

Hållbara membran för dricksvatten- beredning

Uppföljning av användning och upphandling av membran
för dricksvattenproduktion

Nashita Moona
Kristin Barkman
Thor Wahlberg
Maria Taoussi
Sandra Åhsberg
Helena Eideborn
Frank Lipnizki

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

RAPPORTENS TITEL	Hållbara membran för dricksvattenberedning. Uppföljning av användning och upphandling av membran för dricksvattenproduktion
TITLE OF THE REPORT	Sustainable membranes for production of drinking water. Monitoring the use and procurement of membranes for drinking water production
FÖRFATTARE	Nashita Moona, Kristin Barkman, Thor Wahlberg, Maria Taoussi, Sandra Åhsberg och Helena Eideborn, Sweco, Frank Lipnizki, Lunds tekniska högskola
RAPPORTNUMMER	2024-7
ANTAL SIDOR	40
SAMMANDRAG	I rapporten undersöks hur användning av membran för dricksvattenproduktion kan göras så hållbar som möjligt när det gäller ekonomi, miljöpåverkan och prestanda. Projektet har identifierat driftfaktorer som påverkar livslängd och kapacitet hos membranen. Med kunskap om gynnsamma driftbetingelser kan rätt krav ställas vid upphandling av en membrananläggning.
SUMMARY	The report examines how the use of membranes for drinking water production can be made as sustainable as possible in terms of economy, environmental impact and performance. This is done through interviews with facility owners and water companies that currently use the technology in their water works.
SÖKORD	Membranfiltrering, ultrafiltrering, nanofiltrering, hållbarhet, gröna membran, upphandling, driftoptimering
KEYWORDS	Membrane filtration, ultrafiltration, nanofiltration, sustainability, green membranes, procurement, operational optimization
MÅLGRUPPER	VA-ingenjörer, dricksvattenproducenter, konsulter
RAPPORT	Finns att hämta hem som pdf från Vattenbokhandeln. https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/
UTGIVNINGÅR	2024
UTGIVARE	©Svenskt Vatten AB
REFERENS	Moona N., Barkman K., Wahlberg T., Taoussi M., Åhsberg S., Eideborn H. och Lipnizki F. (2024). Hållbara membran för dricksvattenberedning. Uppföljning av användning och upphandling av membran för dricksvattenproduktion. SVU-rapport 2024-7. Stockholm: Svenskt Vatten.

Om projektet

PROJEKTNUMMER	23-101
PROJEKTETS NAMN	Hållbara membran för dricksvattenberedning
PROJEKTETS FINANSIERING	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Membranteknik för dricksvattenberedning är populärt i Europa på grund av dess funktion och yteffektivitet. I Sverige finns det för närvarande ett begränsat antal sådana anläggningar men intresset och investeringar i nya anläggningar ökar. För att få kostnadseffektiva anläggningar som producerar dricksvatten av hög kvalitet är det viktigt att identifiera faktorer som påverkar prestanda och livslängd av membran. Det finns därför ett behov inom den svenska VA-branschen att lära av andra europeiska VA-organisationers erfarenheter från membranläggningar.

Projektet har haft som syfte att identifiera driftfaktorer som påverkar livslängd och kapacitet hos membran samt att hjälpa till att ställa rätt krav vid framtida upphandling av membran. Information till undersökningen samlades in genom enkäter och intervjuer med VA-organisationer i England, Skottland, Nederländerna, Frankrike, Luxemburg och Tyskland samt genom intervjuer med tillverkare och leverantörer.

Författarnas förhoppning är att rapporten ska bidra med kunskap till den svenska dricksvattenbranschen och ge möjlighet till nya insikter från etablerade dricksvattenproducenter med lång erfarenhet av membranfiltrering.

Författarna vill tacka personal och ansvariga vid de vattenverk och VA-organisationer som generöst avsatte tid för att besvara vår enkät och deltog i intervjuer. Ett särskilt tack till Dr. Graeme Pearce för hans hjälp med att etablera kontakt med nyckelpersoner från olika VA-organisationer, vilka bidrog med värdefull expertis. Projektgruppen vill också tacka referensgruppen bestående av medarbetare hos Sydvatten, Norrvatten, Trollhättan Energi, VIVAB samt Uppsala Vatten.

Största delen av rapporten har författats av Nashita Moona och Kristin Barkman, med stöttning från Thor Wahlberg, Maria Taoussi och Sandra Åhsberg. Prof. Frank Lipnizki har bidragit med ett specifikt avsnitt om aktuell forskning kring membranteknik.

Den här vägledningen har initierats och finansierats av Svenskt Vatten Utveckling (SVU) inom ramen för riktade utlysningar och insatser för angelägna kunskapsbehov. Syftet är att utöver det öppna ansökningsförfarandet till SVU kunna bedriva ett proaktivt och specifikt arbete för att tillgodose angelägna kunskapsbehov för VA-branschen och Svenskt Vattens medlemmar. Del av projektet har finansierats av Swecos interna utvecklingsfond.

Innehåll

Förord.....	2
Sammanfattning.....	4
Summary	5
1 Inledning.....	6
1.1 Syfte och mål.....	6
1.2 Metod.....	6
1.3 Avgränsning	7
2 Översikt och teori	8
3 Uppgifter om deltagande anläggningar, vattenbolag och leverantörer/tillverkare	9
3.1 Deltagande dricksvattenanläggningar	9
3.2 Deltagande vattenbolag i England och Luxemburg.....	11
3.3 Deltagande leverantörer/tillverkare.....	13
4 Resultat – dricksvattenanläggningar	14
4.1 Design och typ av anläggning	14
4.2 Råvattenkvalitet och förbehandling	15
4.3 Membranens placering i processen	16
4.4 Underhåll av membran.....	16
4.5 Driftavbrott.....	18
4.6 Driftbetingelser kopplat till livslängd	18
4.7 Pilotkörning.....	19
4.8 Upphandling av projektering och entreprenad	19
4.9 Miljömässig hållbarhet.....	19
5 Resultat – vattenbolag	20
5.1 Underhåll av membran.....	20
5.2 Byte av membranmoduler	21
5.3 Driftavbrott	21
5.4 Pilotkörning.....	21
5.5 Upphandling	22
5.6 Serviceavtal	22
5.7 Miljömässig hållbarhet.....	23
5.8 Utveckling och trender på den brittiska membranmarknaden	23
5.9 Trender för membranmaterial i Europa	24
6 Resultat – leverantörer och tillverkare	25
6.1 Kravställning från leverantören	25
6.2 Stöd och optimering.....	25
6.3 Miljömässig hållbarhet.....	25
7 Miljömässig hållbarhet – en framtidsspaning	27
7.1 Polymera membran	27
7.2 Oorganiska membran	29
7.3 Återvinning och återanvändning av membranmoduler	30
7.4 PFAS och framtiden för membrantillverkning.....	30
8 Upphandling av membran för svenska anläggningar	32
8.1 Pilotförsök.....	32
8.2 Kravställning.....	32
8.3 Byte av membran	33
8.4 Hållbarhet	33
Referenser	34
Bilaga A Enkät.....	37

Sammanfattning

I rapporten undersöks hur användning av membran för dricksvattenproduktion kan göras så hållbar som möjligt när det gäller ekonomi, miljöpåverkan och prestanda. Projektet har identifierat driftfaktorer som påverkar livslängd och kapacitet hos membranen. Med kunskap om gynnsamma driftbetingelser kan rätt krav ställas vid upphandling av en membranläggning.

Användningen av membran för dricksvattenberedning ökar i Sverige, och många dricksvattenproducenter planerar stora investeringar i nya membranläggningar. Till fördelarna med membran hör bland annat att de är effektiva som mikrobiella barriärer, och att de helt eller delvis kan ersätta kemisk fällning. Tätare membran som nanofilter kan användas för avskiljning av organiska mikroföroreningar som PFAS och läkemedelsrester, och mycket täta membran kan användas för avsaltning. Genom att optimera driftbetingelserna i membranläggningen kan vattenkvaliteten förbättras samtidigt som resurshushållning och hållbarhetsaspekter upprätthålls.

Information till undersökningen samlades in dels genom enkäter och intervjuer med VA-organisationer i England, Skottland, Nederländerna, Frankrike, Luxemburg och Tyskland där vattenverken har membranläggningar i drift, dels genom intervjuer med tillverkare och leverantörer. Den primära uppfattningen när det gäller driftparametrar visade sig vara att man följer leverantörernas rekommendationer för att upprätthålla leverantörsgarantier. Anläggningsägare undviker därför försök att ändra parametrar eller optimera driften.

Tvätt av membran kan ha stor påverkan på membranens prestanda. Enligt de deltagande VA-organisationerna föreslår leverantörer av ultrafiltermembran ofta användning av koagulanter för att stabilisera membranens drift. Detta minskar behovet av kemiskt förstärkt backspolning vilket sparar tvättkemikalier och minskar produktionsförlusterna. För tvätt av membran använder de flesta anläggningar i undersökningen en kombination av lut, natriumhypoklorit och svavel- eller saltsyra.

Dricksvattenproducenterna poängterar vikten av att driva pilotanläggningar med övervakning av olika drift- och designaspekter, gärna under flera år, innan det framtida vattenverket projekteras.

Trots att det är välkänt att membranläggningar har stor miljöpåverkan främst från hög energi- och kemikalieförbrukning uppger majoriteten av anläggningsägarna att deras val av en specifik leverantör främst har berott på garantier som tillhandahålls; hållbarhet har inte varit en huvuddrivkraft. Däremot har man hanterat hållbarhetsperspektivet indirekt genom att premiera lång livslängd samt låg kemikalie- och energi-användning. Andra betydande drivkrafter vid val av leverantör var generella driftkostnader och leverantörens ekonomiska ställning samt tekniska och professionella kapacitet.

Tillverkningen av membran medför också stor miljöpåverkan, dels genom användningen av skadliga lösningsmedel, dels vid tillverkningen av polymererna som membran består av. Forskning pågår både för att kunna byta ut toxiska lösningsmedel och för att försöka hitta mer miljömässigt hållbara polymerer.

Rapporten ger tips och förslag på aspekter som är viktiga att tänka på vid utformning av förfrågningsunderlag för membranläggningar, bland annat hur VA-organisationer i Sverige ska komma fram till vilka membran som bäst passar i det specifika fallet och hur de ska gå till väga för att konkurrensutsätta leverantörerna.

Summary

The report examines how the use of membranes for drinking water production can be made as sustainable as possible in terms of economy, environmental impact and performance. This is done through interviews with facility owners and water companies that currently use the technology in their water works.

The use of membranes for drinking water production is increasing in Sweden with several drinking water producers planning large investments in new membrane facilities. Some of the advantages with membranes are that they are effective microbial barriers and that they can potentially replace chemical flocculation and separation. Nanofilters can be used for separating organic micropollutants such as PFAS and pharmaceuticals, reverse osmosis membranes can be used for desalination. By optimizing operating conditions water quality can be improved while resource management and sustainability aspects are maintained.

