive Deionization (CDI), kapacitiv dejonisation, är en separationsteknik som baseras på elektrosorption [61]. Den drivande kraften för separationen är potentialskillnaden över två porösa elektroder. Saltvatten får passera mellan två elektroder som har differentiell spänning mellan 1 och 1,4 V, spänningen får saltjonerna att migrera mot elektroderna och separationen sker [37]. Elektroder som används i CDI-systemet kan delas upp i två grupper, nämligen statiska- och flödeselektroder. Metoden lämpar sig främst för behandling av bräckt vatten där saltkoncentrationen inte överstiger 10 g/l [47]. CDI anses vara energieffektiv, dock kan biologiska föroreningar inte separeras med hjälp av denna metod, vilket ställer höga krav på förbehandling [37].

4.4 Energiförbrukning och kostnad för ledande avsaltnings tekniker

Energiförbrukningen vid avsaltningsprocesser beror på en rad olika faktorer så som: (i) teknikval, (ii) anläggningskapacitet, (iii) design samt (iiii) inmatningsströmskvalitet. Membranteknikers energiförbrukning påverkas dessutom av saltkoncentrationen i inflödet. Den primära energikällan för membrantekniker utgörs av elektricitet som kan genereras från en rad olika källor så som: fossilt bränsle, kärnkraft och förnybar energi. Termiska tekniker använder däremot termisk energi, som kan produceras från kraftverks spillvärme, fossila bränslepannor, industriell spillvärme och förnybara energikällor, som en primär källa och elektricitet som en sekundär energikälla [37][62].

Det totala energibehovet är högre för termiska processer på grund av den stora energimängd som krävs för att förånga vatten. Vissa termiska tekniker så som MSF och MED övervinner detta höra energibehov genom att tillämpa värmeväxling och fler antal steg i avsaltningsprocessen, dock förblir energiförbrukningen högre för dessa processer än för membranprocesser. Den rapporterade energiförbrukningen för termiska processer sträcker sig mellan 19,58 och 27,25 kWh/m³ för MSF, 14,45 och 21,35 kWh/m³ för MED, 7 och 12 kWh/m³ för MVC och cirka 16,26 kWh/m³ för TVC [37][38].

Membrantekniker förbättras kontinuerligt genom bland annat utveckling av nya membrantyper med längre livstid vilket resulterar i ett minskat energibehov för dessa processer. RO- och ED-system är de mest använda för avsaltnings av bräckt vatten. Beroende på saltvattens sammansättning är olika tekniker att föredra. Generellt sett gäller att RO-processen är mer

energieffektivt vid avsaltning av vatten med TDS koncentration högre än 5000 ppm, medan ED är mer energieffektiv vid lägre TDS koncentrationer. Energiförbrukningen för ED-processen ligger mellan 0,7 och 2,5 kWh/m³ för mindre än 2500 ppm och 2,64 till 5,5 kWh/m³ för 5000 ppm. RO-processens energiförbrukning ligger vanligen mellan 1,5 och 2,5 kWh/m³ för bräckt vatten, medan för havsvatten är energibehovet betydligt högre och sträcker sig från 4 till 6 kWh/m³[37][38]. I tabell 3 presenteras en sammanställning av den totala energiförbrukningen, fördelat mellan termisk och elektrisk energi, för samtliga tekniker.

Tabell 3 En sammanställning av energiförbrukningen för samtliga tekniker. Anpassad från [38].

	MSF	MED	MVC	TVC	ED	RO _{bräckt vatten}	RO _{havsvatten}
Anläggningens kapacitet (m ³ /dag)	50 000-70 000	5 000-15 000	100-3 000	10 000-30 000	2-145 000	max 98 000	max 128 000
Elektrisk energi (kWh/m ³)	2,5-5	2-2,5	7-12	1,6-1,8	0,7-5,5	1,5-2,5	4-6
Termisk energi (MJ/m ³)	190-282	145-230	0	227	0	0	0
Total energiförbrukning (kWh/m ³)	19,58-27,25	14,45-21,35	7-12	16,26	0,7-5,5	1,5-2,5	4-6

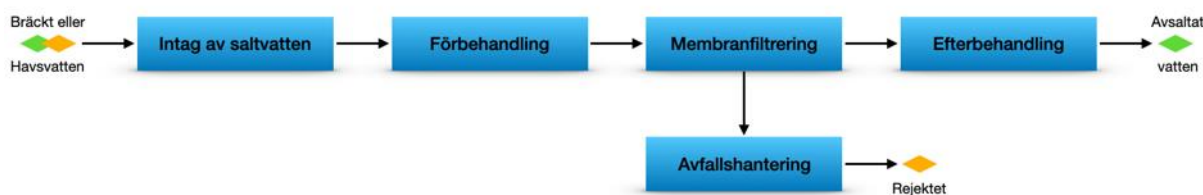
Ekonomi kring avsaltningsanläggningar är komplex och påverkas av en rad olika faktorer så som (i) energikostnad, (ii) inflödeskvalitet, (iii) kapital- och rörliga kostnader. Energiförbrukningen står dock för största delen av den totala kostnaden och utgör över 60% av vattenproduktionskostanden för termiska processer, och cirka 44% för membranprocesser. Den höga energikostnaden kan minskas väsentligt genom integrering med förnybara energikällor [35][38].

5. Omvänd osmos

5.1 Avsaltningsprocess

I Sverige används enbart membrantechniken omvänd osmos, RO, för separation av salter från havsvatten. Denna teknik används i såväl storskaliga anläggningar som mindre avsaltningsanläggningar för privat bruk [63].

Membranbaserad avsaltning kan förenklat delas upp i fem enhetsoperationer: intag av råvatten, förbehandling, avskiljning av salter, efterbehandling och slutligen, bortskaffande av saltkoncentratet (rejektet). Dessa enhetsoperationer presenteras i figur 7.



Figur 7 Enhetsoperationer inom en membranavsaltningsprocess.

I detta kapitel beskrivs de olika enhetsoperationerna i korthet med fokus på membranutformning. Vidare i kapitlet presenteras avsaltningstekniker avsedda för privat bruk som finns tillgängliga på den svenska marknaden.

5.1.1 Intag av råvatten

Intag av råvatten har en avgörande roll för utformning av en avsaltningsanläggning på grund av intagets påverkan på råvattenkvalitet. Eftersom råvattenkvalitet i sin tur avgör vilka förbehandlingsprocesser som krävs för att upprätthålla anläggningens rätta funktion, kommer den att medföra mätbar påverkan på ekonomi och utgåendevattens kvalitet [35]. Ett råvattenintag bör placeras på tillräckligt djup för att minska risken för upptag av alger, organisk material och kolloidala partiklar mm. som kan orsaka beläggningar på förfilter och membran. Rekommenderat djup varierar mellan 5 till 15 meter beroende på förhållande i vattenkällan [63]. Vattenintaget består vanligen av vattenledningar som stöds med betongvikter på havsbotten. Dessa vattenledningar ansluts till en råvattenpump som antingen placeras under vattenytan eller på land [64].

5.1.2 Förbehandling

Förbehandling av råvatten är ett nödvändigt steg vid membranbaserad avsaltning och består vanligen av ett flerstegs filtersystem med minskande porstorlek. Förbehandlingen bör vara specifikpassad efter förhållanden i råvattenkällan samt vattnets sammansättning [21][35][63].

Generellt sett utrustas småskaliga avsaltningsanläggningar med ett grovfilter, precis vid vattenintaget, och efterkommande sand- och/eller mikrofilter. Råvatten renas med avseende på suspenderat material, mikroorganismer samt organiska och oorganiska ämnen, vilket leder till minskad belastning på membran i efterkommande avsaltningssteg. I vissa fall kan dock det inkommande vatten behöva genomgå kemisk förbehandling. Detta beror dels på råvattnets kvalitet, men även membrantyp som används i avsaltningsenheten. Kemisk förbehandling kan innefatta pH-justering eller kemisk fällning, det sistnämnda är dock inte förekommande vid enskild vattenproduktion [21][35][63].

5.1.3 Membranfiltrering

5.1.3.1 Membrantyper

RO-membran som används för avsaltning består av en semipermeabel tunnfilm som kan tillverkas i antingen cellulosaacetat (CA) eller aromatisk polyamid (PA). Dessa membran är cirka 0,2 μm i diameter och karaktäriseras av en ostrukturerad polymermatris. Den ostrukturerade matrisen skapar krokiga kanaler inuti filmen och saknar därav tydliga porer. Vattentransporten sker genom diffusion varvid vattenmolekyler tränger sig genom kanaler och separeras från större molekyler såsom salter, bakterier och virus. Den semipermeabla filmen stöds av ett 25-50 μm mikroporöst lager och ett förstärkningsnät om cirka 120 μm , som tillsammans skapar en tresiktsstruktur som stabiliserar membranet och förbättrar dess hållbarhet [35][42][63]. I ett CA-membran tillverkas både tunnfilmen och det mikroporösa lagret av samma CA-polymer, medan i ett PA-membran består tunnfilmen av en polyamid och det mikroporösa lagret av en polysulfon. Denna strukturella skillnad resulterar i olika egenskaper och förutsättningar vid saltavskiljning. Ett PA-membran har negativ laddning vid pH högre än 5 vilket medför högre avstötning av salter än för ett CA-membran som har en neutral laddning. Dessutom är CA-membran effektiva endast inom ett begränsat pH-intervall, mellan 4 till 6, och temperaturer under 35 °C. Ett PA-membran kan däremot arbeta inom ett brett pH-område, mellan 2 till 12, vilket underlättar underhåll och drift av dessa membran. Dessutom arbetar PA-membran vid lägre tryck än CA-membran, ger högre saltavskiljning och är inte biologisk nedbrytbara vilket avsevärt ökar dess livstid, från 3-5 år för CA-membran till 5 till 7 för PA-membran. Dessa fördelar resulterar i ett brett tillämpningsområde för PA-membran inte minst vid avsaltning av bräck- och havsvatten. En nackdel med PA-membran är dock dess känslighet mot föroreningar och starka oxidanter, vilket leder till att CA-membran föredras vid rening av vatten med högt föroreningsinnehåll [35].

5.1.3.2 Membranmoduler

RO-membran organiseras i moduler för att effektivisera energiförbrukning och packningstäthet samt tillföra membran med god fysisk stöttning som krävs för att klara av det höga trycket som används vid avsaltningsprocesser. Det finns olika typer av membranmoduler som används vid avsaltning, nämligen: plattmoduler, spirallindade moduler, hålfibermoduler och tubmoduler [65]. Plattmoduler är den äldsta utformningen av membranmodulen, och består av membranark, distansnät och ett poröst material som transporterar vätska och stabiliserar membranet. Denna modultyp har låg packningstäthet och kräver därmed stort utrymme. Dessutom är rengöring och lagning av dessa moduler problematisk och kräver ofta att en hel modul byts ut istället för enstaka delar. Som en lösning på detta utvecklades spirallindade moduler varvid ett plattmembran rullas ihop kring ett perforerat rör som är avsedd för uppsamling av permeatet, renat vatten, och bildar tillsammans en rulle. Rullen placeras i ett cirkulärt tryckkärl av glasfiber och skapar en stabil och mycket effektiv membranmodul [35][42][65].

Spirallindade moduler är idag den mest förekommande modultypen på marknaden för både stor- och småskalig avsaltning [35][65].

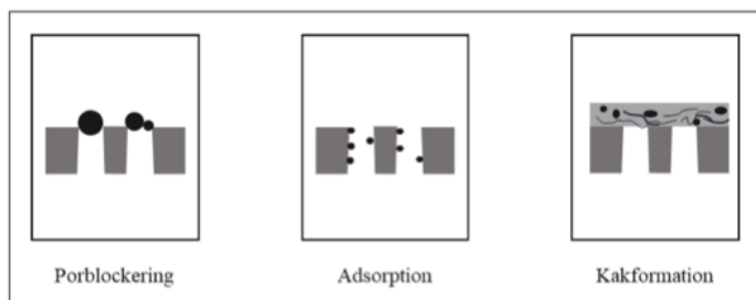
En annan utformning av en membranmodul är hålfibermoduler. Dessa moduler består av hålfiber, vars inre diameter uppgår till 42 μm och yttre diameter är cirka 85 μm , som beläggs med semipermeabel film. Så utformade hålfibermembran organiseras i buntar med ett perforerat rör i mitten som tillsammans bildar tunna rör med cirka 1mm i diameter. Matningsvatten flödar radiellt genom membranväggar, salter avskiljs och ansamlas på buntens väggar medan permeatet flödar till mittenröret. Dessa fibermembran placeras i cylindriska tryckbehållare för att kunna utstå det höga tryck som behövs för saltseparation [35][42]. Hålfibermembran har totalt sett större ytarea än spirallindade membranmoduler, vilket leder till lägre permeatflöde

och därav minskad koncentrationspolarisation. Denna modultyp är därför att föredra vid behandling av vatten med hög saltkoncentration [35][66].

En annan förekommande utformning av membranmoduler är så kallade tubmoduler. Dessa moduler påminner om hålfibermoduler men innehåller betydligt färre kanaler som istället har större diameter. En sådan utformning resulterar i bättre hållbarhet och högre belastningskapacitet, dock blir dess packningsgrad lägre och därav är tubmoduler mindre utrymmeseffektiva. Rengöring av dessa moduler är enkel och tillåter applicering av mekanisk membrantvätt [42].

5.1.3.3 Beläggningar på RO-membran

Beläggningssbildning, fouling, på RO-membran är ett fenomen som inträffar när olika ämnen fästs och ackumuleras på membranytan vilket förhindrar membranets vanliga funktion. Som resultat av beläggningssbildning reduceras permeatflöde och tryckbehovet ökar, vilket i sin tur leder till ökad elförbrukning, dessutom kan kvalitet på utgående vatten försämrats och membranet stegvis brytas ned [40]. Det finns tre olika typer av fouling, porblockering, adsorption och kakformation [42]. Porblockering uppstår när molekyler eller partiklar av samma storleksordning som membranets porer blockerar flödet. Adsorption är en annan typ av beläggning som uppkommer när ett ämne adsorberas på membran ytan eller inuti porer, vilket leder till reduktion av porstorleken. Den mest förekommande och därav mest problematiska beläggningstypen är kakformation som uppstår som resultat av koncentrationspolarisation. Koncentrationspolarisation orsakas av ackumulering av joner vid membranytan som successivt leder till utfällning av salter [65]. I figur 8 presenteras schematisk bild över de olika beläggningstyperna.



Figur 8 Olika beläggningstyper som kan förekomma på ett membran [42].

Vidare kan beläggningar uppvisa olika karaktär beroende på deras ursprung och kan delas in i tre huvudgrupper: biologisk, organisk och oorganisk fouling [42]. Biologisk fouling orsakas av alger, bakterier och mikroorganismer som koloniserar membranet och bildar en biofilm. Biofilmen växer med ökad biologisk tillväxt och täpper stegvist till membranet. Om beläggningar istället orsakas av organiskt material, så som nedbrutna växtrester, kallas det för organisk fouling. Det naturligt förekommande organiska materialet är heterogent och innehåller en blandning av hydrofila, hydrofoba, aromatiska och icke-aromatiska fraktioner. Oorganisk fouling uppstår på grund av koncentrationspolarisation av oorganiska joner vid membranytan. De mest problematiska jonerna är Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} och PO_4^{2-} [40].

5.1.3.4 Rengöring av membran

RO-membran kräver regelbunden rengöring i syfte att förebygga beläggningssbildning på membranet. Membranrengöring kan antingen vara fysisk eller kemisk och vanligen används en kombination av båda typerna. Bland de fysiska rengöringsmetoderna är backspoling mest förekommande. Backspoling innebär att membranet spolats från permeat- till matarsidan så att vattnet passerar membranet i omvänd riktning. Spolning genomförs under högt tryck och metoden förutsätter att membranet är trycktåligt i båda riktningar. Membran som inte klarar av

högtryck i omvänd riktning, så som spirallindade moduler, kan istället rengöras osmotiskt. Osmotisk rengöring innebär att vattnet drivs tillbaka över membranet genom en minskning av osmotiskt tryck eller tryckökning på permeatsidan [63]. Kemisk membranrengöring kan genomföras med hjälp av alkaliner, syror, enzymer, ytaktiva eller metallkelaterande medel. Användning av citronsyra och EDTA vid kemiskrening är allra mest förekommande vid avsättning av bräckt vatten [32].

5.1.4 Efterbehandling av avsattat vatten

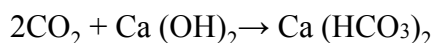
Samtliga avsättningstekniker tar bort ungefär 90% av saltvattnets mineralinnehåll, vilket resulterar i vatten med låg mineralkoncentration, alkanitet och hårdhet [35]. Det låga mineralinnehållet medför låg bufferingskapacitet, vilket medför variationer i pH-värden, samt oförmåga att bilda kalciumkarbonatfilmer som skyddar rörväggar. Dessa egenskaper gör vattnet korrosivt för metalledningar från distributionssystem [63].