Data for the report was collected partly through questionnaires and interviews with European drinking water producers operating membrane plants, partly through interviews with membrane suppliers and manufacturers. The results show that the primary approach regarding operating parameters is to follow suppliers' recommendations. This is done to ensure that supplier warranties are maintained. Plant owners therefore avoid attempts at optimizing operation or changing parameters without consulting the supplier.

Washing of the membranes is a critical operating step that can have major impact on the performance of the membranes. According to participating water organizations, UF membrane suppliers often suggest the use of coagulants to stabilize membrane operation. This reduces the need for chemically enhanced backwash which saves washing chemicals and reduces production losses. Most participating facilities use a combination of the chemicals: lye, sodium hypochlorite and either sulfuric acid or hydrochloric acid for washing.

The drinking water producers emphasize the importance of operating pilot plants, preferably for several years, before final installation of the membranes. Operation of pilot plants usually include the testing of various operational and design aspects.

Although it is well known that membrane plants have a large environmental impact, mainly from high energy and chemical consumption, the majority of participating plant operators state that their choice of a specific supplier has mainly been made based on guarantees provided by the supplier. Sustainability has thus not been a major driving force. Instead, the sustainability perspective has been managed indirectly by rewarding long lifetime, low chemical use and low energy consumption. Other driving forces were general operating costs and the supplier's financial position, as well as technical and professional capacity.

The manufacturing of the membranes also has large environmental impact. The two main factors being the use of harmful solvents and the manufacturing of the polymers that builds up the membranes. Ongoing research focus on replacing toxic solvents with more sustainable counterparts as well as trying to find more sustainable polymers.

In conclusion, suggestions are given on aspects that are important to consider when preparing procurement documents for membrane installations as well as how Swedish water producers can evaluate which membranes are best suited for a particular installation, and finally how they proceed to expose suppliers to competition.

1 Inledning

Membran för dricksvattenberedning används i allt större utsträckning i Sverige och flera svenska dricksvattenproducenter planerar stora investeringar i nya membran-anläggningar. Utvecklingen har flera orsaker:

- Membran är effektiva avskiljande mikrobiella barriärer.
- Membran kan helt eller delvis ersätta processer baserade på kemisk fällning och därmed minska kemikalieanvändningen och behovet av att hantera vattenverksslam.
- Tätare membran som nanofilter kan användas för avskiljning av organiska mikro-föroreningar som PFAS, bekämpningsmedel, läkemedelsrester men även hårdhet, uran, och andra metaller.
- Mycket täta membran (RO) kan användas för avsaltning.

Oavsett användningsområde har de flesta en önskan om att användningen av membran ska göras så hållbar som möjligt avseende ekonomi, miljöpåverkan och prestanda över tid. En lång livslängd för membranen kan vara grundläggande för membrananläggningens påverkan på miljö och ekonomi. Förutsatt att en förlängning av livslängden görs med hållbara metoder.

1.1 Syfte och mål

Syftet med föreliggande rapport är att identifiera faktorer, framför allt sådana som är kopplade till driften av membran, som väsentligt påverkar membranens livslängd och totala kapacitet över en livscykel. Detta för att kunna optimera driftbetingelser så att god vattenkvalitet hålls samtidigt som membranen lever upp till höga krav på resurshushållning och andra hållbarhetsaspekter. Om gynnsamma driftbetingelser kan identifieras kan rätt skallkrav ställas redan vid upphandling av en membrananläggning.

För att tillgodose en hållbar användning av membran finns förutom driftbetingelser andra faktorer som bör beaktas vid upphandling av membran:

- Krav och garantier
- Möjlighet till byte till andra typer av membranmoduler
- Återanvändning av uttjänta membranmoduler för annan applikation
- Alternativa produktions- och materialval för gröna/hållbara membran
- Hur pilottester bör genomföras.

Dessa områden ska också belysas i rapporten.

1.2 Metod

Information om faktorer som påverkar driftbetingelser, hur membrananläggningar drivs samt frågor som kan beaktas vid upphandling har inhämtats dels från fristående vattenverk med membrananläggningar i drift, dels från vattenbolag som äger flera vattenverk med membrananläggningar. Anläggningsägare till de förstnämnda, fristående vattenverken, ombads fylla i ett frågeformulär vilket sedan följdes upp med en telefonintervju. Personal från vattenbolagen med flera vattenverk har enbart svarat på frågor via längre telefonintervjuer för att ge en djupare inblick i deras erfarenheter och synpunkter. Indelning i de två olika grupperna syftar till att belysa olika perspektiv på membrananläggningarna och öka förståelsen för såväl drift och underhåll som upphandling och övergripande frågeställningar. Intervjuer har hållits av medarbetare

på Sweco. De intervjuer som hölls med vattenbolag (England och Luxemburg) organiserades av Dr. Graeme Pearce som är membrankonsult i England. Han medverkade också vid dessa intervjuer.

För att ytterligare belysa frågeställningarna har leverantörer och tillverkare också kontaktats. Dessa har främst tillfrågats om kravställning från deras sida för att garantier ska gälla samt vilken typ av stöd de erbjuder för optimering av driften. Denna grupp har också fått frågor kring vilka krav som ställs vid upphandling från beställarna, garantier samt koncept för hantering av moduler som inte längre används för dricksvattenproduktion.

Leverantörernas/tillverkarnas arbete med materialval och kemikaliehantering ur hållbarhetssynpunkt har också varit föremål för granskning för att få en holistisk bild av industrins praxis och utmaningar. Denna inblick i vilka områden branschen forskar inom har Professor Frank Lipnizki bidragit med.

Swecos projektgrupp har hjälpt till att sammanfatta de slutsatser som kunde dras från de många intervjuerna och bidrog med sina expertkunskaper för att förbättra de insikter som redovisas i denna rapport.

1.3 Avgränsning

För applikationen dricksvattenberedning finns en rad olika kombinationer av membran-teknik, modultyp och användningsområde. Figur 1.1 visar en dricksvattenanläggning med membranfilter. Studien har fokuserat på användningen av ultrafiltreringsmembran (UF-hålfiber) och till viss del nanofiltreringsmembran (NF-spirallindade). För att välja ut anläggningar till studien har kombinationer sammanfattade i Tabell 1.1 efterfrågats.



Figur 1.1

Dricksvattenanläggning med installerade membranfilter.

Kategori	Teknik	Modultyp	Huvudsaklig avskiljning/syfte
1	UF "slutsteg"	Hålfiber	Mikrobiologisk barriär
2	UF	Hålfiber	Organiskt material och mikrobiologisk barriär
3	UF + fällning	Hålfiber	Organiskt material och färg
4	NF	Hålfiber	Organiskt material och färg
5	NF	Spirallindat	Organiskt material och färg

Tabell 1.1

Efterfrågade membrankombinationer.

2 Översikt och teori

Membranteknik är en av de mest framträdande metoderna för att garantera en konstant hög dricksvattenkvalitet även när det finns betydande variationer i råvattenkvaliteten. Tekniken för membranfiltrering bygger på förmågan att selektivt skilja ut olika komponenter baserat på deras storlek eller kemiska egenskaper. Detta gör tekniken särskilt värdefull för ändamål som vattenrening och avsaltningsprocesser av havsvatten. En av de mest betydelsefulla fördelarna med membran är möjligheten att designa dem för hög selektivitet vilket gör att det går att uppnå mycket höga nivåer av ”renhet” i den färdiga produkten.

Trots de tydliga fördelarna har membrantekniken också ett antal utmaningar. En av de största är att hitta en balans mellan membranens tekniska livslängd och prestanda. Membranen blir förorenade med tiden vilket minskar deras effektivitet och kräver kostsamma rengöringsprocesser eller utbyte. Denna nedsmutsning är en komplex process som påverkas av många faktorer, bland annat vilken typ av vatten som behandlas och förekomsten av olika föroreningar. En annan utmaning är att hitta de optimala driftförhållandena som maximerar membranets prestanda utan att kompromissa med dess hållbarhet. Detta kräver ofta noggrann kontroll av processparametrar som tryck, temperatur och flödes hastighet.

Nedan listas ett antal centrala parametrar som beskriver funktionen hos en membranläggning och som används i föreliggande rapport. För djupare förståelse av membrantekniken och hur membran används i dricksvattenproduktion, se SVU-rapport 2020–4 *Membranfiltrering för dricksvattenberedning – en kunskapssammanställning* (Lidén 2020).

Flux är ett mått på volymen vätska som filtreras genom membranet per tids- och ytenhet, vanligen uttryckt i liter per timme och kvadratmeter.

Tryckfall refererar till tryckförlusten som uppstår på grund av skjuvkrafter mellan vattenflödet och membranytan, speciellt vid tvärströmsfiltrering, och mäts som tryckskillnaden mellan inlopp och utlopp i membranmodulen. Denna indikator hjälper till att övervaka beläggningar på membranet.

Backspolning (BW) utförs för att motverka membranfouling. Kan utföras med permeat (hydraulisk backspolning) eller med tillsats av kemikalier (kemiskt förstärkt backspolning, CEB).

Cleaning in place (CIP) är en annan form av tvätt. En längre, mer statisk tvätt i vilken membranmodulen och kringliggande rördelar fylls med permeat innehållande tvättkemikalier och sedan får stå i en eller flera timmar. En CIP kan utföras med olika kemikalier och tar längre tid än kemisk backspolning.

Permeabilitet är ett mått på hur väl ett membran släpper igenom vatten i förhållande till det tillämpade trycket och används för att bedöma membranbeläggning och effektiviteten av rengöringsrutiner. Det är motsatsen till *resistans*, som beskriver membranets och beläggningens motstånd mot vattenflöde.

Koncentrat är den vätskeström som berikats med de ämnen som inte passerar genom membranet vid tvärströmsflöde.

3 Uppgifter om deltagande anläggningar, vattenbolag och leverantörer/tillverkare

I syfte att samla information och erfarenheter från drift av anläggningar som använder membranteknik för vattenrening, upprättades en enkät med frågor kring drift av membranläggningar. Enkäten (Bilaga A) innehöll frågor avseende anläggningarnas utformning, drift och underhåll, pilotkörning, upphandling samt om och hur miljöaspekter beaktats i projekten. Enkäten skickades ut till ett antal anläggningsägare i Europa, främst till sådana vattenverk som använder ultrafilter för ytvattenrening. Anläggningarna skulle också helst ha varit i drift ett antal år så att drifterfarenheter kunde dras. Deltagande anläggningar redovisas i Tabell 3.1. Efter att personalen svarat på enkäten följdes kontakten upp med ett digitalt möte och intervju för att säkerställa och förtydliga svaren.

Förutom anläggningsägare av vattenverk med membran har vattenbolag i England och Luxemburg kontaktats. Dessa bolag har flera vattenverk med membrantillämpning inom sina respektive organisationer och personal som arbetar, eller har arbetat, i dessa har intervjuats tillsammans med en engelsk konsult (Graeme Pearce) som har ett stort kontaktnät i membranbranschen. Vattenbolag som intervjuats beskrivs i avsnitt 3.2.

Slutligen har leverantörer och tillverkare av membran för dricksvattenrening kontaktats och intervjuats för att belysa upphandlingsfrågan från deras perspektiv, bland annat avseende garantier, driftstöd och hållbarhetsaspekter. Deltagande företag redovisas i avsnitt 3.3.

3.1 Deltagande dricksvattenanläggningar

I Tabell 3.1 redovisas kortfattat de dricksvattenanläggningar som svarat på utskickad enkät med efterföljande intervju. Enkät svar och information från intervjuerna redovisas i kapitel 4.

Tabell 3.1

Sammanfattad information om dricksvattenanläggningar som deltagit i undersökningen; enkät och intervju.

Ref	Anläggning, land, driftsatt år	Typ av råvatten	Om-/till-/nybyggnad	Huvudsyfte / applikation	Anläggningens processteg	Typ av membran	Kapacitet m ³ /dygn ¹
1	WAG Nordeifel mbH (Roetgen) Tyskland 2004	Ytvatten	Ombyggnad	Mikrobiologisk barriär Mangan-/järnreduktion	1. Mekanisk förfiltrering 2. Flockning 3. Ultrafiltrering 4. Kalkfilter 5. Desinfektion	Ultrafilter	144 000
2	Usine élévatoire Clermont-Ferrand Auvergne Métropole Frankrike 2015	Ytvatten ²	Nybyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Ox. av järn och mangan 2. Avlägsnande av org. material med kol (PAC) 3. Ultrafiltrering 4. Klorering 5. Remineralisering	Ultrafilter	50 000

Ref	Anläggning, land, driftsatt år	Typ av råvatten	Om-/till-/nybyggnad	Huvudsyfte / applikation	Anläggningens processteg	Typ av membran	Kapacitet m ³ /dygn ¹
3	Jan Lagrand WTW Heemskerck Nederländerna 1999	Ytvatten	Nybyggnad	Kemisk barriär Avsaltning	1. Trumfilter 2. Koagulant 3. Sedimentering 4. Uppströms snabbsandfilter ³ 5. Ultrafiltrering 6. Buffer 7. Omvänd osmos	Ultrafilter	48 000 ⁴
4	Broadford WTW Skottland 1998	Grundvatten	Tillbyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Förfiltrering 2. Nanofiltrering 3. pH-justering 4. Desinfektion	Nanofilter	650
5	Assynt WTW Skottland 2010	Grundvatten	Nybyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Mikrosilar 2. pH-justering 3. In-line koagulering (PAC) 4. UF (primär) 5. UF (sekundär ⁵) 6. Desinfektion 7. pH-justering	Ultrafilter	20 500
6	Backies WTW Skottland 2004	Grundvatten	Tillbyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Mikrosilar 2. pH-justering 3. In-line koagulering (PAC) 4. UF (primär) 5. Desinfektion 6. pH-justering	Ultrafilter	3 300
7	Balmichael WTW Skottland 2011	Grundvatten från borrhål	Nybyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Mikrosilar 2. pH-justering 3. UF (primär) 4. UF (sekundär) 5. Desinfektion	Ultrafilter	3 443
8	Innerleithen WTW Skottland 2012	Grundvatten från borrhål	Nybyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Mikrosilar 2. pH-justering 3. UF (primär) 4. Desinfektion 5. pH-justering	Ultrafilter	2 000
9	Inverness Loch Ashie WTW Skottland 2002	Grundvatten från borrhål	Nybyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Mikrosilar 2. pH-justering 3. In-line koagulering (PAC) 4. UF (primär) 5. UF (sekundär) 6. Desinfektion 7. pH-justering	Ultrafilter	38 500
10	Ullapool WTW Skottland 2008	Grundvatten från borrhål	Nybyggnad	Mikrobiologisk barriär	1. Mikrosilar 2. pH-justering 3. UF (primär) 4. Desinfektion 5. pH-justering	Ultrafilter	1 460

¹ Producerad mängd permeat per dygn för hela anläggningen, vissa anläggningar har efterföljande RO så det processteg som redovisas i tabellen kan producera ett större flöde beroende på RO-stegets recovery.

² Brunnsförlagd pumpning.

³ Förbehandling placerad i Andijk PWN, där det senare transporteras 60 km i dubbelrör Ø1400 mm innan det behandlas i membranläggningen.

⁴ Producerad mängd permeat avser hela anläggningen, UF-permeatmängd okänd (RO efterföljande behandlingssteg).

⁵ Sekundär UF används för att hantering av rejekt från BW.

3.2 Deltagande vattenbolag i England och Luxemburg

Intervjuer genomfördes med representanter från sex engelska vattenbolag samt en processtekniker vid ett nytt membranvattenverk i Luxemburg. De deltagande vattenbolagen South West Water, Wessex Water, United Utilities, Three Valley's Water och Thames Water, påbörjade implementeringen av membrantechnik i sina beredningsprocesser från tidigt 1990-tal och fram till 2010. Personerna som intervjuats var direkt involverade antingen vid igångsättningen av membranprocesserna på sina respektive vattenverk eller vid design, idrifttagning och pilotkörning vid en eller flera anläggningar. Detta innebär att informationen/resultaten från intervjuerna inte är bundna till en specifik anläggning. Deltagarna har inte svarat på enkäten utan bidrog i stället med sina kunskaper och erfarenheter via djupgående intervjuer som varade mellan en och två timmar. En sammanställning av dessa intervjuer presenteras nedan, medan mer ingående uppgifter för specifika fokusområden såsom driftoptimering, upphandling och underhåll finns att läsa i kapitel 5.

3.2.1 Bristol Water

En intervju genomfördes med en tidigare projektledare för Bristol Water. Han är för närvarande anställd på Mott MacDonald (konsultbolag) men under 2001 övervakade han introduktionen av membrantechnik åtta grundvattenverk. Diskussionen kretsade kring denna fallstudie vid Bristol Water för att illustrera implementeringen av UF-membransystemet HYDRAcap™ för att uppfylla brittiska bestämmelser om Cryptosporidium. Initiativet inleddes 2001 i och med dåvarande oro för Cryptosporidiumutbrott. Vid den tiden ansågs inte UV-behandling lämplig och fokus flyttades till ultrafiltrering eller nanofiltrering. Intervjun belyste idrifttagning samt drift och underhåll av membranläggningarna. Anläggningarna upplevdes hållbara med relativt få fiberbrott, men ibland krävdes pinning, vilket är en metod för att täppa till trasiga membranfiber. Anläggningarna har fungerat bra och utmärkt vattenkvalitet har uppnåtts sedan starten utan några fall av Cryptosporidium. Membranen byttes ut efter 9 år.

3.2.2 South West Water

För South West Water intervjuades en person som har omfattande praktisk erfarenhet från South West Water. Denna person, som för tillfället är anställd hos Nanostone, ett företag specialiserat på tillverkning av keramiska membran, hade tidigare en central roll i driftsättningen av en pilotanläggning. Efter framgångsrik drift av pilotprojektet, övergick personen till rollen som processingenjör vid Mayflowers vattenreningsverk, vilket är känt för sin användning av keramiska membran. Vattenverket färdigställdes 2018 med en kapacitet på 90 000 m³/dag och består av en beredningsprocess med suspenderat jonbyte (SIX®), inline-koagulering (ILCA®) och keramisk mikrofiltrering (CeraMac®, keramiska membran från membranstillverkare PWNT, Nederländerna). Intervjun fokuserade på fördelarna med keramiska membran jämfört med PES (polyetersulfon)/PVDF (polyvinylidenfluorid)-membran. Vid intervjun framkom att South West Water hade dålig erfarenhet från två anläggningar med polymera membran, som så småningom har tagits ur drift, och därför specifikt valt keramiska membran till vattenverket Mayflower.

Vid intervjun framhölls vikten av tester under alla säsonger vid pilotkörning. Mayflowers pilotanläggning testades under flera år med olika förbehandlingssystem, kemikaliedosering, kemisk rengöring och flux. Resultaten från piloten visade att de keramiska membranerna alltid kunde återställas efter en störning och att de vid behov kunde utsättas för tuffa kemiska rengöringsförhållanden och aggressiv backspolning med högt flöde upp till 500 l/mh (liter per kvadratmeter och timme) eller till och med 1 000 l/mh. I nästan alla fall behöver keramiska membran endast kemisk förstärkt backspolning (CEB) medan polymera membran vanligtvis även behöver periodisk Clean-in-Place (CIP) vilket

innebär mycket längre stilleståndstid. Två nackdelar med keramiska membran nämndes: de är känsliga för löst mangan i vattnet (det är även polymera membran) och rack med keramiska membran är mycket tunga och kräver mer av stålkonstruktionerna.

3.2.3 Wessex Water

Vid intervjutillfället deltog två nyckelpersoner från Wessex Water. De berättade om tre vattenverk i västra England – Corfe Mullen, Friar Waddon och Washpool – som implementerade tryckmembransystem efter ett *Cryptosporidium*utbrott på 1990-talet. Vattenverken behandlar grundvatten med påverkan av ytvatten och måste kunna avlägsna *Cryptosporidium*parasiter som endast är 1 mikrometer stora. Anläggningarna har tvåstegsfiltrering med lamellsedimentering för förtjockning innan det andra filtreringssteget.

Upphandling av anläggningarna baserades på en modell från Institution of Chemical Engineers (IChemE, en professionell organisation för kemiingenjörer) Red Book, vilket innebär ett kontrakt för design och byggnation till ett fast pris. Wessex Water tog, i samarbete med konsulter, fram en referensdesign för att kunna ta emot anbud och valde därefter MEMCOR® (en membranleverantör som numera ingår i DuPonts portfölj) som leverantör av membrantechniken. MEMCOR®s membransystem blev en integrerad del i det övergripande byggkontraktet som tecknades med den huvudentreprenör som utsetts för projektet.

Wessex Water noterade att kvaliteten på de ursprungliga PP-modulerna från MEMCOR® försämrades med tiden vilket de tror beror på att företaget ändrade fokus till PVDF-membran. Alla anläggningar inom Wessex Water har nu bytt till PVDF-membran, vilket medförde en betydande kostnad eftersom modulerna har olika krav på processutformningen. Sammantaget anser Wessex Water att deras projekt har varit prisvärda med god livslängd för membranen, som i vissa fall översteg 10 år. Membranprocesserna skulle kunna ersättas med UV vid uppnådd livslängd eftersom UV-desinfektion nu för tiden anses vara en tillräcklig behandling för *Cryptosporidium*. Wessex Water kommer dock fortsätta att använda membran för anläggningar som behöver både avskiljning av *Cryptosporidium* och minskning av turbiditet.