De korrosiva egenskaperna ställer krav på efterbehandling av vatten från avsättningsanläggningar som behöver färdas genom metalledningar, ofta igenom samma distributionsnät som dricksvatten från andra källor. Inuti dessa metalledningar bildas oftast sedimentfickor innehållande utfällt järn och mangan som resultat av föroreningar och långvarig korrosion. När förhållanden inuti metallrören ändras, till följd av introducering av avsattat vatten, kan dessa sedimentfickor frigöras och resultera i rött eller svart vatten, vilket starkt påverkar vattnets estetiska kvalitet. Avsattat vatten bör därför efterbehandlas i syfte att säkerställa god vattenkvalitet hela vägen till konsumenten samt matcha vatten från andra vattenkällor och därav motverka korrosion. Efterbehandling består vanligen av återmineralisering av vatten och/eller desinfektion [35]. Återmineralisering av avsattat vatten sker vanligen genom (i) tillsättning av kemikalier med hög koncentration av kalcium och magnesium, (ii) tillsättning av färskt vatten med hög mineralkoncentration eller (iii) tillsättning av kalksten eller dolomit [67]. Desinficeringssteget genomförs vanligen med hjälp av (i) UV-filtrering eller (ii) klorering [35]. Nedan följer en beskrivning av efterbehandlingsprocesser som tillämpas inom storskalig vattenproduktion från saltvatten.

5.1.4.1 Återmineralisering

5.1.4.1.1 Tillsättning av släckt kalk

Tillsättning av släckt kalk (kalciumhydroxid) till avsattat vatten är den mest förekommande tekniken för återmineralisering. Tekniken används i över 90% av befintliga storskaliga avsättningsanläggningar i syfte att skydda distributionssystemet och hushållets rörledningar mot korrosion. Tekniken bygger på sekventiell matning av kalciumhydroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, och koldioxid, CO_2 , till avsattat vatten för att tillhandahålla önskad hårdhet och alkanitet. Den typiska totala vattenhårdhet som uppnås genom denna process är 80 till 120 mg CaCO_3/l [35]. Återmineraliseringen följer följande reaktion:



Kalciumkarbonats löslighet påverkas av främst vattnets pH, jonstyrka och temperatur. Kalkbaserad återmineralisering inkluderar oftast tillsättning av kol- eller svavelsyra vilket underlättar upplösningen av kalciumkarbonater och motverka grumlighet. I termiska avsättningsanläggningar kan koldioxid som frigörs vid avsättning återanvändas vid återmineraliseringsprocessen, vilket minskar kemikaliekostnader [35].

5.1.4.1.2 Tillsättning av magnesium

Magnesium i form av magnesiumsulfat eller magnesiumklorid kan tillsättas för att säkerställa god vattenkvalitet med avseende på rekommenderat magnesiuminnehåll i dricksvatten. Dock är

detta steg inte nödvändigt då vattnets önskade alkanitet och hårdhet uppnås genom tillsättning av enbart kalk [35].

5.1.4.1.3 Blandning med färskt vatten

Kalcium och magnesium, såväl som andra mineraler kan tillföras avsaltat vatten genom tillsättning av saltvatten (havs- eller bräckt vatten) till det avsaltade vattnet. Denna metod ställer dock höga krav på förbehandlingen av saltvatten. Förbehandlingen består vanligen av filtrering genom patronfilter, men om råvattnet har utsätts för kraftig alg tillväxt, ytavrinning eller andra föroreningskällor från exempelvis mänsklig aktivitet, behöver vattnet även genomgå kolfiltrering och eventuell kemikalietillsättning. Det förbehandlade saltvattnet kan sedan blandas med avsaltat vatten, vanligen i proportioner 1 (saltvatten) och 99 (avsaltat vatten) så att vattenkvalitetskraven uppfylls [35].

5.1.4.1.4 Upplösning av kalksten

Denna återmineraliseringsprocess bygger på att avsaltat vatten får passera genom en bädd med kalkstensgranulat (CaCO_3) under 10-30 minuter beroende på vattnets temperatur, jonstyrka och pH [35]. Kalciumkarbonater löses upp i det passerande vattnet tills önskad alkanitet och hårdhet uppnås [67]. Återmineraliseringen sker enligt följande reaktion:



Precis som vid återmineralisering med hjälp av släckt kalk, behöver det avsaltade vattnet försuras för att underlätta upplösningen av kalciumkarbonater. Vattnets pH sänks till cirka 4,5 eller lägre med hjälp av koldioxid eller svavelsyra [67].

Återmineralisering genom upplösning av kalciumkarbonater från kalksten är mer kostnadseffektivt och ett miljövänligare alternativ till släckt kalk. Detta eftersom släckt kalk produceras genom bränning av kalksten vilket resulterar i betydligt högre koldioxidavtryck [35].

5.1.4.1.5 Upplösning av dolomit

Dolomit är ett mineral som innehåller kalciummagnesiumkarbonat ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Återmineralisering med dolomit utformas på samma sätt som vid upplösning av kalksten, dock innehåller bädden dolomitgranulat istället för kalksten. Vattnets pH reduceras till cirka 4,5 genom tillsättning av koldioxid eller svavelsyra för att möjliggöra tillräcklig upplösning av kalcium och magnesium i det avsaltade vattnet. Dock är magnesium svårslösligt i vattnet med pH högre än 5,5 vilket medför att vid pH-justering till pH 8 eller 8,5 som krävs för korrosionsskydd, kommer magnesiumkoncentrationen att inte uppnå önskad nivå. Dessutom innehåller naturlig dolomit oftast kalksten som är mer löslig än dolomitmineralet. I praktiken innebär detta att magnesium uppnår önskad koncentration i vattnet när kalciumnivån är betydligt högre än nödvändigt. Det gör återmineraliseringen med hjälp av dolomit mindre genomförbar [35].

5.1.4.2 Desinficering

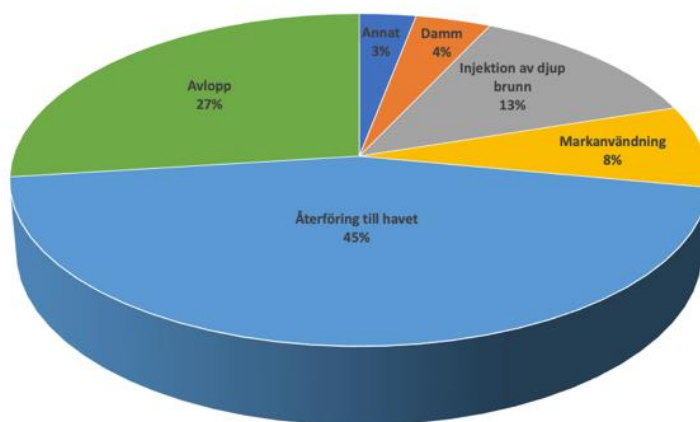
Desinficering av avsaltat vatten genomförs för att inaktivera eventuella mikroorganismer och avlägsna föroreningar som kan finnas i vattnet efter avsaltningen. Desinficering utförs vanligen genom klorering eller UV-filtrering. Klorering som desinficeringsmetod innebär att olika klorbaserade konditionskemikalier, så som natriumhypoklorit, kalciumhypoklorit och klorgas, tillsätts avsaltat vatten. UV-filtrering går ut på att vatten bestrålas med UV-ljus vilket leder till inaktivering av patogener som eventuellt finns kvar i det avsaltade vattnet [35].

5.1.5 Avfallshantering

Avsaltningsanläggningar genererar avfall under hela processkedjan. Avfall består främst av rejektvatten, men även använda filter, tvättvatten och rengöringslösningar. Rejektvatten är en

biprodukt som genereras under separationen av salter från råvattnet. Därav innehåller rejektet koncentrerade salter, lösta ämnen och mikrobiella föroreningar som fanns i saltvattnet, men även eventuella kemikalier som används i förbehandlingssteget [35][68]. Rejektvattenskvalitet beror på råvattnets innehåll, avsaltningsteknik som används och dess återhämtningsgrad. Vid avsaltning av bräckt vatten kan rejektet förväntas innehålla mellan 4- 10 gånger högre saltkoncentration än råvattnet, medan rejektet från havsvatten vanligen innehåller mellan 1,5 till 2 gånger högre koncentration. Detta beror på att återhämtningsgraden är generellt sett betydligt högre vid avsaltning av bräckt vatten med samtliga avsaltningstekniker [35].

Det finns olika sätt att hantera rejektvattnet på, (1) återföring till havet eller (2) avlopp, (3) injektion av djup brunn, (4) markanvändning och (5) indunstningsdammar [35][68]. Val av lämplig avfallshanteringsmetod beror på en rad olika faktorer så som: (i) lokalisering, (ii) anläggningsstorlek samt (iii) råvattenskälla [35]. I figur 9 presenteras procentuell fördelning mellan olika avfallshanteringsmetoder vid kommersiell avsaltning.



Figur 9 Procentuell fördelning mellan olika avfallshanteringsmetoder för rejektvatten från avsaltningsanläggningar. Bilden anpassad från [35].

Återföring av rejektvattnet tillbaka till havet är den mest använda metoden för avfallshandling från både stor- och småskaliga avsaltningsanläggningar [35][63]. Det är även den mest använda metoden för hantering av rejektvatten från enskilda avsaltningsanläggningar. Den största utmaningen vid återföring av rejektvattnet till havet är val av lämplig plats där inga hotade eller stresskänsliga organismer förekommer. Dessutom behöver utsläppsplatsen ha starka undervattensströmmar för att tillhandahålla tillräcklig utspädning av rejektvattnet. Rejektvatten har en hög densitet vilket innebär att vid svag vattencirkulation kommer rejektet att sedimentera till havsbotten och eventuellt orsaka lokala miljöproblem [35][63].

En annan metod för hantering av rejektvattnet är ledning av rejektet till närliggande avloppsreningsverk. Denna metod är dock endast lämplig för småskaliga avsaltningsanläggningar belägna i närheten av storskaliga avloppsreningsverk, eftersom den kan tillhandahålla tillräckligt utspädning av rejektvatten utan potentiell risk för driftstörningar orsakade av den höga TDS-halten [35].

Rejektvatten kan även lagras i djupborrade brunnar. Dessa brunnar borrar på mellan 500 till 1500m djup så att akviferen är tillräckligt separerad från grundvattnet och rejektvatten injiceras utan risk för saltträngning. Metoden används främst av små och medelstora avsaltningsanläggningar för bräckt vatten [35].

Till de mindre använda teknikerna räknas markanvändning och avdunsningsdammar. Markanvändning innefattar besprutning av halofyta växter med rejektvatten. Avdunsningsdammar är tätade bassänger där rejektvatten får torka ut som resultat av solbestrålning och återstående salter kan deponeras eller återanvändas. Gemensamt för båda teknikerna är att de främst används av små och medelstora avsaltningssystem belägna i områden där klimat- och markförhållanden möjliggör kontinuerlig tillväxt av halofyta växter samt hög avdunsningshastighet [35][63].

Djupborrade brunnar, markanvändning samt avdunsningsdammar kan potentiellt medföra en risk för grundvattenpåverkan. Därför är val av lokalisering med hänsyn till de geologiska och topografiska förhållandena nödvändig för att säkerställa miljövänlig och säker avfallshantering av rejektvatten [35].

6. Risker med avsaltat vatten

Avsaltat vatten är har lågt mineralinnehåll och korrosiva egenskaper. Efterbehandling i form av återmineralisering tillämpas inom allmän vattenproduktion i syfte att minska risken för korrosion på distributionssystemet. Dock, som nämns i kapitel 3.3, kan dricksvatten anses vara en källa till en rad essentiella mineraler och avsaltat dricksvatten kan därav antas ha negativ påverkan på folkhälsan. I dagsläget saknas det tillräcklig kunskap för att kunna fastställa dessa potentiella risker med avsaltat vatten. Ett fåtal experimentella- och observationsstudier finns tillgängliga som syftar till att undersöka vattens roll som källa till essentiella mineraler, speciellt magnesium och kalcium [29][30][69].

Den främsta källan till magnesium är bröd och grönsaker, medan kalcium fås främst från mejeriprodukter [30]. Det finns indikation på att dessa mineraler lättare tas upp av magtarmsystemet i jonform, lösta i vatten [29]. Trots att mineralinnehållet i vattnet generellt sett är lägre än det som finns i kosten, kan den höga tillgängligheten av joner innebära att dricksvatten är en viktig mineralkälla [69].

En annan potentiell risk med mineralfattigt vatten är dess påverkan på vattenbalansen i kroppen. Mineralfattigt vatten kan ha försämrade törstsläckande egenskaper, vilket leder till ökat vattenintag. Som resultat av ökad vattenkonsumtion, kan urinproduktionen öka med cirka 20%. Eftersom natrium och andra mineraler följer med urinet, samtidigt som lägre koncentration av mineraler tillförs via dricksvatten, kan detta leda till livshotande natriumbrist, hyponatremi. Hyponatremi kan även uppkomma vid för hög vattenkonsumtion, även om vattnet inte är mineralfattigt. Vidare kan avsaltat vatten förväntas ha låg fluorhalt, vilket kan leda till försämrad tandhälsa och regelbundna tandkontroller rekommenderas för de som dricker avsaltat vatten [70].

Hårt, mineralrikt dricksvatten anses ha en viss skyddande effekt mot hjärt- och kärlsjukdomar och konsumtion av ett mineralfattigt vatten kan leda till minskning av detta skydd och därav öka risken för utvecklandet av hjärt- och kärlsjukdom [29][69]. Dessutom kan vattnets hårdhet påverka mineralinnehåll i kosten genom tillagning. Användning av mineralfattigt vatten vid matlagning har visat sig leda till en betydligt högre urlakning av magnesium och kalcium från kosten än vid användning av hårt vatten [29].

En annan risk med avsaltat vatten är potentiell förekomst av alger och algtoxiner i det avsaltade vattnet. Avsaltningstekniker har generellt sett hög avskiljningsgrad med avseende på alger och algtoxiner. Dock finns det indikation på att stora mängder alger i råvatten kan leda till driftstörningar i avsaltningsanläggningar. Dessutom kan bristfällig skötsel av anläggningen resultera i mindre effektiv avskiljning av alger och algtoxiner. Med Östersjön som råvattenkälla kan algtoxinet Nodularin samt en rad olika microcystiner förväntas förekomma i vattnet. Dessa toxiner liknar varandra i många avseenden, de är mycket stabila, svåra att bryta ner och leverskadande. Algtoxiner i dricksvatten, även vid mycket små koncentrationer, kan utgöra en potentiell hälsorisk på lång sikt då de ackumuleras i levern [69]. Detta leder till att ett provisoriskt riktvärde för dagligt intag under en livstid har tagits fram för microcystin och uppgår till 1 µl per liter vatten [29]. Liknande gränsvärde saknas för Nodularin [29]. Risken för förekomst av högre halter algtoxiner i dricksvatten från avsaltningsanläggningar i normalt skick bedöms vara mycket lågt [30].

I dagsläge saknas tillräcklig kunskap för att kunna säkerställa dessa eventuella hälsorisker. Denna kunskapsbrist leder till att avsaltat vatten klassas som vatten med lågt mineralinnehåll och jämfälls ofta med mineralfattigt grundvatten [30].

7. Juridiska och organisatoriska aspekter

I dagsläget saknas det en samlad va-lag och existerande regler och lagar finns i många olika författningar. De mest centrala anses vara miljöbalken (MB), lagen om allmänna vattentjänster (LAV), plan- och bygglagen (PBL) samt Livsmedelsverket rekommendationer [8].

I detta kapitel sammanfattas de lagstiftningar och bestämmelser som anses relevanta vid inrättning och drift av små avsaltningsanläggningar.

7.1 Miljöbalken

I Miljöbalken återfinns en rad bestämmelser som kan tillämpas vid inrättning och drift av avsaltningsanläggningar. Det är framför allt kapitel 2, 7, 9, 11 och 26 som är relevanta i detta sammanhang.

Kapitel 2 innehåller allmänna hänsynsregler och reglerar all verksamhet, så väl offentlig som privat, samt åtgärder som kan påverka miljöbalkens mål. Dessa allmänna hänsynsregler innefattar följande principer och regler: bevisbörderegeln 1§, kunskapskravet 2§, försiktighetsprincipen 3§, 1 stycket, bästa möjliga teknik 3§, produktvalsprincipen 4§, hushållnings- och kretsloppsprincipen 5§, lokaliseringsprincipen 6§ samt skälighetsregeln 7§. Dessa bestämmelser gäller parallellt med annan lagstiftning om inget annat anges [71] [72][73].

Bevisbörderegeln innebär att den som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd skall visa att bestämmelser i 2 kapitel följs. Detta kan ske genom att bland annat följa kraven på egenkontroll av anläggningen [74]. Kunskapskravet innebär att den som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd skall ha tillräcklig kunskap om påverkan på hälsa och miljö som verksamheten eller åtgärden kan medföra. Tillräcklig kunskap definieras beroende på verksamhetens eller åtgärdens typ och omfattning [72][75]. Försiktighetsprincipen innebär att verksamhetsutövaren har skyldighet att vidta åtgärder om det förekommer en risk för negativ påverkan på människor och miljö. Denna bestämmelse skyddar människors hälsa och miljön från att ta skada av en verksamhet. Bästa möjliga teknik innebär att vid yrkesmässig verksamhetsutövning ska den bästa tekniken användas i syfte att förebygga och minska olägenheter för människor hälsa och miljön. Tekniken skall vara beprövad samt ekonomiskt och tekniskt försvarbar. Produktvalsprincipen innebär att verksamhetsutövaren, såväl offentlig som privat, skall undvika att använda kemiska eller biotekniska produkter om de kan ersättas med mindre farliga ämnen. Hushållnings- och kretsloppsprincipen innebär att den som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd skall hushålla med energi och råvaror samt sträva efter minskad avfallsproduktion och användning av skadliga produkter. Lokaliseringsprincipen innebär att en verksamhet eller åtgärd skall inrättas på den plats där den anses utgöra minsta intrång på människors hälsa och miljön [72].

Vid inrättning av en avsaltningsanläggning bör en verksamhetsutövare visa att ovannämnda bestämmelser uppfylls oavsett om verksamheten är avsedd för privat eller för kommersiellt bruk. Dock skall dessa hänsynsregler endast tillämpas i den utsträckning som anses rimlig utifrån miljömässig synpunkt i förhållande till ekonomin, enligt skälighetsregeln [72][74].

Kapitel 11 9§ innefattar bestämmelser om anmälnings- eller tillståndsplikt för vattenverksamheter. Enligt detta kapitel ett tillstånd behövs inte för vattentäkter för en eller tvåfamiljefastigheter eller jordbruksfastigheter. Dock kan ett tillstånd eller anmälan krävas för dessa anläggningar enligt 19§ i förordningen om vattenverksamheter. Enligt denna förordning krävs en anmälan till tillsynsmyndigheten av anläggningar som bortleder högst 600m³ vatten från ett vattendrag per dygn, dock högst 100 000m³ per år. Vid bortledande av ytvatten från ett annat vattenområde krävs en anmälan av anläggningar som tar upp högst 1000m³ vatten per dygn och högst 200 000 m³ per år [73][76][77].

Vidare enligt 11 kapitel 12§ tillämpas ett undantag från tillstånd- och anmälningsplikten för vattenverksamheter som vars inverkan på vattenförhållandena inte orsakar skada på varken den allmänna eller enskilda intresse [73][78].

Kapitel 9 behandlar miljöfarliga verksamheter. En miljöfarlig verksamhet avser (i) utsläpp i form av avloppsvatten, gas eller fasta ämnen från mark, byggnader eller anläggningar i mark, (ii) användning av mark, byggnader eller anläggningar som kan orsaka olägenheter för människors hälsa och miljön, eller (iii) olägenheter för omgivningen i form av buller, strålning, ljus, skakningar och liknande [73][79]. Bestämmelser i kapitel 9 miljöbalken ska följas av de mindre vattentäkter som inte täcks av kapitel 11 i MB. I avsaltningssammanhanget anses aspekten om olägenheter för människors hälsa och miljön vara relevant. Enligt 9 kapitel 3§ miljöbalken avser olägenheten en störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka människors hälsa, så väl fysisk som psykisk. Även störningar som lukt och bristande inomhusklimat bedöms kunna påverka människors välbefinnande och därav omfattas av MB. Enligt 9 kap. 10§ miljöbalken kan kommunerna föreskriva om tillstånds- eller anmälningsplikt även för vattentäkter som inte omfattas av 11 kapitel 11§ miljöbalken. Föreskrivningsrätten för kommuner kan tillämpas i områden där det råder eller finns risk för brist på vatten av god kvalitet. Syftet med detta är att motverka överutnyttjande och säkerställa att det finns tillräckligt mycket vatten av god kvalitet [8][78]. Enligt 9 kap. 12 § miljöbalken kan kommunerna meddela föreskrifter även för fall som inte omfattas av exempelvis 9 kap, 10§, i syfte att följa 9 kap. 3§ miljöbalken. Gällande vattentäkter innebär detta att kommuner kan bestämma när ett tillstånd eller en anmälan krävs i syfte att skydda ytvatten och enskilda grundvattentäkter [8][73][78].

Kapitel 7 miljöbalken innefattar bestämmelser kring skyddade områden. I avsaltningssammanhanget kan 7 kapitel 13§ om strandskyddsområde vara tillämpbar. Strandskyddsområde omfattar områden belägna 100m från strandlinjen [73].

Enligt 7 kapitel 15§ får bland annat inga nya byggnader, anläggningar eller anordningar utföras som förhindrar allmänheten från att beträda ett strandnäraområde. Dock kan en länsstyrelse eller kommun ge dispens i enskilda fall med stöd av 7 kapitel 18§ miljöbalken om det finns särskilda skäl. Med särskilda skäl vid avsaltningsfrågan menas enligt 18 c§ tredje stycken att en dispens kan ges för en anläggning som måste ligga vid vattnet för att fylla sin funktion och behovet kan inte tillfredsställas utanför det skyddade strandområdet. Dispens kan beviljas i de fallen där en åtgärd inte förhindrar upprätthållande av strandskyddets syfte [73].

Vidare kan även 7 kapitel 22§ i miljöbalken om känsliga vattendrag och vattenmagasin vara aktuell vid avsaltningsfrågan. Detta avsnitt kan tillämpas när en avsaltningssanläggning ska inrättas inom ett område som med stöd av 7 kapitel 21§ miljöbalken utlyses till vattenskyddsområde av kommunen eller länsstyrelsen. Vidare regleras tillståndsplikt för verksamheter som kan på betydande sätt påverka miljön inom skyddade områden av 7 kapitel 28§ miljöbalken [73].

Kapitel 26 MB innefattar bestämmelser om tillsynen och egenkontrollen. Enligt detta kapitel skall tillsynen säkerställa att balkens syfte och mål följs av den som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd. Enligt 26 kap. 1§ andra stycken MB skall en tillsynsmyndighet på egen initiativ eller efter en anmälan kontrollera att balkens bestämmelser och föreskrifter följs. Vid miljöfarlig eller tillståndspliktig vattenverksamhet skall tillsynsmyndigheten regelbundet bedöma efterlevnaden av miljöbalken och föreskrifter. Tillsynsmyndigheten skall även tillgodose en verksamhetsutövare med rådgivning och information i syfte att skapa goda förutsättningar att uppfylla balkens syfte [73][80].

7.2 Lagen om allmänna vattentjänster (LAV)

Kommuners ansvar för inrättning av va-verksamhetsområde regleras av LAV. Syftet med LAV är att säkerställa att vatten och avlopp planeras långsiktigt med enighet till lagen om miljö och människors hälsa. LAV anger skyldigheter och rättigheter för kommuner, verksamhetsutövare och konsumenter. Enligt LAV förekommer inget planeringskrav, dock är det i praktiken omöjligt att uppfylla lagens krav utan att ha en långsiktig VA-planering [8][81].

Enligt LAV är kommuner skyldiga att, i områden med samlat behov, anordna i större sammanhang vatten och avlopp som berättigas av miljö- eller hälsoskäl. Med större sammanhang menas områden där mellan 20-30 fastigheter har gemensamt behov av vatten och/eller avlopp [8][81].

LAV kan dock inte tillämpas på fastigheter som ligger utanför verksamhetsområde och fastighetsägaren behöver då lösa va-frågan på egen hand. Kommuner har då ett ansvar att planera sin tillsynsverksamhet för att säkerställa att 9 kap. 3§ miljöbalken uppfylls [8][81].

7.3 Översiktsplan enligt PBL

En översiktsplan har en central roll för en långsiktig utveckling av den fysiska miljön inom en kommun. En översiktsplan är inte bindande men bör tillhandhålla långsiktiga och övergripande strategier för bevaring och användning såväl den bebyggda miljön som mark- och vattenmiljön inom hela kommunen. Den ska visa hur hänsyn tas till allmänna intresse samt hur riksintresse och miljö kvalitetsnormer uppfylls [8][82].

Enligt PBL ska bebyggelser lokaliseras till mark som bedöms vara lämplig för ändamålet med hänsyn till bland annat möjlighet att tillhandhålla dricksvattenförsörjning och avlopp på ett sätt som förebygger vattenföroreningar. En översiktsplan, även om den inte är bindande, är ett viktigt verktyg inom den kommunala planeringsprocessen och ärenden om bygglov [8][81][82].

Vid framtagning av översiktsplanen av kust- och havsområden bör möjligheten till avsaltning av havsvatten övervägas för framtida vattenförsörjning. En översiktsplan kan i de fallen ange lämplig lokalisering för en avsaltningsanläggning med tillhörande vattenintag. Vattenintaget bör anläggas i områden där vattnet håller låg och jämn temperatur samt god kvalitet. Översiktsplanen bör även ta hänsyn till anläggningens eventuella miljöpåverkan som kan orsakas av avfallsströmmen innehållande högkoncentrerade saltlösningen som genereras vid avsaltning [83].

7.4 Detaljplan

En detaljplan reglerar användning av mark- och vattenområden inom en kommun. Detaljplanen kan användas vid prövning om bebyggelse av ett område, vilket gäller både vid nybyggnation samt förändring av befintliga bebyggelser. I en detaljplan ska allmänna platser, kvartersmark och vattenområden redovisas [84]. Vidare regleras även rättigheter och skyldigheter mellan både markägarna och samhället samt markägarna emellan. Detaljplanen är bindande vid bygglovsprövning [84].

7.5 Bygglov

Översikts- och detaljplanen är vägledande och underlättar prövning om bygglov. Markens lämplighet för bebyggelser prövas dock i varje enskilt fall och bygglov avgörs utifrån de faktiska förutsättningarna på platsen, så som möjligheter att ordna vatten och avlopp. Detta innebär att bygglov inte kan ges eller avslås endast utifrån översikts eller detaljplanen, oavsett om den anger att bebyggelse bör eller inte bör tillkomma på platsen [8]. I områden utanför översikts- eller detaljplanen prövas bygglovsansökningar av kommunens byggnadsnämnd [83]. Vid bygglovsansökan utanför detaljplanerat område är möjligheten till vatten- och

avloppsförsörjning en grundläggande fråga. Utredningsansvaret ligger huvudsakligen hos byggnadsnämnden, men dessa samarbetar ofta med kommunala miljömyndigheter som vanligen besitter större kunskap inom vatten och avlopp. Byggnadsnämnden utför en lokaliseringsprövning vars omfattning regleras av PBLs plan och bygglagen [85][86]. I den prövningen ingår ett antal grundläggande lämplighetsparametrar, såsom: hälsa och säkerhet, markens beskaffenhet, olägenhet för omgivningen och även möjligheten till VA-försörjning. Prövningen ska komma fram till om det är lämpligt att bebygga platsen enligt ansökan och i frågan om VA behöver det enligt rättspraxis klargöras om det går men inte exakt hur. Om en bygglovspliktig åtgärd innebär att obebyggd mark ska tas i anspråk för bebyggelse ansöks ofta om ett så kallat förhandsbesked innan bygglovsansökan. Lokaliseringsprövningen görs då av byggnadsnämnden i förhandsbeskedet och inte i ett efterföljande bygglov [85].

7.6 Livsmedelsverkets rekommendationer

Dricksvatten klassas som ett livsmedel och faller under Livsmedelsverkets föreskrifter. Dricksvatten bör hålla god kvalitet och vara hälsosam att dricka. Livsmedelsverket har specialframtagna gränsvärden för dricksvatten som standardiserar önskat vatteninnehåll [25][87].

Vattenanläggningar som producerar mer än 10m³ dricksvatten per dygn samt tillförser fler än 50 personer med dricksvatten omfattas av Livsmedelsverket föreskrifter. Detta gäller även för anläggningar som producerar dricksvatten för kommersiell verksamhet, så som restaurang, hotell mm. dessa anläggningar omfattas av föreskrifter oavsett producerade vattenmängd [88]. Mindre vattenanläggningar faller istället under Livsmedelsverkets ansvar för information och rådgivning kring dricksvattenkvalitet för enskild vattenförsörjning. Råden är inte rättsligt bindande men fungerar som ett hjälpmedel för att säkerställa att MB mål om olägenheter för människors hälsa inte uppstår [89].

7.7 Tillsyn och egenkontroll

Tillsynsansvaret över miljö- och hälsoskyddet i kommunen ligger hos berörd kommunal nämnd enligt 26 kap. 3§ MB som enligt livsmedelslagen är tillsynsmyndigheten för dricksvattenanläggningar som omfattas av livsmedelslagstiftningen [90][91]. Den kommunala nämnden ansvarar även för tillsyn över hälsoskyddet för enskilda och mindre vattenanläggningar enligt miljöbalken och förordningen om tillsyn. Enligt 11 kap. MB är även länsstyrelsen ansvarig för vattenverksamhet och tillsynsansvaret kan vid särskilda fall omfatta mindre vattenuttag. Länsstyrelsen är även tillsynsmyndighet för miljöfarliga verksamheter om inte tillsynen har överlämnats till kommunen [89][92]. Tillsynsansvar införs i syfte att säkerställa att miljöbalkens bestämmelser följs av verksamhetsutövaren [8]. Om bestämmelser inte uppfylls eller vattenkvaliteten kan medföra olägenheter för människors hälsa och miljön, kan en tillsynsmyndighet kräva åtgärder. Detta gäller även mindre vattenanläggningar för enskild vattenförsörjning. Om en vattentäkt riskerar att förorenas av verksamheten har tillsynsmyndigheten skyldighet att utreda detta och ställa krav på åtgärder av verksamhetsutövaren [89].

Enligt miljöbalken är egenkontroll grunden till all tillsyn. Detta innebär att verksamhetsutövaren har den viktigaste tillsynsfunktionen, oavsett om verksamhetsutövaren är en privatperson, förening eller kommunalt va-bolag. Den som bedriver en verksamhet eller utför en åtgärd som kan påverka människors hälsa och miljön har skyldighet att planera och kontrollera sin verksamhet i enlighet med 9 kap. 3§ miljöbalken och ansvarar för egenkontrollen. Egenkontroll krävs av samtliga verksamheter och åtgärder som omfattas av miljöbalken, även dessa som inte är tillstånd- eller anmälningspliktiga. Dock är exakta krav på egenkontroll inte fastställda och kommer därav att variera beroende av verksamhetens- eller åtgärdens omfattning [93]. Egenkontroll kan anses vara en kombination av bevisbördan och kunskapskravet. Detta innebär

att en verksamhetsutövare genom egenkontroll skall säkerställa att en anläggning fungerar på ett önskat sätt [8].

Det råder ett samspel mellan tillsynsmyndigheter och verksamhetsutövare, där verksamhetsutövaren är skyldigt att kontrollera och planera sin verksamhet i enlighet med 9 kap. 3§ miljöbalken och tillsynsmyndigheten säkerställer så dessa bestämmelser följs.

8 Resultat

I detta kapitel presenteras den svenska marknadsöversikten samt resultat från enkätundersökningar med teknikleverantörer och kommuner. Slutligen presenteras en exempelsamling över 3 olika anläggningar som finns i drift idag.

8.1 Marknadsöversikt

Följande marknadsöversikt består av en kartläggning av olika tekniker för avsaltning som finns idag på den svenska marknaden. De teknikleverantörer som beskrivs är Afflux Water, Bluewater, Brava, ENWA, Swedish GTC och Waterman. Samtliga tekniker för småskalig avsaltning som finns hos dessa leverantörer beskrivs utifrån funktion, kapacitet, installation, drift, skötsel, kostnader samt service. Informationen till denna marknadsöversikt har hämtats från respektive företags hemsidor, produktblad samt personlig kontakt.

Tekniker som beskrivs i denna marknadsöversikt bygger på omvänd osmos och följer samtliga processteg som beskrivs i kapitel 5.1.

8.1.1 Afflux Water

Afflux Water grundades 2002 och har sen starten utvecklat och tillverkat avsaltningsanläggningar samt andra tekniker för vattenrening och avlopp [94].

8.1.1.1 Lilla och Stora Östersjöspaketet

Östersjöspaketet är en komplett avsaltningsanläggning och består av ett grovfilter, två förbehandlingsfilter med minskande porstorlek, efterkommande avsaltningsenhet RoLux samt efterbehandlingsfilter för polering och återmineralisering. Paketet omfattar även råvattenintag med tillhörande pump och en distributionspump. El-värmekabel för vinterdrift samt land- och sjöledning finns som tillval [95][96][97].

Östersjöspaketet tillverkas i olika standardstorlekar för ett enskilt fritidshus till permanentboende med större vattenbehov. Anläggningens viktigaste egenskaper sammanfattas i tabell 4 [95][96][97].

Tabell 4 Sammanställning av Lilla och Stora Östersjöspaketet

Lilla och Stora Östersjöspaketet	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 7 500 ppm - Drifttryck: 12-16 bar
Förbehandling	- Grovsil vid vattenintaget - Förfilter 5 μ - Finfilter 1 μ
Membrankapacitet	- 100 l/h (lilla paketet) - 200 l/h (stora paketet)
Efterbehandling	- Kolfilter - Mineralfilter
Energiförbrukning	- 1500 W/h
Dimensioner	- Avsaltningsenhet: 550x450x670mm - Tank: 640x1600mm, 320 liter
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Fritidshus (lilla paketet) - Permanentboende (stora paketet)
Investeringskostnad	- 97 000 kr (lilla paketet) ex vattenledningar - 137 000 kr (stora paketet) ex vattenledningar



8.1.1.1.1 Installation

Östersjöspaketet levereras fullt komplett och installationen hemma begränsas till enklare koppling av medföljande slang samt el-anslutning med stickkontakt till vanligt eluttag om 230 VAC/10A [95][96].

Anläggningen ansluts till råvatten genom land- och sjöledningar som anpassas efter mark- och vattenförhållanden på platsen. El-värmekabel installeras om anläggningen ska vara i drift under vinterhalvåret. Installation av råvattenintag, tank samt samtliga ledningar och pumpar bör utföras av behörig personal [97].