3.2.4 United Utilities

Denna intervju fokuserade på två vattenverk vid namn Godley (i drift sedan 2008 med en kapacitet på 90 000 m³/d) och Ennerdale (i drift sedan 2000 med en kapacitet på 57 000 m³/d). Ennerdale avvecklades för ungefär ett år sedan. Båda de ursprungliga anläggningarna fungerade bra men hade hög risk för *Cryptosporidium* på grund av dålig avskiljning av turbiditet och otillräcklig desinfektion. De trycksatta, prefabricerade systemen inkluderar automatiserad backspolning och integritetstestning för membran-system. Ennerdale använde de ursprungliga PP-membranen från MEMCOR® (inte uppgraderad till PVDF och stängde 2022) medan Godley bytte till PVDF-membran. Båda anläggningarna fungerade tillfredsställande men har haft vissa problem med påväxt.

United Utilities anläggningar som installerades mellan 2000 och 2010 har alla haft ytvatten som råvatten. De anläggningar som byggts senare har använt grundvatten som råvatten och där har PVDF-membran från Pall Corporation (membranleverantör) valts vilka har visat sig ha en enastående låg fiberbrottsfrekvens. United Utilities meddelar att de har varit mycket besvikna över att Pall Corporation har avslutat membranverksamheten i Europa och avvecklat sitt supportkontor i Storbritannien. Pall-anläggningarna, som byggts sedan 2015, kommer att tas ur drift när modulernas livslängd uppnåtts och systemen kommer att ersättas med UV-ljus eftersom grundvattnet här anses utgöra en mycket låg risk för mikrobiologisk förorening.

3.2.5 Thames Water

Vid intervjun med personal från Thames Water diskuterades en anläggning med UF-membran från Pentair, modell XO 2000 horisontell installation. Vattenverket ligger i North Orpington i östra London och har ett ytvattenpåverkat grundvatten som råvatten. Thames Water har vid tre av sina grundvattenverk väster om London, där Dorney är den största, installerat MEMCOR®-membran. Dessa anläggningar var initialt försedda med MEMCOR® PP-membran, men mellan 2012 och 2016 skedde en uppgradering där membranerna ersattes med PVDF-membran. Det är värt att poängtera att denna övergång från PP till PVDF-membran i Storbritannien speglar en unik händelseutveckling. Denna uppgradering var en direkt konsekvens av de produktionsproblem som MEMCOR® hade med sina PP-membran.

Vid intervjun konstaterades att MEMCOR®s leverantörsstöd har minskat och Pall Corporation stöder inte längre projekt i Europa och har stängt sitt kontor i Storbritannien. Detta gör att alla anläggningar med membran från MEMCOR® och Pall Corporation kommer att ersättas med alternativ teknik när membranens livslängd uppnåts. Ett visst intresse uttrycktes, från Thames Water, för möjligheten att använda keramiska membran i framtiden.

3.2.6 Three Valley's Water

Three Valley's Water har installerat UF-membran vid Clay Lane-vattenverk, som försörjer en befolkning på 750 000 i norra London, för att skapa en barriär mot *Cryptosporidium*. Inför projekteringen utfördes en noggrann undersökning av etablerade behandlingstekniker och membranteknik ansågs vara den enda lösningen som kunde garantera en acceptabel avskiljning, och ultrafiltrering som den mest kostnadseffektiva lösningen för den specifika anläggningen. Vid detta vattenverk är membranerna installerade som ett slutligt beredningssteg, mellan högttryckspumparna och vattenreservoarerna.

3.2.7 IWW Water Centre/SEBES, Luxemburg

Inför uppförandet av ett nytt vattenverk i Eschdorf, Luxemburg, gav vattenbolaget Des Eaux du Barrage d'Esch-sur-Sûre (SEBES) företaget IWW Water Center i Mülheim, Tyskland, i uppdrag att utföra omfattande förberedande arbete, inklusive långsiktiga försök i pilotskala. Vid denna intervju deltog en person som var anställd vid IWW och som deltog i eller assisterade med driften av pilotanläggningen. Under loppet av sex år undersöktes olika beredningsprocesser som alla inkluderade membranteknik. Olika för- och efterbehandlingssteg, olika membrantyper och membranmaterial samt även konventionella beredningsprocesser jämfördes och utvärderades. Intervjun fokuserade på driften av pilotanläggningen. Det nya vattenverket kommer att producera 110 000 m³/dag. Råvattnet har problem med alger, näringsämnen och mikroföroreningar. Detta gjorde att det förutom UF-membran kommer att ha ett tvåstegs GAK-filter (granulerat aktivt kol).

Processen i det nya vattenverket ser till slut ut enligt följande:

Förfiltrering → koagulering över UF-membran → alkaliskt filter → O₃ → Biofilter → GAK-filter → UV-ljus

3.3 Deltagande leverantörer/tillverkare

De flesta tillfrågade leverantörer och tillverkare har avböjt att svara på frågor via mejl eller medverka vid intervjuer med hänvisning till sekretess eller "vad får vi ut av det?". Endast Pentair och DuPont har gått med på att bli intervjuade och ge perspektiv från leverantörs- och tillverkarsynpunkt.

4 Resultat – dricksvattenanläggningar

I detta kapitel summeras erfarenheterna från besvarade enkäter och intervjuade anläggningsägare. Svaren har sammanställts i följande kategorier:

- Design och typ av anläggning
- Råvattenkvalitet och förbehandling
- Underhåll av membran
 - Tvättkemikalier
 - Tvättfrekvens; backspolning, CEB och CIP
 - Övervakning
 - Avlopp och koncentrat
- Driftavbrott
- Driftbetingelser kopplat till livslängd
- Pilotkörning
- Upphandling av projektering och entreprenad
- Miljömässig hållbarhet.

4.1 Design och typ av anläggning

I Tabell 3.1 presenterades vattenverkens namn och processdesign. I Tabell 4.1 presenteras detaljerna för den typ av membran som finns på respektive vattenverk; material och ytterligare relevant data. Storleken på anläggningarna varierar men som regel är alla anläggningarna utrustade med automationssystem.

Tabell 4.1

Designdata för ingående anläggningar. Sammanställt via enkäter och intervjuer.

Ref	Tillverkare och modell	Membrantyp	Installation	Antal moduler/total filtreringsyta	Material	Recovery %	Flux l/mh
1	Pentair X-flow Xiga 40 (8"-1,5m-PVC, (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	40 moduler 1 728 element	PES ¹	98 %	65
2	Pentair XF55 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Vertikalt	7 rack x 114 moduler 43 890m ²	PES	>90 %	60
3	Pentair X-flow XIGA40 (MWCO = 150–200 kDa) Hydranautics ESPA3 ² (MWCO = 0,2 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	768 moduler	PES	85 % ⁴ 95 % ⁵	110
		Spirallindade, RO	Vertikalt	2 016 element	PA ³	80 %	33
4	Mann+Hummel SBNF 40" (MWCO = 2 kDa)	Spirallindade NF	Horisontell	12 tuber x 6 element	CA ⁶	80 %	14
5	Pentair Xiga 40 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	7 rack x 11 moduler x 4 element	PVP ⁷ PES	<95 %	75

Ref	Tillverkare och modell	Membrantyp	Installation	Antal moduler/total filtreringsyta	Material	Recovery %	Flux l/mh
6	Pentair Xiga 40 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	3 rack x 4 moduler x 4 element	PVP PES	<95 %	75
7	Pentair Xiga 40 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	3 rack x 6 moduler x 4 element	PVP PES	95,6 %	81,5
8	Pentair Xiga 40 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	3 rack x 3 moduler x 4 element	PVP PES	<95 %	75
9	Pentair Xiga 40 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	8 rack x 24 moduler x 4 element ⁸	PVP PES	<95 %	75
10	Pentair Xiga 40 (MWCO = 150–200 kDa)	Hålfiber UF	Horisontell	1 rack x 7 moduler x 6 element	PVP PES	<95 %	75

¹ Polyethersulfone (PES), ² Omvänd Osmos (RO) som efterföljande behandlingssteg, ³ Polyamid (PA),

⁴ Netto recovery, ⁵ Vattenrecovery, ⁶ Cellulose Acetate (CA), ⁷ Polyvinylpyrrolidone (PVP),

⁸ 7 rack primär UF, 1 rack sekundär UF

4.2 Råvattenkvalitet och förbehandling

Anläggningspersonal som intervjuats rapporterade att leverantörernas rekommendationer för förbehandling, för att effektivt skydda membranen, varierar beroende på typ av membran och kvalitet på råvattnet. Tabell 4.2 sammanfattar råvattenkvalitet och förbehandlingen innan membranen vid respektive anläggning. Förbehandlingen varierar från enbart mekanisk filtrering till att inkludera kontinuerlig kemisk dosering, exempelvis med tillsats av järn- eller aluminiumklorid. Valet av förbehandlingskemikalier styrs främst av kvaliteten på råvattnet och kan variera säsongvis, beroende på om det finns stora kvalitetsvariationer, som exempelvis algbloomningar. UF-membranleverantörer föreslår ofta användningen av koagulanter för att stabilisera membranens drift vilket minskar behovet av CEB och därmed sparar tvättkemikalier och minskar produktionsförlusterna. Den föreslagna doseringen av koagulant ligger vanligtvis mellan 1 och 5 ppm av det inkommande flödet. Vid dosering av järnklorid kan, enligt vissa leverantörers instruktioner, en annan typ av tvättsekvens behövas för att undvika skador på membranen.

För spirallindade NF-membran rekommenderas ofta att använda beläggningshämmare för att minska risken för scaling (beläggning av oorganiskt material) på membranen. I de fall UF används som förfiltrering till NF så rekommenderas också att mäta redoxpotential på utgående UF-permeat samt att kontinuerligt dosera natriumbisulfit (NaHSO_3) för att minska risken att få med överblivet restklor, som inte spolats ut ordentligt efter CEB av UF, till efterföljande NF-membran.