8.1.1.1.2 Drift och skötsel

Östersjöspaketet är tillverkad i plast och rostfri metall för att förebygga eventuella korrosionsskador på anläggningen. Anläggningen är utrustad med ett system för automatisk självrengöring, vilket minskar behovet av skötsel och underhåll. Detta system förlänger membranets livslängd och kapacitet. Vid uppehåll i vattenförbrukningen aktiveras ett Re-fresh system, regelbunden forcerad omsättning, som får vattnet att omsättas mellan avsaltningseenheten och bufferttanken [95][96].

Skötsel av avsaltningsanläggningen Östersjöspaketet avser rengöring av grovsilen och filter samt byte av samtliga filter, 2- 4 gånger om året, kol- och mineralfilter bör bytas ut vid behov, vanligen en gång om året. Membranfiltret i avsaltningseenheten RoLux bör rengöras årligen och eventuellt konserveras vid säsongens slut. Membran bör även avkalkas vid behov. Om anläggningen står i ett icke-isolerat hus bör den frostskyddas genom tillsättning av frostskyddsvätska [95][96][97].

8.1.1.1.3 Driftkostnader

Anläggningen förbrukar cirka 1 500W/h, vilket medför en elkostnad om cirka 1,5kr/h. Utöver det tillkommer utgifter för byte av för- och finfilter om cirka 375kr/tillfälle. Byte av kol och mineralfilter medför en kostnad om 250 respektive 375 kr per år. Frostskyddsvätska kostar cirka 625kr. Membranfiltret har en vanlig livslängd på mellan 5 till 8 år, byte av membran kostar cirka 7000kr vilket medför en årlig kostnad om minst 857kr (om membranet byts först efter 8 år) [97].

8.1.1.1.4 Service

Serviceavtal finns.

8.1.1.2 RoZell

RoZell är en komplett avsaltningsanläggning som består av ett grovfilter vid råvattenintaget, två förbehandlingsfilter med minskande porstorlek, efterkommande avsaltningseenhet RoLux samt efterbehandlingsfilter för återmineralisering. Paketet omfattar även råvattenintag med tillhörande pump och en distributionspump. El-värmekabel för vinterdrift samt land- och sjöledning finns som tillval [97][98].

RoZell lämpas till vattenförsörjning av ett enklare fritidshus. Anläggningens viktigaste egenskaper sammanfattas i tabell 5 [97].

Tabell 5 Sammanställning av RoZell.

RoZell	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 7 500 ppm - Drifttryck: 12-16 bar
Förbehandling	- Grovsil vid vattenintaget - Förfilter 5 μ - Finfilter 1 μ
Membrankapacitet	- 50 l/h (varannan timme)
Efterbehandling	- Mineralfilter
Energiförbrukning	- 1200 W/h
Dimensioner	- Avsaltningsenhet: 550x450x670mm - Tank: 640x1150mm, 140 liter
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Enkelt fritidshus
Investeringskostnad	- 65 000 kr ex vattenledningar



8.1.1.2.1 Installation

Installation av RoZell sker enligt beskrivning för Östersjöns paketet (kap 8.2.1.1.1) [97].

8.1.1.2.2 Drift och skötsel

Drift och skötsel av anläggningen RoZell innefattar samma moment som Östersjöns paketet (kap. 8.2.1.1.2) [97].

8.1.1.2.3 Driftkostnader

Anläggningen förbrukar cirka 1 200W/h, vilket medför en elkostnad om cirka 1,2kr/h. Utöver det tillkommer utgifter för byte av för- och finfilter om cirka 375kr/tillfälle. Mineralfilterbyte kostar 375 kr per år. Frostskyddsvätska kostar cirka 625kr. Membranfiltret har en vanlig livslängd på mellan 5 till 8 år, byte av membran kostar cirka 7000kr vilket medför en årlig kostnad om minst 857kr (om membranet byts först efter 8 år) [97].

8.1.1.2.4 Service

Serviceavtal finns.

8.1.2 Bluewater

Bluewater grundades 2013 och har sedan dess arbetat med vattenreningsteknik. Bluewater har utvecklat en patenterad typ av omvänd osmos SuperiorOsmos™. Denna teknik används av en rad olika företag runt om i världen, bland annat BRAVA [99].

Avsaltningsenheten Bluewater Pro med SuperiorOsmosis™ har en rad inbyggda filter med olika porstorlek som separerar partiklar av olika storleksordning. Vattnet cirkulerar i maskinen under drift vilket förlänger membranets livslängd och ger ett högt vattenflöde [100].

8.1.2.1 Bluewater helhuslösning (Small och Large)

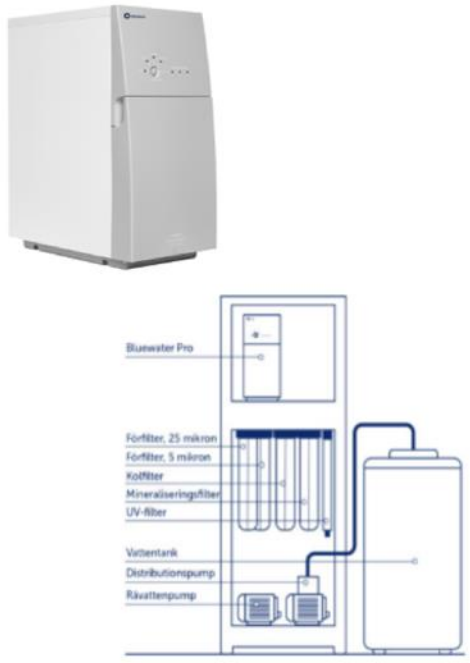
Bluewater helhuslösning är en komplett avsaltningsanläggning och består av ett grovfilter, två förbehandlingsfilter med minskande porstorlek, efterkommande avsaltningsenhet Bluewater Pro, två efterbehandlingsfilter samt UV-filter för desinficering av utgående vatten. Paketet

omfattar även råvattenintag med tillhörande pump, en distributionspump och samtliga ledningar [101][102].

Bluewater helhuslösningen tillverkas i två olika standardstorlekar som båda lämpar sig för permanentboende. Anläggningens viktigaste egenskaper sammanfattas i tabell 6.

Tabell 6 Sammanställning av Bluewater helhuslösning.

BlueWater Pro, helhuslösning	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 7 500 ppm - Driftryck: 2-10 bar
Förbehandling	- Grovsil vid vattenintaget - Förfilter 25µ - Finfilter 5µ
Membrankapacitet	- 125 l/h (small) - 250 l/h (large)
Efterbehandling	- Kolfilter - Mineralfilter - UV-filter
Energiförbrukning	- 500W/h ex pumparbete
Dimensioner	- Hel anläggning: 225x430x466mm - Tank: 500 liter (small), 1000 liter (large)
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Permanentboende
Investeringskostnad	- 175 000 kr (small) ink vattenledningar - 237 500kr (large) ink vattenledningar



8.1.2.1.1 Installation

Installation av Bluewaters helhuslösning innefattar koppling av råvatten- och distributionspumpar, slanganslutning till havet, avlopp och buffertank samt inkoppling av elektriciteten via en stickkontakt till 230 VAC [101][102].

8.1.2.1.2 Drift och skötsel

Avsaltningseenheten Bluewater Pro är utrustad med ett automatiskt system för renspolning av membranfiltret och ett läckageskyddssystem. Spolningssystemet förhindrar igensättning av filter, vilket ökar membranets livslängd och drifttid. Läckageskyddssystemet känner av vattenläckor och stoppar vattentillförsel till enheten om en läcka upptäcks [102][103].

Skötsel av avsaltningseenheten innefattar regelbunden kontroll av indikations lampor, eventuell läckage i maskinen samt torkning av kondens från bottenplattan och rengöring av grovfiltret. Bluewater Pro bör även avkalkas var 4:e/6:e månad och samtliga förfilter bör bytas ut inom samma tidsintervall. Membranfiltret i avsaltningseenheten Bluewater Pro bör desinficeras och konserveras årligen. Vidare rekommenderas det avsaltade vattnet att testas av ett godkänt laboratorium minst en gång om året ifall inloppsvatten inte uppfyller kraven [102][103].

Utöver det tillkommer skötsel av andra komponenter i avsaltningsanläggningen som avser byte av samtliga filter en gång per halvår. Filterbyte görs i samband med avkalkning av anläggningen. En gång per år bör det ske byte av UV- och mineralfilter. Ett anti-freeze medel bör tillsättas ifall anläggningen tas ur drift för vintern [102].

8.1.2.1.3 Kostnader

Avsaltningsenheten Bluewater Pro medför el- samt underhållskostnader. Elförbrukningen uppskattas till mellan 5 000 till 8 000 W/h, cirka 5-8 kr/h. Underhållskostnader innefattar filterbyte varje halvår, vilket medför en kostnad om 840kr/halv år exklusive moms, totalt 1680kr/år exklusive moms. Membranets livslängd är mellan 5 till 10 år beroende på råvattenkvalitet och skötsel av anläggningen, vanligen rekommenderas byte av membranet var femte år. Membranbytet medför en kostnad om 7000 kr exklusive moms, $7000/5=1400\text{kr/år}$ exklusive moms. Vidare tillkommer kostnader för byte av förfilter, vilket medför en kostnad om 1100kr per halvår, totalt 2200 kr per år. Byte av kol- och mineralfilter kostar 1100kr per år och UV-filter kostar mellan 3500 och 5000 kronor [102].

8.1.2.1.4 Service

Serviceavtal finns.

8.1.3 BRAVA Vattenrening AB

BRAVA Vattenrening har sedan 1994 utvecklat vattenreningstekniker för enskilda hushåll, företag och industrier [104].


8.1.3.1 BRAVA avsaltning

BRAVA avsaltningsanläggning består av ett grovfilter, en förbehandlingsenhet innehållande filtermassa som backspolas regelbundet, samt en avsaltningsenhet Bluewater Pro och en mineralfilter med efterkommande UV-filter för desinficering av utgående vatten. Denna anläggning finns även att köpa som en komplett anläggning BRAVA Dionysos, där förbehandlingssteget består istället av en rad olika trådfilter med minskande porstorlek. Eftersom den nylanserade förbehandlingsenheten med filtermassa är helt underhållningsfri rekommenderas den till enskilt hushåll [105-107].

Beskrivning som presenteras i tabell 7 baseras på en avsaltningsanläggning med backspolning i förbehandlingssteget. Kostnadsförslaget inkluderar utgifter för en hel anläggning, med tillhörande ledningar, pumpar och arbete [107].

Tabell 7 Sammanställning av BRAVA avsaltning

BRAVA avsaltning	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 7 500 ppm - Drifttryck: 2-10 bar
Förbehandling	- Filtermassa med backspolning
Membrankapacitet	- 4 l/min med uppehåll var 13:e minut för backspolning
Efterbehandling	- Mineralfilter - UV-filter
Energiförbrukning	- 500W/h ex pumparbete
Dimensioner	- Hel anläggning: 820x600x770mm - Tank: 140 liter (anpassningsbar)
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Fritidshus - Permanentboende
Investeringskostnad	-cirka 130 000 kr



8.1.3.2 Installation

Installation av det BRAVA avsaltning innefattar koppling av råvatten- och distributionspumpar, slanganslutning till havet, avlopp och buffertank samt inkoppling av elektriciteten via en stickkontakt till 230 VAC [105][106].

8.1.3.3 Drift och skötsel

Skötsel av RO-enheten utförs enligt beskrivning av Bluewater Pro. Utöver det tillkommer skötsel av andra komponenter i avsaltningsanläggningen som avser allmän kontroll av anläggningen mot läckage och fellarm samt byte av återmineraliseringsfilter en gång per halv år. Om anläggningen tas ur drift under vintertid bör membranet konserveras [107].

8.1.3.4 Kostnader

Enligt beskrivningen för Bluewater Pro. Om anläggningen tas ur drift under vintertid tillkommer en kostnad för membrankonservering om 600kr [107].

8.1.3.5 Service

BRAVA Vattenrening erbjuder service och provtagning av anläggningen för att säkerställa hög driftsäkerhet. Serviceavtal finns, där grovtest av råvattnet samt kontroll av vattenfiltret och kringutrustning ingår [107].

8.1.4 ENWA

ENWA grundades 1996 och har sen starten utvecklat och designat vattenreningstekniker för allt från små hushåll till industrier [108].

8.1.4.1 ENWA Östersjöpaket

ENWA Östersjöpaketet är en komplett avsaltningsanläggning bestående av råvattenintag med tillhörande pump och grovfilter, ett sandfilter med backspolning, avsaltningsenhet med spirallindade moduler, ett mineralfilter samt en tank och distributionspump [109-111].

Denna avsaltningsanläggning kan anpassas till olika förutsättningar i råvattnet samt det individuella vattenbehovet i hushållet. Anläggningens viktigaste egenskaper sammanfattas i tabell 8.

Tabell 8 Sammanställning av ENWA Östersjöpaketet

ENWA, Östersjöpaketet	
Driftparametrar	- Anpassningsbara
Förbehandling	- Grovsil vid vattenintaget - Sandfilter
Membrankapacitet	- 83-317 l/h (beroende på utformning)
Efterbehandling	- Mineralfilter
Energiförbrukning	- 1 750 W/h (vid produktion om 317 l/h)
Dimensioner	- Hel anläggning: 1150x640x580mm - Tank: 520 liter
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Fritidshus - Permanentboende
Investeringskostnad	-



8.1.4.1.1 Installation

Installation av det ENWA Östersjöpaketet innefattar koppling av råvatten- och distributionspumpar, slanganslutning till råvattenkällan, avlopp och tank samt inkoppling av elektriciteten [109][110].

8.1.4.1.2 Drift och skötsel

Avsaltningsenheten kan som tillval utrustas med automatisk spolning och konduktivitetsmätare vilket underlättar skötsel av anläggningen. Sandfiltret backspolas automatiskt när rengöring krävs och anläggningen stannar då tillfälligt. Anläggningen kan styras via PLC som är monterad på anläggningen [109][111].

8.1.4.1.3 Service

Serviceavtal finns.

8.1.5 Swedish GTC

Swedish GTC designar och utvecklar avsaltningstekniker för skärgårdsöar och båtar [112].

8.1.5.1 Blue Marine Black Basic 130, 220, 440

Blue Marine Black Basic är en komplett avsaltningsanläggning utrustad med ett grovfilter vid råvattenintaget, en rad trådfiltrar med minskande porstorlek, en avsaltningsenhet, samt tre stycken efterbehandlingsfilter för polering och återmineralisering av vatten [113-116].

Blue Marine Black Basic tillverkas i olika standardstorlekar för ett enskilt fritidshus till permanentboende med större vattenbehov. Anläggningens viktigaste egenskaper sammanfattas i tabell 9. Kostnadsförslaget omfattar råvattenintag med tillhörande pump, vattenledningar och en distributionspump [116].

Tabell 9 Sammanställning av Blue Marine Black Basic.

Blue Marine Black Basic, 130, 220, 440	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 7 000 ppm - Drifttryck: 10-16 bar
Förbehandling	- Grovsil vid vattenintaget - Trådfilter om 20, 10, 5 och 1 μ
Membrankapacitet	- max 130 l/h (130) - max 220 l/h (220) - max 400 l/h (440)
Efterbehandling	- Kolfilter, 2 stycken - Mineralfilter
Energiförbrukning	- 970 W/h
Dimensioner	- Hel anläggning: 1100x610x1700mm - Tank: 250-500 liter
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Fritidshus - Permanentboende
Investeringskostnad	- 106 000 kr (130) ex. tank - 124 000 kr (220) ex. tank - 164 000 kr (440) ex. tank



8.1.5.1.1 Installation

Samtliga komponenter i anläggningen Blue Marine Black Basic finns färdigmonterade på en ställning därav innefattar installationen slanganslutning till råvattenkällan och elektricitet via en stickkontakt till 230 VAC.

8.1.5.1.2 Drift och skötsel

Anläggningen Blue Marine Black Basic har helautomatisk elektronik styrning och är utrustad med vattenmätare för kontroll av vattenförbrukningen i hushållet och aqvastopp. Aquastopp fungerar som torrkörningsskydd och aktiveras vid uppehåll i vattenflödet som kan orsakas av exempelvis filterstopp [113-116].

Skötsel av anläggningen avser byte av trådfilter 2-3 gånger om året om anläggningen är i drift endast under sommarhalvåret och 5-6 gånger om året om anläggningen är i drift året runt. Vidare behöver kolfiltret bytas varje halvår och mineralfilter byts ut efter 70 000 liter renat vatten. Anläggningen bör även avkalkas årligen [116].

8.1.5.1.3 Kostnader

Avsaltningsanläggningen medför el- samt underhållskostnader. Underhållskostnader innefattar byte av trådfilter 2-3 gånger per sommarhalvåret, vilket medför en kostnad om 1000-1500 kr eller cirka 3000kr per år om anläggningen är i drift året runt. Ett kolfilter kostar 400kr, totalt medför det en kostnad om 800kr om året vid konstant drift. Mineralfiltret byts efter 70 000 liter och kostar 580kr. Membranets livslängd är mellan 8 till 12 år beroende på råvattenkvalitet och skötsel av anläggningen [116].

8.1.5.1.4 Service

Serviceavtal finns. Service innefattar byten och kontroll av samtliga filter och andra komponenter för att säkerställa hög driftsäkerhet och god vattenkvalitet. Servicekostnad brukar vanligen ligga på 2500kr om kunden själv hämtar anläggningen till Swedish GTC service [116].