Ref	Färgtal (Pt-Co mg/l)	COD-Mn (mg/l)	Turbiditet (FNU/NTU)	TOC (mg/l)	DOC (mg/l)	UV-abs @254 nm	Förbehandling
1	0,4–1,5	–	0,7–6	3,5	–	7–18 >20	Mekaniskt förfilter
2	–	–	0,05–5	1–3	–	–	Koagulant (järnklorid)
3	1–70	<0,5	3–80	4–8	4–7	65–95 % UVT 2,3–18 ext/m	Trumfilter, 200 µm Koagulant (järnklorid) Lamella separator Uppströms sandfilter
4	40–50	–	0,4	4	–	0,19	Screen filter, 25 µm Patronfilter 10 µm
5	32–52	–	0,2–0,66	3,93–5,90	–	–	Mikrosil Koagulant (PACl)
6	36–70	–	0,25–5,6	5,68–9,2	–	–	Mikrosil Koagulant (PACl)
7	2–6	–	0,20–1,70	0,20–1,50	–	–	Mikrosil
8	2–3	–	0,20–0,50	0,30–1,30	–	–	Mikrosil
9	6–24	–	0,2–3,5	2,39–11,9	–	–	Mikrosil Koagulant (PACl)
10	2–2,5	–	0,20–0,45	0,20–1,45	–	–	Mikrosil

Tabell 4.2

Råvattenkvalitet och förbehandling vid deltagande anläggningar. Referenssiffran hänvisar till samma numrering som i Tabell 3.1. Ett streck i tabellen indikerar att frågan inte besvarades.

4.3 Membranens placering i processen

Det gick inte att från intervjuerna fastställa en optimal processdesign för membran-anläggningar. De som intervjuades arbetade inte på anläggningarna under pilotkörning eller driftsättning vilket innebar bristande erfarenhet från dessa avgörande faser. Följaktligen var insikten i optimering av membranens placering i processkedjan begränsad. Det går dock att utläsa att förbehandlingen är anpassad efter råvattenkvaliteten (mängd organiskt material) vilket säkerställer optimal membranfunktion.

4.4 Underhåll av membran

Baserat på svaren i enkäterna kan det konstateras att den primära hållningen när det gäller driftsparametrar är att följa leverantörens rekommendationer. En majoritet av anläggningsägarna uppger att detta beslut grundar sig på att de har processgarantier från leverantören att ta hänsyn till. Det innebär att de flesta anläggningsägare undviker att avvika från leverantörens rekommendationer för att minimera eventuella risker och säkerställa en stabil och pålitlig drift.

4.4.1 Tvättkemikalier

De flesta anläggningar i undersökningen använder en kombination av kemikalierna lut (NaOH), natriumhypoklorit (NaClO) och antingen svavelsyra (H₂SO₄) eller saltsyra (HCl) för rengöring, där valet av syra beror på råvatten och typen av beläggningar som ska avlägsnas. En del anläggningar använder endast NaClO för denna process.

En intressant iakttagelse var att WAG Nordeifel mbH (Roetgen) (anläggning 1 i Tabell 3.1, Tabell 4.1 och Tabell 4.2) nämnde att avsaknaden av klor i deras CEB har bidragit till ökad livslängd för membranen.

Om järnklorid används som koagulant så kan en syratvätt före en eventuell klortvätt vara nödvändigt för att minska risken för att fria radikaler bildas som kan åstadkomma bestående skador på membranen.

4.4.2 Tvättfrekvens: backspolning, CEB och CIP

Underhållsrengöring, CEB, utförs för att bevara permeabiliteten och hos de ingående anläggningarna görs detta antingen på tid eller efter ett visst antal backspolningar beroende på råvattenkvalitet. Frekvensen på rengöring varierade stort mellan anläggningarna, 8–60 timmar eller 14–80 backspolningar. I rengöringsprocessen pressas UF-permeat tillsammans med en specifik kemikalie in i membranracken och får verka under en blötläggningstid på 10–30 minuter.

Över tid ackumuleras partiklar, som inte kan spolas bort med vanlig backspolning eller CEB, vilket kräver en annan typ av kemisk rengöring som kallas Cleaning in Place (CIP) för att återställa membranens prestanda. Frekvensen av CIP beror på belastningen och kvaliteten på matarvattnet. Vissa anläggningar utför CIP med längre intervaller, upp till flera månader, medan andra väljer kortare intervaller. För spirallindade membran genomförs CIP vanligtvis några gånger per år.

Bland de tio anläggningarna som svarade på enkäten utför tre CIP (se Tabell 4.3). En av dessa nämnde att valet av kemikalier som används vid tvätten beror på vilken typ av beläggning som upptäcks på UF-modulerna. Detta identifieras genom en obduktion av membranmodulerna som utförs av tillverkaren. Vattenverket i Roetgen, Tyskland, uppgav att CIP utförs när permeabiliteten minskar.

Tabell 4.3

Tvättfrekvens vid deltagande anläggningar. Referenssiffran hänvisar till samma numrering som i Tabell 3.1. Ett streck i tabellen indikerar att frågan inte besvarades.

Ref	Membrantyp	BW	CEB		CIP	
		Intervall/tvättid	Intervall/tvättid	Kemikalier	Intervall/tvättid	Kemikalier
1	Hålfiber UF	60 min –	12h –	NaOH, H ₂ SO ₄	Pn-värde ¹ –	NaOH, H ₂ SO ₄
2	Hålfiber UF	30–60 min –	12–24h –	NaOH + NaClO, H ₂ SO ₄	7 år ² –	H ₂ SO ₄
3	Hålfiber UF		8h –	NaClO ³ Syra tvätt Alkalisk tvätt H ₂ O ₂ + syra ⁴	– –	–
4	Spirallindade NF	– –	– –	– –	– 120 min ⁵	NaClO
5	Hålfiber UF	150 m ³ 180 s	35 x BW 25 min ⁶	NaOH + NaClO, HCl	Används ej	
6	Hålfiber UF	60 m ³ 45 s	35 x BW 2 h ⁷	NaOH + NaClO, HCl	Används ej	
7	Hålfiber UF	120 min 30 s	60 h	NaClO, H ₂ SO ₄	Används ej	
8	Hålfiber UF	45 min 180 s	14 x BW	HCl, NaClO	Används ej	
9	Hålfiber UF	45 min 180 s	80 x BW 2 h ⁸	NaOH + NaClO, HCl	Används ej	

¹ Ej tidsbaserad CIP-intervall, anläggningen har enbart gått på värde för membranens permeabilitet.

² Anläggning driftsatt 2015, första CIP utförd 2022.

³ Uppvärmad klorbaserad tvätt.

⁴ Används vid tvätt pga protein fouling.

⁵ 15 min soaking, 15 min cirkulation – upprepas under tvättiden.

⁶ NaOH + NaClO soaking 10 min, HCl soaking 10 min.

⁷ NaOH + NaClO soaking 20–30 min, HCl soaking 20–30 min.

⁸ NaOH + NaClO soaking 20–30 min, HCl soaking 20–30 min.

4.4.3 Övervakningsstrategi

Från enkätsvaren går att utläsa att trenden för långsiktig övervakning är att följa transmembrantrycket (TMP) över tid. Dessutom används luftintegritetstestning (AIT) för att upptäcka eventuella membranbrott. I den dagliga processövervakningen används partikelräknare och turbiditet. Scottish Water, som äger ett antal membranläggningar, övervakar även absorbans (UV254) på grund av dess högre känslighet jämfört med grumlighet. Variationer i UV254 i permeatet kan indikera läckage eller membranskador. Operatörerna använder handhållna absorbansmätare för att enkelt upptäcka skador på membran och förändringar i kvaliteten på det filtrerade vattnet. Denna absorbanskontroll utförs regelbundet två gånger i veckan.

4.4.4 Avlopp och koncentrat

Tvättvatten som uppstår efter CIP och CEB neutraliseras med avseende på pH vid samtliga referensanläggningar, och vissa av dessa anläggningar minskar även klorhalten i vattnet innan det släpps ut (till recipient eller avloppsreningsverk). Enligt svaren från Scottish Water hanterar de sitt backspolningsvatten och slam genom en sedimenteringsprocess. Dekantatet från sedimenteringen leds ut i vattendrag medan slammet bearbetas genom förtjockning och sedan transporteras från anläggningen med tankbil till avloppsreningsverk.

Vissa anläggningar i undersökningen använder sig av ett tvåstegs membransystem, särskilt de med högt recovery, där det vanliga backspolningsvattnet passerar genom ett andra membransteg och recirkuleras tillbaka till inkommande matarvatten. Denna process minskar avsevärt volymen av koncentratet.

4.5 Driftavbrott

Scottish Water uppger att ett driftavbrott ofta inträffar på grund av att luftintegritetstestningen har visat på membranbrott. Vid en sådan händelse stängs modulen av för reparation medan resten av enheten tas i drift. Tiden för reparation kan variera från 1 till 2 timmar beroende på tillgänglig driftpersonal.

För att säkerställa att membranenheten är redo att återgå till drift efter ett driftavbrott på grund av membranbrott är det viktigt att följa standardproceduren för att testa och stifta/pinna defekta membran. Detta säkerställer att anläggningen fungerar optimalt och att eventuella problem eller risker upptäcks och åtgärdas i ett tidigt skede.

4.6 Driftbetingelser kopplat till livslängd

Faktorer som har stor inverkan på membranens livslängd och totala prestanda genom dess livscykel inkluderar kemikalieanvändning, tvättprocesser, energiförbrukning samt mät- och övervakningsmetoder.

Enligt enkätsvaren är det ovanligt att anläggningsoperatörerna avviker från de driftstrategier som rekommenderas av leverantörerna på grund av risken för att frångå rutiner som kan påverka garantin. Men ett vattenverk i Tyskland, Roetgen, har framgångsrikt ökat livslängden på sina PES-membran, från 7 till 12 år genom att undvika klor i tvättvattnet, vilket visar på fördelarna med att anpassa metoderna och optimera driften efter specifika behov.

4.7 Pilotkörning

Enkäten innehöll frågor om drift och resultat från pilotkörningar. I svaren uppgav anläggningsägarna att de vid pilotkörning ofta följde tillverkarens instruktioner.

Följande tester/parametrar uppgavs undersökas vid pilotkörningarna:

- typer av membran
- förbehandlingsmetoder, såsom förfilter (ofta rekommenderad av membranleverantören), kemisk fällning, antiscaling och pH-justering
- olika flux
- tvättprogram (frekvens och ordning av tvättar samt typ av kemikalier)
- råvattenkvalitet (för att utvärdera olika potentiella platser i beredningsprocessen)
- filtreringstid (innan spolning/backspolning).

Enligt enkätsvaren driver de större vattenverken ofta pilotanläggningar under flera år. Pilotanläggningar inkluderar vanligtvis olika drift- och designaspekter och övervakas av både driftpersonal och forskningsinstitut/doktorander. Ett exempel på detta är vattenverket i Roetgen, Tyskland. Scottish Waters anläggningar har däremot inte lika frekvent föregåtts av pilotkörning. Detta beror troligen på att Scottish Water har många års erfarenhet av membranläggningar och de senare uppförda vattenverken har liknande råvattenkvaliteter.