8.1.5.2 Blue Marine Arkipelag

Blue Marine Arkipelag är en komplett avsaltningsanläggning utrustad med för- och efterbehandling och en avsaltningsenhet samt samtliga vattenledningar, pumpar och en tank. Förbehandlingen består av en grovsil vid råvattenintaget, ett sandfilter följt av åtta stycken trådfilter med minskande porstorlekar och ett kolfilter. Avsaltningsenhetens kapacitet varierar beroende på råvattenkvalitet och salthalt. Efterbehandlingen inkluderar ett kolfilter, ett mineralfilter och slutligen ett UV-filter [116][117]. Anläggningens viktigaste egenskaper sammanfattas i tabell 10.

Tabell 10 Sammanställning av Blue Marine Arkipelag

Blue Marine Arkipelag	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 7 500 ppm - Drifttryck: 12-16 bar
Förbehandling	- Grovsil vid vattenintaget - Sandfilter - Trådfilter 20, 10 och 5 μ (totalt 8 stycken) - Kolfilter 1 μ
Membrankapacitet	- 70 - 130 l/h
Efterbehandling	- Kolfilter - Mineralfilter - UV-filter
Energiförbrukning	- 1570 W/h
Dimensioner	- Hel anläggning: 1200x800x1730mm - Tank: 250-500 liter
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Permanentboende
Investeringskostnad	-184 000 kr



8.1.5.2.1 Installation

Samtliga komponenter i anläggningen Blue Marine Arkipelag finns färdigmonterade på en ställning därav innefattar installationen slanganslutning till råvattenkällan och elektricitet via en stickkontakt till 230 VAC [117].

8.1.5.2.2 Drift och skötsel

Enligt beskrivning av Blue Marine Black Basic [116].

8.1.5.2.3 Kostnader

Enligt beskrivning av Blue Marine Black Basic [116].

8.1.5.2.4 Service

Enligt beskrivning av Blue Marine Black Basic [116].

8.1.6 Waterman

Waterman är ett svenskt företag som sedan 1987 utvecklar och tillverkar vattenbehandlingstekniker för såväl privata hushåll som livsmedelsindustrier [118].

8.1.6.1 RO2V

RO2V är en avsaltningsenhet som har kapacitet att tillhandhålla rent vatten till ett helt hushåll. Anläggningen är utrustad med förfilter och membranfilter, men behöver kompletteras med

råvattenintag, pumpar, vattenledningar, tank och efterbehandling. I tabell 11 presenteras samtliga komponenter och driftparametrar som ingår i RO2V [119].

Tabell 11 Sammanställning av Waterman RO2V

Waterman RO2V	
Driftparametrar	- Maximal salthalt: 5 000 ppm - Drifttryck: 14 bar
Förbehandling	- Sedimentfilter om 20, 5 och 1µ - Kolfilter
Membrankapacitet	- 140 l/h
Efterbehandling	-
Energiförbrukning	- 550 W/h ex pumparbete
Dimensioner	- 450x450x1600mm
Bortledning av rejektet	- Tillbaka till havet
Rekommenderad användning	- Fritidshus - Permanentboende
Investeringskostnad	-



8.1.6.1.1 Installation

Installation av RO2V innefattar anslutning till elektricitet via en stickkontakt 230 VAC samt inkoppling av vatten. Som tillval kan anläggningen anslutas till havet genom råvattenpumpar samt vatten-och landleddningar in till anläggningen [120].

8.1.6.1.2 Drift och skötsel

Anläggningen RO2V har både automatisk och manuell styrning. RO2V är utrustad med tryckmätare på både inkommande vatten och drifttryck samt flödeskontroll av både in- och utgående vatten. Anläggningen har torrkorningsskydd samt överfyllnadsskydd för vattentanken [120]. Skötsel av anläggningen innefattar byte av samtliga sedimentfilter inför vinter- och vårperioden.

8.1.6.1.3 Kostnader

Avsaltningsanläggningen medför el- samt underhållskostnader. Underhållskostnader innefattar byte av sedimentfilter 2 gånger per år, vilket medför en kostnad om cirka 1400kr per år.

8.1.7 Summering av marknadsöversikten

Nedan presenteras en tabell med sammanställning över de olika tekniker som finns tillgängliga hos de beskrivna teknikleverantörerna. Avsaltningsanläggningarna jämförs med avseende på kapacitet och kostnad.

Tabell 12 Sammanställning av avsaltningsanläggningar.

Anläggning	Kapacitet [l/h]	Kostnad [SEK]
Afflux lilla Östersjöpaket	100	97 000
Afflux stora Östersjöpaket	200	137 000
Afflux RoZell	50	60 000
Bluewater Pro	125-250	175 000-237 500
BRAVA Avsaltning	240	130 000
ENWA Östersjöpaketet	83-317	-
Blue Marine Basic	130-400	106 000-164 000
Blue Marine Arkipelag	70-130	184 000
Waterman RO2V	140	-

8.2 Enkät svar från kommuner och leverantörer

I följande avsnitt presenteras sammanställning av svar från de intervjuade aktörerna utifrån de kategorier som beskrivs i kapitel 2.3.2. Resultaten från enkätundersökningen sammanställs i tabellform i syfte att tydliggöra trender och göra resultaten lättolkade.

8.2.1 Kommuner

Kategori	Sammanfattning
<i>Allmänt om avsaltning</i>	<ul style="list-style-type: none">• De flesta kommuner saknar kunskap om avsaltningsprocessen och tekniklösningar som finns på den svenska marknaden eftersom ämnet inte anses vara aktuell för kommunen.• Kommuner där det finns större avsaltningsanläggningar har generell kunskap om avsaltningsprocessen och teknik som används.• Samtliga kommuner har i dagsläge ingen kunskap om vattenkvaliteten från små, privata anläggningar.• Ett fåtal kommuner känner till risken för alg tillväxt och behov av återmineralisering av dricksvatten.
<i>Samverkan och nätverk</i>	<ul style="list-style-type: none">• Ett fåtal kommuner har kommit i kontakt med avsaltningsanläggningar i samband med planläggning av kustnära områden.• Vid bygglovsansökan aktualiseras avsaltning för enskild vattenförsörjning.• Kommuner kan komma i kontakt med avsaltningsanläggningar i samband bygglovsansökan samt vid tillsyn och prövning om enskilt avlopp.
<i>Tillsyn och kontroll</i>	<ul style="list-style-type: none">• Ingen av de kontaktade kommunerna genomför någon tillsyn eller kontroll av privata avsaltningsanläggningar.• Kommuner har endast rådgivande roll vid avsaltningsanläggningar som inte omfattas av livsmedelslagen.• Inget tydligt ansvar över privata anläggningar.• Frågor gällande avsaltning hänvisas till länsstyrelser om inte kommunen har tillsynsansvar av vattenverksamheter.

Antal avsaltningssanläggningar

- Endast en kommun har kunskap om några privata avsaltningssanläggningar inom kommunen.
- Ett flertal kommuner känner till de större avsaltningssanläggningar som finns inom kommunen.
- Länsstyrelse har kunskap om avsaltningssanläggningar som har ansökt om strandskyddsdispens.
- Avsaltningssanläggningar som inte är anmälningsskyldiga registreras ej av kommunen.
- Generellt vet kommuner om att avsaltning används av invånare i allt större utsträckning, men eftersom dessa inte är anmälningsskyldiga, för kommuner inga register eller kontroller över dessa.

Förbättringsmöjligheter

- Kunskapsbasen kring avsaltning behöver öka inom kommunen. En sammanställning av för- och nackdelar med avsaltning för privat bruk skulle underlätta beslutsfattande process inom kommunen.
- Vägledning liknande den för enskilda avlopp efterfrågas av kommuner.
- Registerföring för avsaltningssanläggningar som dyker upp under kommunernas dagliga arbete. Uppföljning skulle kunna innehålla ett frågeformulär och standard provtagning för att öka kunskap om avsaltningssanläggningar som finns inom kommunen.
- Stöd från nationella myndigheter krävs för att erhålla samlad vägledning kring avsaltning runt om i landet.
- Standardiserad vägledning om tillsyn och möjligheten till tillsyn för små avsaltningssanläggningar.

Utmaningar

- Kunskapsbrist som råder kring avsaltningstekniker.
 - Stora osäkerheter kopplade till avsaltning och omfattning av de avsaltningssanläggningar som inte är anmälningsskyldiga.
 - Höga kostnader kopplade till avsaltning.
 - Oenhetlig vägledning från olika länsstyrelser.
-

Kategori	Sammanfattning
<i>Allmänt om avsaltning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Omvänd osmos är en effektiv teknik för avskiljning av salter, så länge skötsel av anläggningen genomförs regelbundet av kunden kommer rent vatten att erhållas. • Algtoxiner anses inte vara ett problem vid rätt skötsel av anläggningen. • En fåtal leverantörer anser inte frågan om algtoxiner som relevant då membranfilter avskiljer dessa. • Den typiska kunden är privatpersoner, konferensanläggningar och föreningar. • Avsaltningsanläggningens kapacitet anpassas efter kundens behov.
<i>Samverkan och nätverk</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen kontakt med kommuner och/eller andra myndigheter vid inrättande av småskaliga anläggningar. • Kunden har kontakt med kommuner och leverantörer, ingen direkt dialog mellan kommuner och leverantörer förekommer. • Ett fåtal kommuner har sökt kontakt med en teknikleverantör i syfte att öka allmän kunskap om avsaltning.
<i>Tillsyn och kontroll</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Egenkontroll hos kunden varierar beroende på om det finns serviceavtal med teknikleverantören eller inte samt vilken teknikutformning som väljs. • Det är upp till kunden att bestämma vilken kontroll som ska utföras, endast rekommendationer ges från leverantören. • Kontroll av anläggningen omfattar vanligen rengöring, filterbyten och kontroll mot eventuellt läckage och felmeddelande på anläggningen.
<i>Antal avsaltningsanläggningar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • De flesta leverantörer säljer småskaliga avsaltningsanläggningar i Stockholms skärgård • De medverkande leverantörerna har sålt över 5500 anläggningar till privatpersoner, utöver det anger BRAVA sälja cirka 20-30 anläggningar årligen utan att ange en ett total försäljningsantal.
<i>Förbättringsmöjligheter</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Öka kunskap om avsaltning hos kustkommuner i syfte att tillsammans hitta hållbara lösningar för vattenförsörjning hos invånare som befinner sig utanför VA-verksamhetsområde.

	<ul style="list-style-type: none"> • Egenkontroll hos kunden behöver förbättras för att säkerställa drift och rätt funktion på anläggningen. • Journalföring för att tidigare upptäcka ens individuella behov av filtertvätt samt filterbyte innan de hinner orsaka driftstörningar på anläggningen. • Kontrollera vattnets temperatur och pH regelbundet för optimal drift.
<i>Utmaningar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bristfällig skötsel av anläggningar ute hos kunder vilket leder till driftstörningar. • Avskaffning av rejektvattnet.
<i>Driftstörningar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Igensättning av förfilter och/eller membran. • Problem med råvatten. • Lågt inloppstryck orsakat av igensatta filter. • Strömavbrott. • Korrosion på komponenter.
<i>Service</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Samtliga leverantörer har serviceorganisation. • Serviceavtal kan oftast anpassas efter behov beroende på hur mycket kunden vill sköta om sin anläggning själv. • Service kostnaden ligger vanligen på cirka 10 000kr per år. • De flesta leverantörer ställer inget krav på att teckna serviceavtal men detta är dock en stark rekommendation. • Service omfattar nödvändiga byten av samtliga komponenter, rengöring av filter samt kontroll av anläggningens funktion och vatten.
<i>Rådgivning och avrådan</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rekommendationer vid inrättning av en avsaltningssystem tar hänsyn till kundens specifika behov, lokala förutsättningar och förväntat vattenbehov. • Ett platsbesök görs oftast innan införskaffning av en avsaltningssystem för att säkerställa rätt val. • Återmineralisering av avsaltat vatten rekommenderas av samtliga leverantörer. • De flesta leverantörer avråder avsaltning av salthaltigt brunnsvatten. • Om kunden har tillgång till brunnsvatten av fullgod kvalitet avrådes de från inrättning av en avsaltningssystem.

8.3 Exempelsamling av avsaltningsanläggningar i bruk

8.3.1 Värmdö kommun

Värmdö kommun är belägen i Stockholms län och omfattar över en tredjedel av Stockholms skärgård. Områdena i kommunen består av cirka 10 000 öar med drygt 300 mil stränder. Dess naturmiljö medför hög turism och under sommartiden kan kommunens befolkning öka från cirka 45 000 invånare till över 100 000. Värmdö räknas som den snabbast växande kommunen i Sverige främst på grund av omvandlingen av fritidshus till permanentboende samt utveckling av flerbostadshusområden [121][122]. Den snabba befolkningstillväxten ställer inte endast höga krav på bebyggnationer och infrastruktur, men framför allt på kommunens VA-försörjning. I dagsläget är över 30 000 invånare anslutna till kommunalt VA. Resterande befolkning behöver ordna VA själva. Det finns över 15 000 enskilda VA anläggningar i kommunen [123]. Enskilda vattentäkter utgörs främst av grundavattenbrunnar, men på grund av saltvattenträngningar och stora vattenuttag aktualiseras avsaltning av havsvatten inom kommunen. Avsaltning av brunnar med relict vatten är förbjudna inom kommunen och avsaltning av havsvatten rekommenderas som en komplement till grundvattenuttaget, men inte som en självständig dricksvattenkälla [124]. Generellt sett godkänns inte avsaltning av havsvatten som en primär vattenförsörjning vid bebyggnation av en obebyggd fastighet, detta eftersom Värmdö kommun följer Stockholms länsstyrelsens vägledning om att en avsaltningsanläggning är en extraordinär åtgärd och därför inte uppfyller PBLs krav på lokaliseringsprövning. Detta ser dock annorlunda ut vid befintliga bebyggelser där vattenbrunn inte har tillfredsställande kvalitet eller kvantitet, i de fallen kan avsaltningsanläggning inrättas och användas för att tillgodose hushållets vattenbehov [125].

8.1.1.1 Hushåll 1

Hushåll 1 är belägen på Norra Lagnö i Värmdö kommun. Värmdö kommun har i VA-översiktsplanen pekat ut Norra Lagnö som prioriterat förändringsområde. Detta beror på den kraftiga ökningen av permanentboende i områden som leder till ökat vattenbehov och belastning på avloppsanläggningar [126]. I dagsläge bedöms den enskilda VA-försörjningen inte tillfredsställa de kraven ställs på kvaliteten och miljön och kommunalt VA kommer att dras fram till ön. Dragning av vatten- och avloppsledningar är dock en tidskrävande och komplex investering och familjen i hushåll 1 har väntat i cirka 7 år på kommunalt VA [127].

Familjen i hushållet 1 består av två personer som är permanent bosatta på ön. Hushållets vattenbehov tillgodoses med avsaltat havsvatten sen 11 år tillbaka. Den befintliga avsaltningsanläggningen har inrättats som en lösning på relict brunnsvatten som innan dess använts som primär vattenkälla [127].

Sen några månader tillbaka är även ett närliggande nybyggt hus anslutet till samma avsaltningsanläggning. Familjen i det nybyggda huset består av 4 personer. Vid bygglovsansökan för detta hus har avsaltning av havsvatten underkänts som primär vattenkälla och kan endast användas som en komplement till brunnsvatten. Detta innebär att det avsaltade vattnet kan användas till disk, dusch och tvätt, men inte som dricksvatten. Båda hushållen använder dock avsaltat vatten även som dricksvatten. Eftersom ingen tillsyn eller kontroll bedrivs av kommunen på denna anläggning, är kommunen ovetande. Hushållet 1 levererar även vatten till ett sommarhus med 8 personer, och den totala vattenförbrukning uppgår till cirka 350m³ inklusive sommarbefolkning [127].

8.1.1.1.1 Om avsaltningsanläggningen

Avsaltningsanläggningen i hushållet 1 är en egen ihopsatt anläggning som har varit i drift sen april 2009. Anläggningen är placerad i ett båthus och består av råvattenintag,

förbehandlingsfilter, RO-enheter, mineralfilter, en tank och 2 stycken tryckkärl. I figur 10 presenteras denna anläggning med samtliga komponenter förutom råvattenintaget. Råvattenintaget består av en råvattenpump med tillhörande grovsil som ligger placerade på 16 m vattendjup. Grovsilen avlägsnar de största föroreningspartiklar innan vattnet passerar en råvattenpump. Råvattenpumpen leder havsvattnet genom vattenledningar in mot land till båthuset. Inne i båthuset får råvattnet passera ett tryckkärl, där trycket jämnas ut, sedan ett sandfilter och efterkommande filter om 20 respektive 5 μ , se figur 11. Det förbehandlade vattnet kan sedan flöda genom 4 stycken membranfilter., se figur . Renat vatten återmineraliseras i ett mineralfilter och leds vidare till ett tryckkärl och slutligen till en tank. Rejektet skickas tillbaka till havet vid en brygga som finns precis utanför båthuset [127].



Figur 10 Avsaltningsanläggning i båthuset.



Figur 11 Tryckkärl och sandfilter.



Figur 12 Fyra stycken rörformade membranfilter.