4.8 Upphandling av projektering och entreprenad

De flesta av de anläggningar som ingick i undersökningen har varit i drift i mer än 15 år. Personerna som svarade på enkäterna och som intervjuades arbetade inte vid anläggningarna vid tiden för projektering och upphandling och det var därför inte möjligt att samla in någon information därom.

4.9 Miljömässig hållbarhet

Hållbarhet har historiskt inte varit en drivkraft för installation av membranteknik för dricksvattenproduktion. Majoriteten av deltagande anläggningsägare svarade att deras val av en specifik leverantör har berott på garantier som tillhandahålls av membranleverantören. Hållbarhetsperspektivet hanterades indirekt genom att premiera lång livslängd, låg kemikalieanvändning och låg energiförbrukning. Generella driftkostnader nämndes också som en faktor vid val. Några anläggningsägare svarade att leverantörens ekonomiska ställning samt tekniska och professionella kapacitet var viktig.

5 Resultat – vattenbolag

I detta kapitel summeras erfarenheterna från intervjuer med representanter från vattenbolag i England och Luxemburg. Som nämnts i avsnitt 3.1 ger dessa intervjuer inte plats-specifik information och resultaten innehåller därför inte specifik information om till exempel vattenkvalitet eller driftinstruktioner. I stället samlar de många års erfarenhet av att driva anläggningar med membranprocesser. Svaren har sammanställts i följande kategorier:

- Underhåll av membran
 - Driftstrategi
 - Avlopp och koncentrat
 - Övervakningsstrategi
- Byte av membranmoduler
- Driftavbrott
- Pilotkörning
- Upphandling
- Serviceavtal
- Miljömässig hållbarhet
- Utveckling och trender på den brittiska membranmarknaden.

5.1 Underhåll av membran

En generell åtgärd som utförs för att optimera driften vid membranläggningar är att medvetet minska flödet vid hög turbiditet eller dålig vattenkvalitet. Detta tillvägagångssätt används även under de kallare månaderna när vattnets viskositet ökar.

5.1.1 Driftstrategi

Driftpersonal vid membranläggningar har olika filosofier vad gäller driftstrategier. Vissa är mer konservativa medan andra exempelvis väljer mer aggressiva rengöringsmetoder. Aggressiv rengöring kan dock förkorta membranens livslängd. Höga flödes-hastigheter kan också vara skadligt för membranen.

För att optimera prestandan kan driftpersonalen justera backspolningsfrekvensen för att passa de anläggningsspecifika vattenkvalitetsutmaningarna samt finjustera den kemiska blandningen som används för rengöring. Optimering kan också innebära strategisk planering av koaguleringsprocesser för att förhindra uppbyggnad av fasta partiklar vilket säkerställer membranens livslängd och effektivitet.

5.1.2 Avlopp och koncentrat

En intressant strategi som framkom vid intervjuerna var att nyttja tvättvätskor, som bas och syra, för neutralisering av det spolvatten som erhålls vid de två olika tvättsekvenserna. Detta för att minimera mängden kemikalier som en eventuell efterdosering och pH-justering skulle innebära.

5.1.3 Övervakningsstrategi

Parametrar såsom turbiditet, resultat från integritetstester och tryckfallstester övervakas centralt av Scada-systemet vilket understryker vikten av att driftpersonalen fullständigt förstår mjukvaran som används för kontroll. Det är stor fördel om driftpersonalen är bekant med PLC-språk och programvara för att det ska finnas möjlighet att underhålla och felsöka. Det är viktigt att noggrant granska styrprogramvaran för att förstå dess funktioner, särskilt under kritiska processer som backspolningscykler, och för att säkerställa

en effektiv drift. Därför föredras välbekanta PLC-system och programmeringsspråk framför programvara utvecklad av entreprenörer med hänsyn till utmaningar som kan uppstå.

En grundlig datahantering och utbildning av personal är avgörande för att hantera komplexa datatrender över tid. Trots att molnlagring tas i bruk för att hantera omfattande datamängder begränsas användningen av externa tjänster av säkerhetsskäl.

5.2 Byte av membranmoduler

Konceptet *retrofitting* syftar på möjligheten att modifiera eller uppgradera ett system, en struktur eller utrustning för att integrera nya funktioner eller teknologier utan behov av en fullständig ombyggnad. Enligt det som framkom vid intervjuerna brukar bolagens vattenverk byggas med möjligheter till retrofitting, vilket möjliggör förändringar, som att lägga till extra rack, utan att behöva göra om hela byggnadens struktur.

Vid intervjun med Mayflowers processingenjör berättade han att Nanostones keramiska membran har en inbyggd flexibilitet i membranmodulerna för att de ska passa anslutningarna i polymera membran vilket möjliggör uppgradering. Denna anpassningsförmåga finns inte hos CeraMac CeraMac® (keramiska membran från membran-tillverkare PWNT). Det är dock värt att notera att övergången mellan olika membran-typer, exempelvis från polymera membran till keramiska, inte är en enkel process och ofta kräver betydande förstärkning av byggkonstruktionen på grund av ökad vikt.

En vanlig strategi bland vissa vattenbolag är att ersätta PES-membran med membran av PVDF. Orsaker till byten kan bero på olika faktorer bland annat den frekventa förekomsten av tidiga membranbrott i de ursprungliga PES-membranen, kortare livslängd, oförmåga att återhämta sig till ursprunglig prestanda samt känsligheten mot klorvätt. Dessutom påverkades skiftet av Memcors leveransproblem med sina PP-membran (polypropylen), vilket uppmuntrade till antagandet av PVDF som ett mer tillförlitligt alternativ. Det är dock värt att notera att en övergång från PES- till PVDF-membran kan kräva betydande förändringar av de etablerade systemen för backspolning, CIP och CEB.

5.3 Driftavbrott

Flera av de intervjuade vattenbolagen uppger att det har skett en förändring i underhållsstrategin för membranläggningar mellan åren 2000 och 2023. När de första vattenverken med membranteknik byggdes var det vanligt med omedelbar åtgärd vid larm om membranbrott. Numera är det praxis att man servar trasiga membran, moduler eller fibrer en eller två gånger om året, förutsatt att barriärverkan inte påverkas negativt. Det innebär alltså att anläggningarna byggs med viss överkapacitet för att klara driftavbrott på ett antal enheter.

5.4 Pilotkörning

I England genomförs vanligtvis design och dimensionering av membranläggningar efter föregående pilotkörning, särskilt för stora anläggningar eller komplexa råvatten-matriser. De intervjuade vattenbolagen uppger att det är avgörande att pilotkörningen noggrant återspeglar matarvattenkvalitet och att olika tvättrutiner för CEB- och CIP-processer testas. Hur länge pilotanläggningen ska vara i drift påverkas av ekonomiska förutsättningar eftersom drift och övervakning av piloter är kostsamt. Dock blir resultatet bättre vid längre drift och piloten bör drivas under minst ett år för att fånga upp säsongsmässiga variationer i råvattnet. Ett metodiskt tillvägagångssätt och utvärdering

av pilotkörningen säkerställer förutsättningarna för en framtida membranläggningens kapacitet under realistiska förhållanden. Detta ger värdefull kunskap inför storskalig implementering. Å andra sidan anser vattenbolagen inte att pilotkörning är nödvändig för små anläggningar med normal vattenmatris eftersom det finns tillräcklig erfarenhet för att designa beredningsprocessen.

5.5 Upphandling

Från intervjuerna med vattenbolagen framkom det att membranläggningarna i England oftast upphandlas med en entreprenör (liknande totalentreprenad) vilket innebär att den entreprenören är ansvarig för alla aktuella arbeten. Det gör att beställaren endast har en part att kräva åtgärder av vid eventuella felaktigheter. Entreprenören upphandlar i sin tur en membranleverantör och övriga underentreprenader. I ett beskrivet fall delades förfrågan, för hela projektet, i två separata upphandlingar men förfrågningarna skickades ut samtidigt. Beställaren förväntade sig då ett lägre pris totalt sett ifall en entreprenör vann båda kontrakten.

I ett annat fall togs först ett principförslag fram av ett konsultbolag. Principförslaget föregicks av pilotförsök och resultaten därifrån samt principförslaget delgavs anbudsgivarna. Efter upphandling av entreprenör gjordes en separat upphandling av membranleverantör vilket i detta fall blev MEMCOR® (numera DuPont). De aktuella membranerna från MEMCOR® hade tidigare använts vid andra vattenverk hos vattenbolaget. I upphandlingen ställdes krav på ekonomisk kompensation i fall analysresultat överskred ett visst värde under garantitiden på 5 år. Villkoret formulerades så att om analysvärden överskred tillåtet värde med en viss procent skulle ekonomisk kompensation utgå till beställaren.

I England använder man ibland konsultbolag för att utföra en första konservativ processdesign utan pilotkörning. Den upphandlade konsulten är då ansvarig för anbudsförberedelserna. De utses sedan till huvudentreprenör enligt så kallat Green Book-förfarande vilket är ett kontrakt för design, konstruktion och driftsättning av prestandabaserade processanläggningar. Green Book är en av standardformerna för kontrakt som publiceras av IChemE. Den "gröna boken" bygger på filosofin om samarbete mellan parter för att uppnå det ömsesidiga målet för ett framgångsrikt projekt. I Sverige har vi kontraktsformen ABA99 vilket liknar Green Book.

Ett annat vattenbolag i England uppger att man använder en kontraktsform med fast pris för projektering och entreprenadarbeten, ett så kallat *design and construction/build-kontrakt*. Då tas en preliminär design fram av konsulter för att få fram anbud. Detta förfarande följer en standard enligt Red Book. Red Book bygger på fast pris och lämpar sig för användning där en hög teknisk kompetens krävs i design och konstruktion. Det är en annan av standardformerna för kontrakt som publiceras av IChemE. I Sverige har vi kontraktsformen ABTO6 som är vår motsvarighet till Red Book.

5.6 Serviceavtal

Bland de intervjuade vattenbolagen är det ovanligt att underhåll av membranläggningar läggs ut på entreprenad eftersom organisationerna föredrar att sköta underhållet internt med egen utbildad driftpersonal. Ibland används dock specialiserade företag utifrån för exempelvis pump- eller ventilreparationer eller när defekta moduler skickas till leverantören för felsökning/reparation. Membranleverantörerna gör emellanåt besök på anläggningar för att bedöma prestanda vilket kan vara knutet till garantier. Serviceavtal förekommer men är då tecknade med huvudentreprenören av anläggningen. Trots att serviceavtal är ovanliga, medger de intervjuade vattenbolagen att det är en fördel om det

finns en leverantör med stark teknisk support för att få stöd vid optimering av driften. När en viss membranleverantör avslutade sin verksamhet i Storbritannien innebar det till exempel en svår situation för anläggningsägare som hade denna specifika typ av membran.