Denna anläggning producerar upp till 390 l/h och elförbrukningen uppskattas uppgå till 16,1 kWh/m³ vatten. Anläggningen fungerar utan anmärkning och det enda störningen som har registrerats av ägaren är korrosion av vissa ventiler, vilket bedöms vara en vanlig slitage. Det avsaltade vattnet har provtagits två gånger under de senaste 11 åren och vattenkvaliteten har bedömts som god, utan anmärkning [127].

Service av anläggningen utförs dels av hushålls ägaren och dels av en legitimerad serviceman. Service som utförs av ägaren omfattar byte av förfilter, 20 och 5 μ , rengöring av anläggningen samt påfyllning av mineralfiltret. Filterbyte görs var 3:e vecka under sommartiden på grund av vattnets grumlighet, däremot under vinterperioden byts filter ut endast en gång. Rengöring och backspolning av anläggningen görs en gång om året, anläggningen spolas då med citronsyra och ett pH-test utförs. Mineralfilter fylls på minst en gång om året, vanligen var 8:e månad, med en dolomitblandning [128]. Sandfilter fylls på vid behov med special sand innehållande kvarts [129]. I figur 13 visas dolomitblandning samt sandblandning som används vid påfyllning av mineral- respektive sandfilter. All service och kontroller bokförs av ägaren i en journal [127].



Figur 13 Påsar med dolomit och sandblandning.

Service som utförs av servicemannen omfattar renspolning av anläggningen och kontroll av samtliga komponenter samt byte av nödvändiga delar [127].

8.1.1.2 Hushåll 2

Hushåll 2 är lik hushåll 1 belägen i Norra Lagnö i Värmdö kommun. På Norra Lagnö finns många privata avsaltningsanläggningar och även en gemensamanläggning som försör flera hus med avsaltat vatten [130].

Familjen i hushållet 2 består av två personer som är permanentbosatta på ön. Vattenbehovet har tillgodosetts med avsaltat vatten i över 25 år. Det avsaltade vattnet utgör den primära vattenkällan då hushållet saknar andra vattenresurser. Det finns även ett närliggande hus som är kopplat till hushållets 2 avsaltningsanläggning. Den totala vattenförbrukningen uppskattas uppgå till drygt 1,5m³ per månad [130].

Vid inrättning av avsaltningsanläggning hade hushållet 2 telefonkontakt med Värmdö kommun som godkände och rekommenderade en ENWA-anläggning till familjen i hushållet 2. Inget bygglov, tillstånd eller anmälan krävdes av kommunen [130].

8.1.1.2.1 Om avsaltningsanläggningen

Avsaltningsanläggningen i hushållet 2 är en ENWA-anläggning som har varit i drift sen november 2013. I anläggningen ingår råvattenintag, ett sandfilter, RO-enhet, ett mineralfilter samt en tank med UV-filter, se figur 14. Råvattenintaget består av ett ihåligt PVC-rör som är placerad vertikalt i vattnet på cirka 1,5 m djup. Råvatten pumpas upp till en källare, där avsaltningsanläggningen är placerad, med hjälp av en sugpump, se figur 15. Vattnet passerar sedan ett sandfilter och flödar vidare till RO-enheten. I figur 16 visas RO-enheten från ENWA. Det avsaltade vattnet återmineraliseras i ett mineralfilter, se figur 17, och leds vidare till ett tryckkärl. Vattnet förvaras i en tank med cirkulation och vid distribution får den passera ett UV-filter, se figur 18. Rejektvatten leds till ett gammalt infiltrationssystem som förut användes för avloppsvatten, se figur 19.



Figur 14 Avsaltningsanläggning i hushållet 2



Figur 15 En sugpump.



Figur 16 RO-enhet från ENWA



Figur 17 Ett mineralfilter från ENWA.



Figur 19 Utlopp för rejektvatten.



Figur 18 Vattentank med tillhörande UV-filter.

Denna anläggning producerar cirka 100 l/h. Anläggningen fungerar helt utan anmärkning och inga driftstörningar har noterats av hushållet 2 sen anläggningen har installerats. Det avsaltade vattnet har aldrig provtagits och vattenkvaliteten från anläggningen är därav okänd [130].

Service av anläggningen utförs enbart av hushållets ägare och innefattar filterbyte och rengöring av samtliga komponenter med hjälp av sulfaminsyra, mot metalloxidbeläggningar, och kaustiksoda, mot organiska och biologiska beläggningar. Se figur 20 för tvättkemikalier samt figur 21 för vatten före och efter tvätt. Servicen utförs två gånger om året, men anläggningen kontrolleras mot läckage och varningslampor flera gånger i veckan. Vid den veckovisa kontrollen kollas även tryckmätaren och om trycket sjunker, byts förfilter ut. Ingen journal förs av ägaren [130].



Figur 20 Kemikalier som används vid tvätt av anläggningen.



Figur 21 Vatten före och efter tvätt.

8.3.2 Österåker kommun

Österåker kommun ligger i Stockholms län och omfattar flertal öar i norra delen av Stockholms skärgård. Österåkers kommun har över 43 000 invånare och under sommarperioden fördubblas dess befolkning genom fritidshus och turism. Dessutom ökar antalet invånare i kommunen, samtidigt som allt fler fritidshus omvandlas till permenthushåll. Den snabba befolkningstillväxten och etableringen av permanentboende medför högra krav på kommunens VA-försörjning [131]. I dagsläget finns över 5000 enskilda avlopp och vattentäkter i kommunen [132]. Den enskilda vattenförsörjningen för både privat och kommersiell bruk ordnas huvudsakligen genom grundvattenbrunnar, men även avsaltning av havsvatten förekommer inom kommunen [131]. Kommunen har inte tagit ställning för eller emot avsaltning av havsvatten [133].

8.3.2.1 Bostadsrättsförening Stensnäs



Figur 22 Utsikt över område tillhörande Brf Stensnäs [135]

Bostadsrättsföreningen Stensnäs är belägen i Österåkers kommun, cirka 4 km från kommunens huvudort Åkersberga [134]. Bostadsrättsföreningen äger sen 2011 44 bostäder med havsutsikt över Trälhavet och Resarö [134][135][136]. Området består delvis av nybyggnader som byggdes av Genova Bostad och delvist av ombyggd hotell och konferensanläggning [134]. Vattenbehovet har sedan många år tillbaka tillgodosetts genom avsaltning av havsvatten. Anläggningen är anmänt till Österåkers kommun som även bedriver tillsyn på denna anläggning [136].

Den befintliga anläggningen har byggts om flera gånger och anpassats efter vattenbehovet i föreningen. Stensnäs föreningen har under senaste året infört en rad åtgärder som syftar till att effektivisera avsaltningsanläggningen. Ett resultat av detta förbättringsarbete är installation av solceller för anläggningens energiförsörjning. Under perioden maj-augusti 2020 har dessa solceller producerat över 50 000 kWh som huvudsakligen använts av avsaltningsanläggningen, resten säljs vidare av bostadsrättsföreningen till elverket. Spillvärme från anläggningen används av bergsvärmepumpar och värmer upp bostäderna. Föreningen planerar att utföra fler åtgärder som kommer att förbättra både anläggningens prestanda och ekonomi [136].

8.3.2.1.1 Om avsaltningsanläggningen

Avsaltningsanläggningen i bostadsrättsföreningen Stensnäs är en storskalig ENWA-anläggning. I anläggningen ingår råvattenintag, ett sandfilter, ett kolfilter, RO-enhet, ett mineralfilter samt fem tankar med omrörning och ett UV-filter för utgående vatten. Råvattenintaget består av en råvattenpump med tillhörande grovsil som är placerad precis vid bryggan på cirka 2 meters djup. Råvattenpumpen var placerad längre ifrån strandlinjen förut, men på grund av slamhaltiga vattenflöden, som kom från närliggande reningsverk och täppte till pumpen, behövde platsen ändras. Se figur 23 för nuvarande placering. Råvattnet leds med cirka 100 meter långa vatten- och landleddningar in i en källare där anläggningen finns. I källaren råder temperatur på 14°C som håller låg temperaturen på inkommande vatten. Vattnet passerar ett sandfilter och sedan ett råvattenfilter, se figur 24 [136].



Figur 23 Bryggan där råvattenpumpen är placerad.



Figur 24 Ett sandfilter (blå tub), spirallindade moduler (vita tuber) och råvattenfilter (svarta tuber).

Det förbehandlade vattnet flödar vidare till RO-enheten som består av 8 stycken spirallindade membranmoduler. I figur 25 och 26 visas de spirallindade moduler respektive RO-enhetens framsida. Vattnet återmineraliseras sedan i ett mineralfilter, se figur 27, och lagras i tankar med cirkulation, se figur 28. Tankarna är utrustade med extra tappventiler som möjliggör vattenuttag även vid strömavbrott. Utgående vatten passerar ett UV-filter som säkerställer vattnets höga kvalitet, figur 29. Rejektvatten leds tillbaka till havet, utloppet ligger precis vid strandkanten [136].



Figur 25 Spirallindade moduler.



Figur 26 RO-enhetens styrpanel.



Figur 27 Ett mineralfilter (silverfärgat kärl)



Figur 28 Vattentankar med 1500l vardera.

Denna anläggning producerar mellan 10-15m³ vatten per dygn. Anläggningen fungerar bra och de driftstörningar som har inträffat berodde på oregelbundet filterbyte, strömavbrott eller kraftigt slamflöde från närliggande reningsverket som täppte till råvattenpumpen [136].

Service och kontroll av anläggningen sköts av 8 personer som tillhör bostadsrättsföreningen. Samtliga personer har utbildats av en legitimerad serviceman från ENWA som tidigare haft ansvaret över servicen. Servicen innefattar byte av råvattenfiltret efter 200h under sommarperioden respektive 300h under vintern. Vid högbelastning på anläggningen, vanligen i april varje år behöver filter bytas ut var 4:e timme, detta beror på aktivitet vid närliggande reningsverk. Sandfiltret backspolas automatiskt var 15:e timme och kräver ingen extern skötsel. Anläggningen rengörs med kemikalier mot biologiska och organiska beläggningar samt mot metalloxider, efter 1000h. Kemikalier som används är samma som de i en småskalig anläggning i hushållet 2 (kap. 8.1.1.2.1). Membranfilter byts ut när sjunkande tryck noteras i anläggningen,



Figur 29 Ett UV-filter

vanligen efter 15 000h. Hittills har membranmodulerna bytts ut 2 gånger. Lysrören i UV-filtret byts ut efter 9000h. Utöver servicen, utförs även dagliga kontroller av anläggningen. Vid kontrollförfarande läses samtliga parametrar av och antecknas i en journal som kontrolleras av kommunen vid varje tillsynstillfälle. Anläggningen är kopplad till en central som vid fel skickar meddelande till anläggningsansvariga. Fel som orsakar en driftstörning kan åtgärdas inom 24h utan att påverka vattenförsörjningen i området [136].

Anläggningsansvariga provtar utgående vatten samt kranvatten i två bostäder varje månad. Provsvar skickas till kommunen och sparas i journalen. Vid tillsynstillfälle kontrolleras anläggningen och tillhörande journal, vidare granskas även renheten och skötsel av rummet där anläggningen är placerad. Kemikalier som används för rengöring och rejektvatten omfattas inte av tillsynen [136].

9 Diskussion

Avsättning förknippas huvudsakligen med ett relativt högt energibehov som därav utgör den största begränsningen för användning av avsättningsprocesser. Dock är denna association något föråldrad och inte nödvändigtvis sann i nuläget. Ett intensivt forskningsarbete har lett till kraftig energieffektivisering av samtliga metoder för avsättning. Hittills har utveckling av nya membran och effektivare förbehandlingsprocesser samt integrering av förnybara energikällor, så som solceller och användning av spillvärme från andra processer, resulterat i minskad energiåtgång och därav större tillgänglighet av samtliga metoder.

Den mest energieffektiva metoden för avsättning i svenska förhållanden bedöms vara omvänd osmos. Omvänd osmos använder endast elektrisk energi som huvudsakligen används av högtryckspumpar. Det bräckta vattnet i Sverige har relativt lågt osmotiskt tryck vilket medför att tryck på cirka 14-16 bar är tillräcklig för en effektiv saltavskiljning. Det förhållandevis låga tryckbehovet resulterar i mindre energiåtgång och därav bättre processekonomi. Dessutom utvecklas ständigt nya membranmaterial och membranmoduler vilket leder till ökad membranprestanda, livstid och effektivitet som ytterligare förbättrar processens ekonomi.

En annan viktig faktor som påverkar processens effektivitet och därav ekonomi är förbehandling av råvattnet. Störningar i förbehandlingsprocessen leder till bildning av problematiska beläggningar på membran, vilket står för huvuddelen av driftstörningar och påverkan på dricksvattenkvaliteten från avsättningsprocessen. Vid välfungerande förbehandling är avskiljningsgraden av samtliga ämnen mycket hög (upp till 99,8%) vilket innebär att vattnet från en fungerande avsättningsenhet håller hög renhetsgrad och därav risker för förekomst av påtalade algtoxiner, såväl som andra föroreningar är obetydlig. Situationen ser dock annorlunda ut om förbehandlingsfilter missköts och kraftiga beläggningar bildas på membranet. Detta påvisar vikten av kontroll och skötsel av en avsättningsanläggning. Det avsattade vattnet kräver även en efterbehandling främst för att skydda vattenledningar och öka vattnets smakkvalitet.

På den svenska marknaden finns ett stort utbud av tekniklösningar för avsättning. Samtliga leverantörer erbjuder kompletta lösningar med tillhörande förbehandling, som anpassas individuellt till aktuell vattenkälla, RO-enhet och efterbehandling. Avsättningsanläggningar utformas för att tillhandahålla en så smidig hantering och skötsel av anläggningen samt vara yteffektiva. Investeringskostnad för en anläggning varierar mellan de olika leverantörerna och påverkas främst av anläggningens kapacitet samt de ingående komponenterna. En avsättningsanläggning har en energiförbrukning om cirka 1,5 kWh per 100l vatten. Det innebär att en anläggning behöver vara i drift i cirka 4 timmar om dagen för att möta vattenbehovet för 4 personer (cirka 100l per dag och person), vilket resulterar i en elförbrukning om 2 190 kWh per år. Jämför man denna grova uppskattning med energiåtgången för en värmepump som förbrukar cirka 7 000 kWh per år [137], ser man tydligt att energiförbrukning för en avsättningsanläggning inte är ohållbart hög.

I denna studie har tre studiebesök genomförts i syfte att få en verklig bild av avsättningsanläggningar i drift. Två av de besökta anläggningar används för privat dricksvattenproduktion och en tillhandahåller vatten till ett bostadsområde om 44 bostäder och är därav anmälningspliktig och omfattas av tillsyn.

Av dessa besök framgår tydligt att skötsel av de privata anläggningar skiljer sig anmärkningsvärt från den anmälningspliktiga anläggningen, men skillnader finns även mellan dessa två privata anläggningar.

Den anmälningspliktiga anläggningen följer en restriktiv vägledning för kontroll och skötsel av anläggningen. Samtliga kontroller, eventuella störningar, driftförändringar och åtgärder dokumenteras i en journal som redovisas för tillsyn månadsvis. Journalföring är ett effektivt sätt för kontroll av anläggningen och möjliggör upptäckt av eventuella driftstörningar i tid samt tydliggör störningstrender som uppkommer. Det i sin tur leder till att störningar kan förebyggas och anläggningens prestanda effektiviseras. Ett annat viktigt kontrollmoment är provtagning av utgående vatten. Vattenkvaliteten kontrolleras regelbundet för att säkerställa god vattenkvalitet som inte orsakar olägenheter för hälsa hos samtliga vattenkonsumenterna i området.

De besökta privata anläggningarna för generellt tillfredställande kontroll och skötsel av anläggningen. Osäkerheten blir dock stor när dricksvatten från anläggningen inte provtas. Både verksamhetsutövarna rengör anläggningen och byter filter i enighet med instruktioner från leverantören respektive servicemannen. Förutom dessa åtgärder antas anläggningen fungera rätt och verksamhetsutövarna förlitar sig fullständigt på informationen från teknikleverantörerna.

Den genomförda enkätundersökningen med teknikleverantörer tyder på att egenkontroll hos många privata verksamhetsutövare brister och driftstörningar förekommer. Samtidigt verkar samtliga leverantörer basera anläggningens förväntade prestanda på ideala förhållanden, vilket inte nödvändigtvis kommer att speglas vid verklig drift. De flesta leverantörer hjälper kunden att välja och anpassa anläggningen efter rådande förhållanden i råvattnet vilket hjälper till att uppnå förväntad funktion hos anläggningen. Dock kan förutsättningar i vattnet variera kraftigt beroende på omgivande aktivitet, årstider, nederbörd mm, och tillfälliga driftstörningar kan förekomma även om anläggningen sköts i enighet med instruktioner från leverantörer. Av denna anledning påpekar de flesta leverantörer vikten av egenkontroll och journalföring som kan hjälpa till att förutse dessa tillfälliga störningar.

Teknikleverantörernas ansvar för avsaltningsanläggningen verkar sluta vid leveransen av anläggningen och resten bedöms vara upp till verksamhetsutövaren i de fallen där ett serviceavtal inte har tecknats mellan parterna. Samtidigt ställs det inga krav på serviceavtal och teknikleverantörerna lämnar över ansvaret till verksamhetsutövaren. Generellt anser teknikleverantörerna ansvara för information och leverans av en anläggning som överensstämmer med given information, samtidigt ansvarar de inte för driftstörningar som kan tänkas uppkomma på grund av bristande skötsel och resultera i otjänligt dricksvatten. Verksamhetsutövaren är skyldig att kontrollera och sköta om sin anläggning, men informationen om den ges endast från teknikleverantören och det saknas därav oberoende information. Kommuner och Livsmedelsverket har en rådgivande roll i avsaltningssammanhanget, samtidigt verkar kommuner sakna tillräcklig kunskap om avsaltning för att kunna fullfölja sin roll.

Enkätundersökningen med kommuner visar att de flesta kommuner saknar kunskap om avsaltning och vattenkvaliteten från avsaltningsanläggningar är okänd. De förekommer även stora skillnader på engagemang hos de undersökta kommunerna och många av dem verkar inte känna något ansvar över småskaliga avsaltningsanläggningar som kan tänkas finnas inom kommunen. Dock verkar kommuner vara medvetna om den rådande kunskapsbristen och trots varierande engagemang, efterfrågar majoriteten av kommuner vägledning och utbildning på nationell nivå.

I nuläget saknas en tydlig vägledning och lagstiftning för enskild dricksvattenproduktion genom såväl avsaltning som andra metoder. Det finns mycket tomrum mellan olika lagar som gör att ingen känner ansvar över enskilda anläggningar, förutom verksamhetsutövaren själv som självklart vill dricka vatten av god kvalitet. Det finns dock intresse hos de flesta kommuner att införa en standardiserad vägledning som kan användas som hjälpmedel vid ärenden om bygglov,

rådgivning för privatpersoner och framför allt vid bedömning av framtida dricksvattenförsörjning.

9.1 Förslag på vidare studier

Denna studie ger en övergripande bild av samtliga aspekter som bedöms relevanta vid avsaltning av havsvatten i Sverige. Syftet var att identifiera kunskapsbrister och samla information som kan användas av samtliga aktörer inom avsaltningskedjan, från privatpersoner till myndigheter och teknikleverantörer. Vidare studier bör i första hand undersöka vattenkvaliteten från privata avsaltningsanläggningar för att jämföra den förväntade prestandan med den verkliga funktionen hos dessa anläggningar.

Fortsatta studier bör även syfta till att ta fram hjälpmedel som kan användas av samtliga kommuner för att identifiera och registrera avsaltningsanläggningar som finns i drift idag. Ett verktyg som påminner om SGUs brunnarsarkiv skulle med fördel kunna användas i detta syfte. Ett register över befintliga avsaltningsanläggningar skulle i sin tur leda till tillgång till samlad information kring avsaltning och möjliggöra bedömning av eventuella miljökonsekvenser.

Vidare föreslås studier med syfte att ta fram en vägledning på nationell nivå som kan användas av samtliga kustkommuner vid bygglovsärenden och rådgivning.

10 Slutsats

I denna studie sammanställdes de ledande tekniker som finns för avsaltning av havsvatten. Termiska och membranbaserade metoder för saltavskiljning utvärderades ur energisynpunkt samt lämplighet för användning vid småskalig avsaltning för privat bruk. Utifrån samlad information bedöms membrantekniken omvänd osmos vara den mest energieffektiva tekniken idag som med fördel kan användas för småskalig avsaltning av havsvatten.

I Sverige används enbart omvänd osmos för avsaltning av havsvatten. På den svenska marknaden återfinns en rad olika teknikleverantörer och återförsäljare som specialiserar sig på avsaltning i svenska förhållanden, huvudsakligen Östersjön. Avsaltning av Västerhavet ställer betydligt högre krav på membrankapaciteten och avsaltningsanläggningar behöver specialanpassats för att klara av salthalten på över 8000 ppm.

Utifrån den genomförda enkätundersökningen kunde över 5500 småskaliga avsaltningsanläggningar identifieras som sålda i Stockholm Skärgård. Det totala antalet avsaltningsanläggningar i bruk uppskattas dock vara betydligt högre.

Studien har visat att kunskapen om avsaltning och privata avsaltningsanläggningar i kommunerna är bristfällig.

Småskaliga avsaltningsanläggningar som används för privat vattenproduktion faller inte under anmälning eller tillståndsplikt utifrån Miljöbalkens kapitel 11. I vissa fall kan kapitel 7 miljöbalken om skyddade områden vara tillämplig vid inrättning av en avsaltningsanläggning.

Vid bygglovsansökningar råder en stor osäkerhet kring bedömning av avsaltningens lämplighet för enskild vattenförsörjning och samtliga kustkommuner efterfrågar tydlig vägledning från nationala myndigheter.

I dagsläge finns ett stort behov av kunskapshöjande insatser kring avsaltning och ett nationellt samarbete krävs i syfte att ta fram en samlad bedömning och standardiserad hantering av frågor om avsaltning för enskild vattenförsörjning.

Kustkommuner bör även vidta åtgärder för att öka kunskapen om avsaltningsanläggningar som finns i bruk inom kommunen i syfte att bedöma vattenkvaliteten från dem och säkerställa att miljöbalkens föreskrifter om hälsoskydd uppfylls.

11 Referenser

- [1] Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T., Dahlqvist, P. och Rosén, L., 2019. *När Vattentillgången Brister*. Lund: RISE.
- [2] Västberg, E., 2014. *Hållbar Vattenförsörjning I Områden Med Vattenbrist*. Uppsala: Uppsala Universitet.
- [3] Sgu.se. 2020. *Enskild Vattenförsörjning – Vad Innebär Det?*. [online] Available at: <<https://www.sgu.se/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/enskild-vattenforsorjning/>> [Accessed 9 February 2020].
- [4] Maxe, L. och Thunholm, B., 2007. *Områden Där Grundvattennivån Är Av Särskild Betydelse För Vattenkvalitet, Markstabilitet Eller Ekosystem*. SGU.
- [5] Söderholm, M., 2015. *Saltvatteninträngning i bergsborrade brunnar*. Stockholm: Stockholms universitet.
- [6] Bergström, C., 2016. *Hälsorisker Med Avsaltat Dricksvatten Från Östersjön*. Stockholm: Stockholms Universitet.
- [7] Livsmedelsverket, 2015. Råd om enskild dricksvattenförsörjning., 2015. *Råd Om Enskild Dricksvattenförsörjning*.
- [8] Christensen, J., 2015. *Juridiken Kring Vatten Och Avlopp*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- [9] Eurostat, 2018. *Eurostat - Tables, Graphs And Maps Interface (TGM) Table*. [online] Tillgänglig på: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=sdg_06_60&plugin=1> [hämtad 10.02.2020].
- [10] Naturvårdsverket. 2020. *Vattenbrist Och Torka - Så Påverkar Det Miljön*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Vattenbrist-och-torka/>> [hämtad 10.02. 2020].
- [11] Stensen, K., Krunegård, A., Rasmusson, K., Matti, B. och Hjerdt, N., 2019. *Sveriges Vattentillgång Utifrån Perspektivet Vattenbrist Och Torka*. SMHI.
- [12] Sorby, L. 2016. *Sammanställning av länsstyrelsernas och några nationella myndigheters erfarenheter och konsekvenser för vattenresurser och vattenmiljön av vädersituationen under 2016*: Havs- och vattenmyndigheten.
- [13] Havs- och Vattenmyndigheten, 2018. *Fördelning Av Vatten I Torkans Spår*. Göteborg: Havs- och Vattenmyndigheten.
- [14] Statistiska centralbyrå, 2017. *Vattenanvändningen I Sverige 2015*. Stockholm: SCB.
- [15] Statistiska centralbyrå, 2012. *Vattenanvändningen I Sverige 2010*. Stockholm: SCB.
- [16] Statistiska centralbyrå, 2016. *Industrins vattenanvändning 2015*. Stockholm: SCB.

[17] Adelsköld, S. och Ilao Åström, S., 2019. *Vattentillgång, Vattenanvändning Och Inställning Till Återanvändning Av Renat Avloppsvatten På En Ö I Skärgården – En Fallstudie Om Möja*. Uppsala: Uppsala Universitet.

[18] Lansstyrelsen.se. 2018. *Regional vattenförsörjningsplan för Stockholms län*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.7ab1493f1677d97be13dad/1544105426968/Rapport%202018-24%20Regional%20vattenforsorjningsplan%20för%20Sthlms%20län.pdf>> [hämtad 27.03.2020].

[19] Bergström, C., 2016. *Vattenkemisk Förändring I Lissån*. Uppsala: Uppsala Universitet.

[20] Havs- och Vattenmyndigheten 2020. *Vägledning För Regional Vattenförsörjningsplanering*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.

[21] Västberg, E., 2014. *Hållbar Vattenförsörjning I Områden Med Vattenbrist*. Uppsala: Uppsala Universitet.

[22] Wahlgren, C., Mellqvist, C., Bovin, K., Jelinek, C., Persson, L., Thunholm, B. och Wåhlén, H., 2015. *Grundvatten I Kristallin Berggrund, En Pilotstudie Baserad På Sgus Data*. SGU.

[23] Sjöstrand, K., Yarahmadi, N., Kärrman, E., Sörelius, H., Morey Strömberg, A. och Västberg, E., 2014. *Metod För Val Av Vattenförsörjning I Områden Med Vattenbrist – En Handbok*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

[24] Andersson, P., 2012. *Förekomst Och Spridning Av Kväveföreningar I Grundvatten - En Fallstudie Av Köpinge - Vrams Vattenförenings Grundvattenuttag På Kristianstadslätten*. Lund: Lunds Universitet.

[25] Andersson, L., 2018. *Enskilda Brunnars Vattenkvalitet Samt Förekommande Vattenreningstekniker*. Stockholm: KTH.

[26] Havsmiljöinstitutet, 2011. *HAVET – Om Miljötilståndet I Svenska Havsområden*. [online] Göteborg: Havsmiljöinstitutet. Tillgänglig på: <<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-1288-5.pdf>> [hämtad 22.04.2020].

[27] Ottosson, J., 2009. *Eutrofieringen Av Östersjön: En Framåtblickande Lägesrapport*. Växjö: Växjö Universitet.

[28] Andersson, M., 2020. *Syreförhållanden I Svenska Hav*. [online] SMHI. Tillgänglig på: <https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.28176!/Faktablad%2056%20-%20Syreförhållanden%20i%20svenska%20hav.pdf> [hämtad 22.04.2020].

[29] Bergström, C., 2016. *Hälsorisker Med Avsaltat Dricksvatten Från Östersjön*. Stockholm: Stockholms Universitet.

[30] Becker, W. och Mattisson, I., 2016. *Dricksvattnets Betydelse För Tillförsel Av Mineralämnen*. Uppsala: Livsmedelsverket.

- [31] Livsmedelsverket, 2019. *HANDBOK FÖR KLIMATANPASSAD DRICKVATTENFÖRSÖRJNING*. Uppsala: Livsmedelsverket.
- [32] Lindkvist, J., 2007. *Social, Economical And Technical Evaluation Of A Reverse Osmosis Drinking Water Plant In The Stockholm Archipelago*. Stockholm: KTH.
- [33] Livsmedelsverket, 2019. *Kemiska Och Radioaktiva Parametrar - Kontrollwiki*. [online] Tillgänglig på: <<http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/380/kemiska-och-radioaktiva-parametrar>> [hämtad 28.04.2020].
- [34] Vattenprovtagning.se. 2020. *Guide Till Dina Analysresultat*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.vattenprovtagning.se/guide-till-dina-analysresultat>> [hämtad 28.04.2020].
- [35] Voutchkov, N., 2013. *Desalination Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- [36] Livsmedelsverket, 2019. *Mikrobiologiska Parametrar - Kontrollwiki*. [online] Tillgänglig på: <<https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/379/mikrobiologiska-parametrar>> [hämtad 28.04.2020].
- [37] Rabiee, H., Khalilpour, K., Betts, J. och Tapper, N., 2019. Energy-Water Nexus: Renewable-Integrated Hybridized Desalination Systems. *Polygeneration with Polystorage for Chemical and Energy Hubs*, pp.409-458.
- [38] Al-Karaghoul, A. och Kazmerski, L., 2013. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, pp.343-356.
- [39] Castel, C. och Favre, E., 2018. Membrane separations and energy efficiency. *Journal of Membrane Science*, 548, pp.345-357.
- [40] Schulte-Herbruggen, H., 2012. *Remote Community Drinking Water Supply : Mechanisms Of Uranium Retention And Adsorption By Ultrafiltration, Nanofiltration And Reverse Osmosis*. Edinburgh: The University of Edinburgh.
- [41] Kislik, V., 2010. *Liquid Membranes*. Oxford: Elsevier.
- [42] Lidén, A., 2020. *Membranfiltrering För Dricksvattenberedning – En Kunskaps Sammanställning*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- [43] Koros, W. och Lively, R., 2012. Water and beyond: Expanding the spectrum of large-scale energy efficient separation processes. *AIChE Journal*, 58(9), pp.2624-2633.
- [44] Lee, K., Arnot, T. och Mattia, D., 2011. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370(1-2), pp.1-22.
- [45] Chen, G., Liu, R., Shon, H., Wang, Y., Song, J., Li, X. och He, T., 2017. Open porous hydrophilic supported thin-film composite forward osmosis membrane via co-casting for treatment of high-salinity wastewater. *Desalination*, 405, pp.76-84.

- [46] Xu, W., Chen, Q. och Ge, Q., 2017. Recent advances in forward osmosis (FO) membrane: Chemical modifications on membranes for FO processes. *Desalination*, 419, pp.101-116.
- [47] Sjöstrand, K. och Kärrman, E., 2014. *Innova - Innovationer I Områden Med Vattenbrist*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- [48] Cath, T., Childress, A. och Elimelech, M., 2006. Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments. *Journal of Membrane Science*, 281(1-2), pp.70-87.
- [49] Chung, T., Zhang, S., Wang, K., Su, J. och Ling, M., 2012. Forward osmosis processes: Yesterday, today and tomorrow. *Desalination*, 287, pp.78-81.
- [50] Li, D., Yan, Y. och Wang, H., 2016. Recent advances in polymer and polymer composite membranes for reverse and forward osmosis processes. *Progress in Polymer Science*, 61, pp.104-155.
- [51] Tanaka, Y., 2015. Electrodialysis. *Ion Exchange Membranes*, pp.255-293.
- [52] Rao, P., Morrow, W., Aghajanzadeh, A., Sheaffer, P., Dollinger, C., Brueske, S. och Cresko, J., 2018. Energy considerations associated with increased adoption of seawater desalination in the United States. *Desalination*, 445, pp.213-224.
- [53] Li, C., Goswami, Y. och Stefanakos, E., 2013. Solar assisted sea water desalination: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, pp.136-163.
- [54] Kucera, J., 2019. *Desalination*. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- [55] Sharon, H. och Reddy, K., 2015. A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, pp.1080-1118.
- [56] Khan, M., Lal, B., Sabil, K. och Ahmed, I., 2019. Desalination of Seawater through Gas Hydrate Process: An Overview. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 55, pp.65-73.
- [57] Lee, W., Ng, Z., Hubadillah, S., Goh, P., Lau, W., Othman, M., Ismail, A. och Hilal, N., 2020. Fouling mitigation in forward osmosis and membrane distillation for desalination. *Desalination*, 480, p.114338.
- [58] Alkhudhiri, A., Darwish, N. och Hilal, N., 2012. Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, pp.2-18.
- [59] Ashoor, B., Mansour, S., Giwa, A., Dufour, V. och Hasan, S., 2016. Principles and applications of direct contact membrane distillation (DCMD): A comprehensive review. *Desalination*, 398, pp.222-246.
- [60] Guyer, J., 2012. *Introduction To Ion Exchange Techniques For Water Desalination*. New York: CEDengineering.com.
- [61] Tang, K., Yiacomini, S., Li, Y., Gabitto, J. och Tsouris, C., 2020. Optimal conditions for efficient flow-electrode capacitive deionization. *Separation and Purification Technology*, 240, p.116626.

- [62] Jia, X., Klemeš, J., Varbanov, P. och Wan Alwi, S., 2019. Analyzing the Energy Consumption, GHG Emission, and Cost of Seawater Desalination in China. *Energies*, 12(3), p.463.
- [63] Fors, A., Jeppsson Stahl, F., Löf, H., Renberg, J., Skoglund, A. och Skotte, M., 2019. *Avsaltning Av Brackvatten Som Lösning För Ålands Framtida Vattenförsörjning*. Uppsala: Uppsala Universitet.
- [64] Skargardsinstallationer.se. 2020. *Skärgårdsinstallationer*. [online] Tillgänglig på: <<https://skargardsinstallationer.se>> [hämtad 27.07.2020].
- [65] Blennow, K., 2005. *Återvinning Av Näringsämnen Från Hushållspillvatten Med Omvänd Osmos*. Uppsala: Uppsala Universitet.
- [66] Chen, J., Mou, H., Wang, L., Matsuura, T. and Wei, Y., 2010. Membrane Separation: Basics and Applications. *Membrane and Desalination Technologies*, pp.271-332.
- [67] Shemer, H., Semiat, R. och Hasson, D., 2019. Re-mineralization of desalinated water using a mixture of CO₂ and H₂SO₄. *Desalination*, 467, pp.170-174.
- [68] Mavukkandy, M., Chabib, C., Mustafa, I., Al Ghaferi, A. och AlMarzooqi, F., 2019. Brine management in desalination industry: From waste to resources generation. *Desalination*, 472, p.114187.
- [69] Bluhm, G. och Örnstedt, I., 2003. *Avsaltningsanläggningar I Stockholms Län En Pilotstudie Med Speciell Inriktning På Möjliga Hälsoeffekter Av Algtoxin*. Stockholm: Arbets- och miljömedicin.
- [70] WHO, 2011. *Safe Drinking-water from Desalination*. WHO.
- [71] Naturvårdsverket, 2019. *Vägledning Om 2 Kap. Miljöbalken*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- [72] Folkhälsomyndigheten.se. 2020. *Allmänna Hänsynsregler — Folkhälsomyndigheten*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/tillampa-miljobalken/allmanna-hansynsregler/>> [hämtad 22.07.2020].
- [73] SFS 2020:684. *Miljöbalk (1998:808)*.
- [74] Folkhälsomyndigheten.se. 2020. *Allmänna Hänsynsregler — Folkhälsomyndigheten*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/tillsynsvagledning-miljobalken/>> [hämtad 22.07.2020].
- [75] Naturvårdsverket 2020. *Krav på sakkunskap*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljobedomningar/Specifik-miljobedomning/Kompetenskrav/>> [hämtad 24.07.2020].