5.7 Miljömässig hållbarhet

Miljö- och hållbarhetsfrågor har initialt inte varit i fokus vid uppförande av membran-anläggningar inom de intervjuade vattenbolagen. På senare tid har återanvändning av membran diskutats men slutsatsen är att det inte anses vara ekonomiskt försvarbart.

5.8 Utveckling och trender på den brittiska membranmarknaden

Under intervjuerna identifierades ett antal trender som berör den brittiska marknaden för membranfiltrering:

- I Storbritannien är urvalet av godkända membranmärken begränsat till följande: Hydranautics (som producerar membran), X-Flow (som tillhandahålls av Pentair), MEMCOR® med både PP- och PVDF-membran, Pall från Pall Corporation, ZeeWeed (en variant av hålfibermembran från Veolia), samt nyligen även keramiska membran från Metawater och Nanostone.
- Vid tidiga installationer användes membran från Hydranautics, X-Flow och MEMCOR® PP, som alla hade problem med brott.
- Hydranautics var till en början framgångsrika tack vare lokalt stöd från leverantören Kalsep. Men Kalseps avhopp från marknaden i början av 2000-talet innebar att denna fördel försvann.
- X-Flow nådde tidiga framgångar, både självständigt och genom membrantillverkaren PCI. Men efter aggressiva designval på vattenverket Clay Lane tappade man förtroende och förlorade marknadsnärvaro. Detta påverkades också av bristen på direkt stöd i Storbritannien.
- MEMCOR®-membranen blev marknadsledande tack vare ett starkt brittiskt stöd, även om dess ursprungliga PP-membran var problematiskt. Den förbättrade PVDF-versionen släpptes omkring 2005 men ett minskat förtroende på marknaden ledde till en minskning av antalet projekt från 2010 och framåt. MEMCOR® lanserade en förbättrad L20N-produkt 2016 men då var det för sent för att återta den tidigare positionen.
- Efter 2010 förbättrades X-Flows produkter men de kunde trots detta inte återfå sin tidigare position.
- Pall Corporation drog nytta av marknadens besvikelse och förbättrade sin egen position efter 2015 men har på senare år avslutat membranverksamheten i Europa och avvecklat sitt supportkontor i Storbritannien.
- När Suez introducerade ZW700B (ZeeWeed) som ett alternativ till X-Flow var det för sent för att det skulle få en betydande marknadspåverkan. Membranen har fått en begränsad användning. Suez har sålt ett PVDF-system till Anglian Water men har mycket liten marknadsframgång på andra håll.
- Från och med 2020 har de flesta nya anläggningar som använder keramiska membran valt produkter från tillverkarna Metawater eller Nanostone och dessa membrantyper har blivit alltmer populära i England och Skottland.

-
- Under den initiala utvecklingsfasen av membranläggningar installerades PES-membran i många anläggningar, vilket ledde till att de ställdes inför en rad utmaningar. Det bör påpekas att under perioden från omkring 1990 till 2005 var UF-membran den enda godkända metoden för att avlägsna *Cryptosporidium*. Senare kom emellertid UK Health Security Agency att även godkänna användningen av UV-ljus som en tillräcklig skyddsåtgärd. På grund av detta är det troligt att många anläggningar som initialt valde polymera membran för behandling av *Cryptosporidium* inte kommer att byta ut dessa membran, istället väljer man att avveckla dem när anläggningens livslängd är uppfylld.

5.9 Trender för membranmaterial i Europa

Enligt de intervjuade leverantörerna har en ökad preferens för PES-material blivit märkbar. Denna tendens kan delvis förklaras av att Pall Corporation, som tidigare var marknadsledare i Europa för PVDF-membran, har slutat sälja sina moduler i regionen. Det finns också viss diskussion om att PFAS är en komponent i membranmaterialet. Klassificeringen av PVDF som PFAS kan ha betydelse för den ökande efterfrågan av PES (American membrane technology association 2022, Pearce 2024). Mer information om PVDF-membran och PFAS-innehåll finns i avsnitt 7.4.

Användningen av keramiska membran är fortfarande begränsad till nischmarknader på grund av deras jämförelsevis högre kostnad.

6 Resultat – leverantörer och tillverkare

De flesta tillfrågade leverantörer och tillverkare har som tidigare nämnts avböjt att svara på frågor via mejl eller att medverka vid intervjuer. Endast Pentair och DuPont har deltagit och nedan sammanfattas deras svar från intervjun.

6.1 Kravställning från leverantören

Både Pentair och DuPont framhäver att för att deras garantier ska vara giltiga, erbjuder de anpassade konstruktionslösningar som tar hänsyn till faktorer som vattenkvalitet, typ av membran, tillgänglighet av specifika kemikalier och krav på beredskapsservice. För att uppfylla garantikraven är dessa förutsättningar nödvändiga. I regel använder sig båda företagen av en rengöringsmetod för sina membransystem som innefattar användningen av natriumhypoklorit, natriumhydroxid och svavelsyra. Den rekommenderade rengöringsproceduren måste följas noggrant men kan i vissa fall anpassas för att möta specifika behov.

6.2 Stöd och optimering

Både DuPont och Pentair tillhandahåller en omfattande serviceportfölj som inkluderar flera nivåer av support för att optimera kundupplevelsen. Liksom Pentair erbjuder DuPont interna utbildningsprogram, tillgång till specialiserad designprogramvara, driftsättningshjälp och underhållskontrakt för att säkerställa en kontinuerlig och effektiv drift av sina system. Dessutom erbjuder båda leverantörerna tjänster som granskning och analys av använda membran, även kallade membranautopsier, en värdefull teknik för att utvärdera och förbättra membranläggningens prestanda och livslängd. Genom att erbjuda dessa tjänster arbetar DuPont för att stärka sina kunders förmåga att maximera prestandan i sina vattenreningssystem och därigenom bidra till en hållbar vattenanvändning.

6.3 Miljömässig hållbarhet

DuPont och Pentair uppger att miljömässig hållbarhet och ansvarsfullt företagande är viktigt för dem. Detta menar de framgår av deras investeringar i förnybar energi. DuPont har en vattenåtervinningsanläggning och Pentair ett internt RO-system som visar på möjligheten att återvinna vatten och minska energiförbrukningen. DuPont framhäver hur deras innovationer har minskat energibehovet per kvadratmeter membranyta, vilket leder till ökad produktionsenergieffektivitet.

Både DuPont och Pentair menar att de är lyhörda för sina kunders växande krav på hållbarhet och har implementerat åtgärder för att tillhandahålla öppenhet genom miljövarudeklarationer (EPD) och livscykelanalyser (LCA). Dessutom har Pentair aktivt deltagit i en livscykelanalysstudie i Sverige, där fokus låg på den miljömässiga påverkan av dricksvattenproduktionssystem (Aggarwala 2020) (Selvarajan 2020).

DuPont uppmärksammar specifikt hur membranteknologi kan bidra till att lösa globala vattenfrågor och stödjer FN:s mål om rent vatten och sanitet, vilket är en förutsättning för att uppnå flera andra hållbarhetsmål.

Vid diskussion om ytterligare åtgärder för att förbättra den miljömässiga hållbarheten vid användning av membran togs frågan om återanvändning av uttjänta moduler upp. Pentair påpekar att återanvändning av membran inte är praktiskt genomförbart på grund av att ackumulerade föroreningar leder till högre underhållskostnader jämfört med nya membran. Däremot är materialåtervinning av PVC och PES från membranelementen mer realistiskt. PVC är lätt att återvinna och det finns etablerade återvinningsprogram tillgängliga genom PVC-leverantörer (<https://www.vinylplus.eu/>). PES skulle potentiellt kunna återvinnas för icke-dricksapplikationer, exempelvis inom fordonsindustrin, även om detta ännu inte har implementerats i praktiken på grund av de för närvarande små tillgängliga volymerna. Injekteringsmaterialet (polyuretan eller epoxi) kan inte återvinnas och den mest lämpliga avfallsmetoden för närvarande är förbränning. I frågan om återvinning och återanvändning av uttjänta membran bör dock UF-membranens tålighet framhållas, menar DuPont. Trycksatta UF-membran har lång livslängd, där vissa moduler varit i drift i över 20.

7 Miljömässig hållbarhet – en framtidsspaning

Det är välkänt att användning av membran har stor miljömässig påverkan. Vattenrening med membran innebär ofta stor elenergianvändning och hög kemikalieförbrukning. Det är dock inte enbart under driftfasen som membran användningen ger miljömässig påverkan. Under tillverkningsfasen av membranmodulerna används processer som för med sig både miljö- och klimatpåverkan. De två faktorer som har störst miljöpåverkan under tillverkning av membran är dels användningen av skadliga lösningsmedel, dels tillverkningen av polymererna som membranerna består av.

För att ta itu med dessa hållbarhetsproblem utförs forskning om alternativa tillvägagångssätt för membranproduktion. En lovande metod är att använda gröna lösningsmedel, till exempel vatten, biobaserade lösningsmedel eller joniska vätskor. En annan möjlighet är att använda polymerer av mer hållbara material, som till exempel polylaktid (PLA), kitosan och polyhydroxyalkanoater (PHA). Försök har även gjorts att framställa membran utan användning av lösningsmedel, till exempel genom smältextrudering följt av sträckning och 3D-printning. Det utförs även forskning för att utveckla metoder för återanvändning och återvinning av membranmoduler för att förlänga deras livslängd och på så sätt minska miljöpåverkan.

Sammantaget finns det en växande trend mot utveckling och implementering av hållbara produktionsmetoder för membran. Detta avsnitt ger en översikt över de senaste insatserna för att förbättra hållbarheten hos membran och membranmoduler både avseende polymera och keramiska membran.

7.1 Polymera membran

Polymera membran är den dominerande typen av membranmaterial och står för över 70 % av marknaden. Fasinversion är den mest använda tekniken för framställning av polymera membran på grund av dess enkelhet (Naziri Mehrabani et al. 2022). De viktigaste typerna av fasinversionsprocesser är (1) ånginducerad fassetparation (VIPS) (Vatanour et al. 2021), (2) icke-lösningsmedelsinducerad fassetparation (NIPS), (3) avdunstningsinducerad fassetparation (EIPS) och (4) termisk inducerad fassetparation (TIPS). Bland dessa används NIPS och TIPS för tillverkning av de flesta kommersiella polymermembran med lösningsmedel som N,N-dimetylformamid (DMF), N,N-dimetylacetamid (DMAc) och N-metylpyrrolidon (NMP), vilka är i fokus eftersom de är ämnen med potentiell reproduktions- och utvecklingstoxicitet (Kim och Nunes 2021).

De vanligaste membranpolymererna, deras marknadsandelar, råmaterial och hållbarhetspåverkan sammanfattas i Tabell 7.1. Av tabellen framgår att hållbarhetspåverkan för den aktuella membranpolymeren är omvänt proportionellt mot dess marknadsandel.