- [76] SFS 2020:664. *Förordning (1998:1388) om vattenverksamheter*.
- [77] Lansstyrelsen.se. 2020. *Anmälan Om Vattenverksamhet*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.lansstyrelsen.se/stockholm/miljo-och-vatten/vattenverksamhet/anmalan-om-vattenverksamhet.html>> [hämtad 27.07.2020].
- [78] Skarstedt, A., Gustafsson, J., Hessel Tjell, K., Thorén, A., Fornbacke, E., Höök, I. och Johansson, E., 2007. *Anmälan Om Vattenverksamheter. Handläggningsfrågor*. Miljösamverkan Sverige.
- [79] SFS 2020:635. *Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd*.
- [80] SFS 2018:689. *Lag (2001:182) om behandling av personuppgifter i Skatteverkets folkbokföringsverksamhet*.
- [81] Boverket. 2020. *Lagen Om Allmänna Vattentjänster*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/flera-lagar-reglerar-dagvatten/lagen-om-allmanna-vattentjanster/>> [hämtad 29.07.2020].
- [82] Boverket. 2020. *Att arbeta med PBL*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/att-arbeta-med-pbl/>> [hämtad 29.07.2020].
- [83] Boverket. 2020. *Översiktsplanering vid kust och hav*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/oversiktsplan/allmanna-intressen/hav/>> [hämtad 29.07.2020].
- [84] Boverket. 2020. *Detaljplanering*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/>> [hämtad 29.07.2020].
- [85] Adam, Laurin; Boverket. 2020. E-mail 12 augusti.
- [86] SFS 2020:603. *Plan- och bygglagen (2010:900)*.
- [87] Livsmedelsverket.se. 2019. *Livsmedelsverket*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.livsmedelsverket.se/produktion-handel--kontroll/dricksvattenproduktion/regler-om-dricksvatten#Smaskalig%20dricksvattenproduktion>> [hämtad 30.07.2020].
- [88] *LIVSFS 2013:4, Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*
- [89] Livsmedelsverket, 2014. *Dricksvatten Från Enskilda Brunnar Och Mindre Vattenanläggningar*. Uppsala: Livsmedelsverket.
- [90] Livsmedelsverket.se. 2020. *Livsmedelsverket*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.livsmedelsverket.se/om-oss/lagstiftning1/lagar-om-livsmedel>> [hämtad 29.07.2020].
- [92] Lansstyrelsen.se. 2020. *Tillsyn Av Miljöfarlig Verksamhet*. [online] Available at: <<https://www.lansstyrelsen.se/stockholm/miljo-och-vatten/miljofarlig-verksamhet/tillsyn-av-miljofarlig-verksamhet.html>> [Accessed 4 August 2020].

- [93] Prop. 1997/98:45. *Miljöbalk, del 2*.
- [94] Affluxwater.com. 2020. *Vår Affärsidé » Afflux Water*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.affluxwater.com/foeretaget/var-affaerside/>> [hämtad 04.04.2020].
- [95] Affluxwater.com. 2020. *Lilla Östersjöpaketet - 100L/H » Afflux Water*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.affluxwater.com/produkter/tabla/lilla-oestersjoepaketet/>> [hämtad 04.04.2020].
- [96] Affluxwater.com. 2020. *Lilla Östersjöpaketet - 200L/H » Afflux Water*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.affluxwater.com/produkter/tabla/stora-oestersjoepaketet/>> [hämtad 04.04.2020].
- [97] Lena, Wetterdahl; säljare på Afflux Water. 2020. Intervju 07 juli.
- [98] Affluxwater.com. 2020. *RoZell 20l/h» Afflux Water*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.affluxwater.com/produkter/tabla/rozell-50/>> [hämtad 04.04.2020].
- [99] Bluewater Sverige. 2020. *Om Oss | Bluewater Sverige*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.bluewatergroup.com/sv/om-oss/>> [hämtad 06.04.2020].
- [100] Bluewater Sverige. 2020. *Bluewater PRO | Bluewater Sverige*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.bluewatergroup.com/sv/produkt/bluewater-pro/>> [hämtad 06.04.2020].
- [101] Bluewater Sverige. 2020. *Helhuslösning Bräckt vatten | Bluewater Sverige*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.bluewatergroup.com/sv/helhuslosning-brackt-vatten/>> [hämtad 06.04.2020].
- [102] Nicolas, Delgui Kallmert; International Business Development Manager på Bluewater. 2020. E-mail 25 maj.
- [103] Bluewatergroup.com. 2020. *Bluewater PRO How To Use Guide*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.bluewatergroup.com/wp-content/uploads/2020/04/Bluewater-Pro-how-to-use-guide-140420a2.pdf>> [hämtad 07.04.2020].
- [104] Brava Vattenrening. 2020. *Brava Vattenrening | Stockholm*. [online] Tillgänglig på: <<http://www.bravavattenrening.se/kontakt/stockholm/>> [hämtad 08.04.2020].
- [105] Brava Vattenrening. 2020. *Vattenfilter Dionysos | Stockholm*. [online] Tillgänglig på: <<http://www.bravavattenrening.se/vattenfilter/dionysos/>> [hämtad 08.04.2020].
- [106] Mikael, Granå; säljare på Brava vattenrening. 2020. Telefonsamtal 10 augusti.
- [107] Therese, Olander; VD på Brava vattenrening. 2020. E-mail 13 maj.
- [108] Enwa. 2020. *Enwa Water Technology*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.enwa.se/enwa-group/water-technology>> [hämtad 05.05.2020].
- [109] Enwa. 2020. *Dricksvatten lösningar*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.enwa.se/water-technology/marknadssegment/industri-fastighet/fastighet/dricksvatten-loesningar/avsaltning>> [hämtad 05.05.2020].

- [110] Enwa. 2020. *Östersjöpaketet*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.enwa.se/water-technology/marknadssegment/industri-fastighet/fastighet/dricksvatten-loesningar/avsaltning>> [hämtad 05.05.2020].
- [111] Anders, Wall; sales manager på ENWA. 2020. E-mail 02 juni.
- [112] Swedishgtc.se. 2020. *Swedish GTC AB - Swedish GTC*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.swedishgtc.se>> [hämtad 10.05.2020].
- [113] Swedishgtc.se. 2020. *Blue Marine Black Basic 130 - Swedish GTC*. [online] Tillgänglig på: <<https://swedishgtc.se/blue-marine-produkter/blue-marine-black-basic-130>> [hämtad 10.05.2020].
- [114] Swedishgtc.se. 2020. *Blue Marine Black Basic 220 - Swedish GTC*. [online] Tillgänglig på: <<https://swedishgtc.se/blue-marine-produkter/blue-marine-black-basic-220>> [hämtad 10.05.2020].
- [115] Swedishgtc.se. 2020. *Blue Marine Black Basic 440 - Swedish GTC*. [online] Tillgänglig på: <<https://swedishgtc.se/blue-marine-produkter/blue-marine-black-basic-440>> [hämtad 10.05.2020].
- [116] Peter, Mattsson, CEO på Swedish GTC. 2020. Intervju 18 maj.
- [117] Swedishgtc.se. 2020. *Blue Marine Black Arkipelag - Swedish GTC*. [online] Tillgänglig på: <<https://swedishgtc.se/blue-marine-produkter/blue-marine-arkipelag>> [hämtad 10.05.2020].
- [118] Privat.waterman.se. 2020. *Om Waterman - Vattenrening I 30 År*. [online] Tillgänglig på: <<http://privat.waterman.se/vilka-vi-ar/>> [hämtad 18.05.2020].
- [119] Privat.waterman.se.2020. *RO2V-1*. [online] Tillgänglig på: <<http://webshop.waterman.se/butik/ro2v-1/>> [hämtad 18.05.2020].
- [120] Privat.waterman.se.2020. *RO2V-1*. [online] Tillgänglig på: <<http://webshop.waterman.se>> [hämtad 18.05.2020].
- [121] Lindstaf, M. och Åkerblom, S., 2013. *Den Framtida Havsnivåhöjningens Inverkan På Bebyggelse Och Infrastruktur En Fallstudie Av Värmdö Kommun*. Stockholm: KTH.
- [122] Varmdo.se. 2020. *Värmdö Kommun - Värmdö Kommun*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.varmdo.se>> [hämtad 05.08.2020].
- [123] Värmdö Kommun, 2020. *VA-Översikt 2014*. Stockholm: Värmdö kommun.
- [124] Värmdö Kommun, 2020. *VA-Plan 2014*. Stockholm: Värmdö kommun.
- [125] Sandra, Ek; miljöinspektör på Värmdö Kommun. 2020. Enkät svar 26 april.
- [126] Varmdo.se. 2020. *Prioriterade Förändringsområden (PFO) - Värmdö Kommun*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.varmdo.se/samhalleochtrafik/samhallsplanering/prioriteradeforandringssomraden/pfo.4.5108a8bb16e40e092a3eb806.html>> [hämtad 06.08.2020].

- [127] L.G.L.; ägare av hushållet 1. 2020. Studiebesök 23 juli.
- [128] 1, A., 2020. *Akdolit Magno-Dol CM 1 - Vattenprov - Svensk Vattenanalys AB*. [online] Vattenprov - Svensk Vattenanalys AB. Tillgänglig på: <https://svenskvattenanalys.se/butik/akdolit-magno-dol-cm-1-25kg/?gclid=CjwKCAjwj975BRBUEiwA4whRBz4YL_cST2FQ2DKBJHJw9NM-c4I-iy8JISmIVFMDZh6Uz2pnJpwcqhoCaMkQAvD_BwE> [hämtad 18.08.2020].
- [129] Radasand.se. 2020. *Säkerhetsdatablad*. [online] Tillgänglig på: <<https://radasand.se/contentassets/950fd1deb09e4c88be74d2bb67f94d90/sakerhetsdatablad-2019-05-28.pdf>> [hämtad 17.08.2020].
- [130] T.D; ägare av hushållet 2. 2020. Studiebesök 12 augusti.
- [131] Österåker Kommun, 2020. *VA-Översikt för Österåker kommun- bilaga till VA-plan. 2019*. Stockholm: Österåker kommun.
- [132] Miljö- och hälsoskyddsenheten. 2019. *Generell Information Angående Avsaltningsanläggningar*. [online] Tillgänglig på: <<http://www.cmswds.wetterso.se/Avsaltningsanl.pdf>> [hämtad 02.08.2020].
- [133] Sofia. Nöjd; Miljöinspektör på Österåkers kommun. 2020. E-mail 26 augusti.
- [134] Brfstensnas.se. 2020. *Brf Stensnäs - Om Föreningen*. [online] Tillgänglig på: <<https://brfstensnas.se/foreningen/om-foreningen>> [hämtad 02.08.2020].
- [135] Genova.se 2020. *Skärgårdsnära Stensnäs Udde*. [online] Tillgänglig på: <https://genova.se/nyproduktion/stensnas/> [hämtad 02.08.2020].
- [136] Jörgen. Ydrauw. En av ansvariga för anläggningen i Brf Stensnäs. 2020. Studiebesök 11 augusti.
- [137] Ivt.se. 2020. *Hur Mycket El Drar En Värmepump?*. [online] Tillgänglig på: <<https://www.ivt.se/energipararen/hur-mycket-el-drar-en-varmepump/>> [hämtad 28.08.2020].

Bilaga 1

Frågor till kommuner

1. Email address *

Om respondenten

Frågeformulär

2020-08-25 13:51

2. Hur länge har du jobbat i branschen? *

- 0-5 år
- 5-10 år
- 10-15 år
- 15-20 år
- 21-

3. Vilket kommun jobbar du på? *

4. Vad är din roll på nuvarande arbetsplats? *

Intervjufrågor

5. Har ni kunskap om antal privata avsaltningsanläggningar som finns i kommunen? (kunskap om typ av teknik och produkt/vanliga storlekar/reningskapacitet). På vilket sätt dokumenter detta? *

6. I vilka sammanhang och i viken typ av ärenden kommer ni i kontakt med avsaltningssanläggningar i ert arbete? *

7. Vilken roll och vilket ansvar har miljökontoret? Vilken roll och ansvar har andra delar av kommunen för frågor kopplade till avsaltningssanläggningar? *

8. Bedriver ni någon tillsyn på avsaltningssanläggningar? På vilket sätt? *

9. För ni ett register över avsaltningssystem? Om ja, vilken typ av register, i vilken form finns data? *

10. Vet ni vilka tekniker för avsaltning som används ute hos fastighetsägare? *

11. Vad har ni för kunskap om vattenkvaliteten från avsaltningssystem? *

12. Vad ser ni för förbättringsmöjligheter inom tillsyn/kontakt med verksamhetsutövarna?

13. Är ni remissinstans till bygglov gällande vatten och avlopp utanför verksamhetsområde? *

14. Kommer frågan om avsaltning upp i remissförfarandet? Om ja, hur hanteras den? *

15. Är miljökontoret med i arbetet med framtagande av detaljplaner? Om ja, kommer frågan om avsaltning upp då som tänkt vattenförsörjning? *

16. Vilken kontakt och dialog har ni med tillverkare av avsaltningsanläggningar? *

17. Vilken typ av rådgivning/vägledning skulle ni vilja ha från nationella eller regionala myndigheter (exempelvis SGU/SLV/länsstyrelse/Boverket)? Har ni behov av någon annan typ av stöd? *

18. Vad tycker ni är de största utmaningarna kopplade till avsaltningsanläggningar i er kommun? *

19. Vi söker exempelanläggningar för studiebesök. Finns avsaltningsanläggningar i drift i er kommun, som vi kan få besöka? *

20. Skulle vi kunna få del av er statistik på de anläggningar ni har i ert register? *

21. Har ni några synpunkter? Frågor?

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms

Bilaga 2

Frågor till teknikleverantörer

1. Email address *

Om respondenten

Frågeformulär

2020-08-25 14:03

2. Hur länge har du jobbat i branschen? *

Mark only one oval.

- 0-5 år
 5-10 år
 10-15 år
 15-20 år
 21-

3. Vilket företag jobbar du på? *

4. Vad är din roll på nuvarande arbetsplats? *

Intervjufrågor

5. Hur många avsaltningsanläggningar säljer ni per år? Hur många har ni sålt totalt sedan ni började er verksamhet? *

6. I vilka län/kommun säljer ni flest anläggningar? *

7. Hur många avsaltningsanläggningar säljer ni i Stockholms län? *

8. Vilken är den typiska kunden? (privatperson, restaurang, annan verksamhet?) *

9. Vilken avsättningsanläggning väljs främst av kunden och/eller vilken storlek på anläggninge *

10. På vilket sätt ger ni råd och rekommendationer kring vilken typ av anläggning som kunder ska välja? *

11. Finns det tillfällen då ni avråder kunder från att installera en avsaltningsanläggning? När di *

12. Har ni en serviceorganisation som servar de inrättade anläggningarna? Om ja, vad kostar det ägaren?

13. Är det ett krav från er att den som köper en avsaltningsanläggning även behöver ha ett serviceavtal med er? *

14. Hur ser er service ut? Ingår utbyte av komponenter, provtagning, annat? Vilka parametrar provtas? *

15. Vilken egenkontroll och service behöver fastighetsägaren göra? *

16. Vilka är de vanligaste driftstörningar som rapporteras till er? *

17. Hur hanteras skötsel av avsaltningssystem av kunder? *

18. Vad ser ni för förbättringsmöjligheter inom egenkontroll hos kunden? *

19. Erbjuder ni tekniklösningar för efterbehandling av avsaltat vatten? Återmineralisering, desinficering, polering av vattnet?

20. Rekommenderar ni efterbehandling? *

Mark only one oval.

Ja

Nej

21. Får ni frågor om återmineralisering av avsaltat vatten? *

Mark only one oval.

Ja

Nej

22. Hur ser ni på potentiella risker med algtoxiner i avsaltat vatten? *

23. Vilken kontakt och dialog har ni med miljökontor gällande avsaltningssystem som är i drift idag respektive planeras att byggas? *

24. Vi söker exempelanläggningar för studiebesök. Känner ni till några avsaltningssystem i drift som vi kan få besöka? *

25. Kan jag få ange i rapporten att ert företag har varit med och svarat på detta frågeformulär? *

Mark only one oval.

- Ja
 Nej

26. Har ni några synpunkter? Frågor?