Membranpolymer	Marknadsandel	Råmaterial	Miljömässig hållbarhet
Polysulfone (PSf)	20 %	Fossil	Mindre
Polyethersulfone (PES)	15 %	Fossil	Mindre
Polyvinylidene fluoride (PVDF)	12 %	Fluorerade kolväten (HFCs)	Medel
Polyetherimide (PEI)	10 %	Nylonmonomer och bensofenon	Medel
Cellulose acetate (CA)	8 %	Växtbaserade	Hög
Polyamide (PA)	5 %	Växtbaserad olja	Hög

Tabell 7.1

Membranpolymerer, marknadsandelar, råvaror och hållbarhet.

Nedan redovisas tre metoder för att förbättra membranens miljömässiga hållbarhet, nämligen gröna lösningsmedel, hållbara polymerer och alternativa produktionsmetoder.

7.1.1 Gröna lösningsmedel

Termen *gröna lösningsmedel* syftar vanligen på miljövänligare lösningsmedel som är mindre giftiga, biologiskt nedbrytbara och härrör från förnybara källor. De viktigaste kategorierna av gröna lösningsmedel är vatten, biobaserade lösningsmedel, icke-toxiska eller toxiska syntetiska organiska lösningsmedel och joniska vätskor.

Vatten skulle säkert vara det lämpligaste lösningsmedlet för membranberedning. Nyligen har man undersökt två metoder där vatten används som gjutlösningsmedel för membranberedning. Den första metoden baseras på pH-förändringar för att främja fasseparation och porbildning (Kamp et al. 2021), medan den andra metoden använder sig av förändringar i jonstyrkan för att inducera fasseparation (Ajari et al. 2019). Båda metoderna har potential men kräver utveckling för att förbättra stabiliteten och utöka deras tillämpningsområde.

Biobaserade lösningsmedel är ett annat grönt alternativ för membrantillverkning. Exempel på lösningsmedel som har testats är Cyrene™, isosorbid, metyllaktat, γ-valerolakton, N,N-dimetyllaktamid, succindiamid, glycerolderivat och 2-metyltetrahydrofuran (2-MeTHF) som har använts i kombination med NIPS (Kim & Nunes 2021). Dessa lösningsmedel erbjuder en mer hållbar metod för membrantillverkning med bibehållen prestanda.

Syntetiskt framställda organiska lösningsmedel med låg eller ingen toxicitet har också undersökts för membrantillverkning. Dimetylsulfoxid (DMSO) är ett förnybart lösningsmedel som är ett bra substitut för DMF, NMP och DMAc. Rhodiasolv® PolarClean är ett polärt aprotiskt lösningsmedel som anses vara icke-toxiskt och har använts för att framställa membran från olika polymerer (Kim et al. 2018). Dimetylkarbonat och andra organiska karbonater är också mångsidiga lösningsmedel för att lösa upp polymerer för membranberedning. Slutligen är butylacetat ett naturligt lösningsmedel som har använts som ett alternativ till xylen för polyetenmembran. Dessa syntetiserade organiska lösningsmedel erbjuder ett mer hållbart och miljövänligt alternativ till konventionella lösningsmedel och bibehåller membranens prestanda.

Joniska vätskor är en grupp lösningsmedel som anses vara mer miljövänliga på grund av deras låga ångtryck och eftersom de inte producerar giftiga flyktiga organiska föreningar. Joniska vätskor kan lösa upp en mängd olika material, inklusive cellulosa, som är svårt att lösa upp med andra lösningsmedel (Vatanpour et al. 2022). Detta har lett till utvecklingen av nya typer av membran med andra morfologier och prestandaegenskaper än traditionella membran. Joniska vätskor har använts för framställning av asymmetriska

porösa membran med hjälp av t.ex. NIPS. Det finns dock en del kontroverser kring joniska vätskors toxicitet i vatten och hållbarheten i deras produktion.

7.1.2 Miljömässigt hållbara polymerer

Förutom de etablerade polymererna CA och PA som anses mer hållbara ur ett miljöperspektiv har främst tre alternativa naturliga polymerer – polylaktid, kitosan och polyhydroxyalkanoater – testats för membranproduktion:

Polylaktid (PLA) är en naturlig polymer som härrör från mjölksyra och är en biprodukt vid fermentering. Det är en biologiskt nedbrytbar polymer som används i en mängd olika applikationer, inklusive livsmedelsförpackningar och medicintekniska engångsprodukter (Vedula & Yadav 2021).

Kitosan är också en naturlig polymer som härrör från kitin, som är en polysackarid som finns i krabb- och räkskal. Det är en biologiskt nedbrytbar polymer med antimikrobiella egenskaper (Tomietto et al. 2020).

Polyhydroxyalkanoater (PHA) är en familj av naturliga polymerer som produceras av bakterier som energilagringssammansättningar. De är biologiskt nedbrytbara polymerer som har en mängd olika potentiella tillämpningar, inklusive membranfiltrering (Thiam et al. 2022).

Trots deras potential, och att de första resultaten är lovande, är membran av PLA, kitosan och PHA fortfarande på forskningsstadiet och inte kommersiellt tillgängliga.

7.1.3 Alternativa produktionsprocesser

Förutom de lösningsmedelsbaserade membranproduktionsmetoderna finns det flera alternativa metoder, både etablerade och under utveckling, där smältextrudering följt av sträckning och 3D-tryck är de viktigaste metoderna.

Smältextrudering följt av sträckning är en väletablerad metod för membranproduktion utan användning av lösningsmedel. Denna teknik används vanligen för att tillverka mikrofiltreringsmembran (MF) av semikristallina polymerer som polytetrafluoreten (PTFE), polyolefiner och PVDF.

3D-printing är en lösningsmedelsfri membranproduktionsmetod under utveckling. Denna metod möjliggör exakt avsättning av material för att skapa komplexa tredimensionella strukturer med intrikata porgeometrier. Även om upplösningen för 3D-utskrift för mikrofiltreringsmembran (MF) fortfarande håller på att förfinas, har den en enorm potential att revolutionera membranframställningen för olika tillämpningar (He et al. 2019). Förmågan att skraddarsy porstorlekar och strukturer med submikronprecision ger möjlighet att tillverka membran med förbättrad separationsförmåga för specifika tillämpningar.

7.2 Oorganiska membran

Keramiska membran är den näst mest populära typen av membran efter polymera membran och står för cirka 30 % av marknaden. Keramiska membran har överlägsen kemisk resistens, termisk stabilitet och mekanisk styrka jämfört med polymera membran, vilket gör dem väl lämpade för tuffa miljöer och krävande tillämpningar. De primära råmaterialen för keramiska membran är oxider, till exempel kiseldioxid, aluminiumoxid, zirkoniumoxid och titanoxid (Chen et al. 2023). Dessa oxider utvinns från naturliga källor

som sand, lera och zirkonsand. Råmaterialet bearbetas med olika tekniker, där sol-gel och dopbeläggning är de viktigaste produktionsmetoderna, för att bilda tunna filmer eller porösa strukturer. Keramiska membran anses generellt vara mer miljömässigt hållbara än polymermembran på grund av deras längre livslängd och minskade beroende av icke-förnybara resurser. Tillverkningen av keramiska membran innefattar dock ofta energiintensiva processer, såsom sintring och bränning, och bortskaffandet av använda membran kan ha stor miljöpåverkan.

7.2.1 Alternativa produktionsprocesser

3D-printing går att använda även för tillverkning av keramiska membran, med komplexa former och kontrollerade porstrukturer, utan användning av lösningsmedel.

Elektrospinning är en annan ny teknik för att tillverka keramiska membran med unika porstrukturer och egenskaper (Ahmed et al. 2015). Tekniken innebär att ett elektriskt fält appliceras på en keramisk lösning eller suspension, vilket leder till att det bildas en vätskestråle som sträcks ut till nanofibrer. Dessa nanofibrer kan samlas på ett substrat för att bilda ett membran. Elektrospinning har potential att producera keramiska membran med skraddarsydda egenskaper för specifika tillämpningar. Det är en mångsidig teknik som kan användas för att tillverka membran med en rad olika porstorlekar, morfologier och sammansättningar.

Både 3D-printning och elektrospinning är för närvarande under utveckling och finns inte kommersiellt tillgängliga.

7.3 Återvinning och återanvändning av membranmoduler

Återvinning av membranmoduler är ett viktigt steg i den cirkulära ekonomin för membranfiltreringsteknik. Effektiv återvinning av membranmoduler kan avsevärt minska miljöpåverkan från membranfiltreringsprocesser och sänka den totala kostnaden för membranbaserade separationsprocesser. En metod som för närvarande undersöks är kemisk omvandling av membran för omvänd osmos (RO) till membran för ultrafiltrering (UF) genom ett kontrollerat avlägsnande av det selektiva polyamidskiktet (Lawler et al. 2013). En annan nyligen genomförd studie visade dessutom att nyckelelementen i spirallindade moduler, såsom matningsdistanser (polypropylen), permeatdistanser (polyester), modullock (akrylonitrilbutadienstyren) och glasfiberhölje, skulle kunna återvinnas.

7.4 PFAS och framtiden för membrantillverkning

Utöver de utmaningar som beskrivs ovan, för att få membrantillverkningen mer hållbar, finns det indikationer på att industrin kommer att behöva ställa om av andra orsaker. Bland polymera membran är polyvinylidenfluorid (PVDF) det vanligaste materialet för tillverkning av ultrafilter, mikrofilter och membranbioreaktorer. Anledningen till att PVDF-membran är så vanliga beror på deras unika egenskaper. Membranen kan hantera högt tryck med bibehållen struktur utan att läcka ut kemikalier, de är resistent mot tvättkemikalier och tål hårda miljöer. De är dessutom temperaturtåliga vilket underlättar vid tvättning. I februari 2023 tog European Chemical Agency (ECHA) fram ett förslag för att förbjuda användningen av PFAS. PVDF är just en sådan PFAS (polyfluorerad alkylsubstans). I och med att färdigproducerad PVDF är inert finns väldigt liten risk för att PFAS läcker ur membranen och förorenar vatten under drift. Däremot förorenas processvatten med PFAS under produktion av membran och det finns även risk att PFAS-ämnen hamnar i

miljön vid omhändertagandet av uttjänta membran, till exempel vid förbränning eller om membranerna hamnar på deponi.

Så som förslaget ser ut kommer PVDF innefattas av ett förbud mot PFAS vilket kommer att få stora konsekvenser för bland annat membranindustrin. Förslaget har varit ute på remiss och synpunkter på förslaget bearbetas för tillfället, hur det slutliga förbudet kommer att se ut är det ingen som vet, beslut kommer troligen att tas under 2024. Om förslaget går igenom, och om PVDF innefattas av förbudet, kommer membranindustrin tvingas ställa om med fokus på utveckling av andra polymera material eller keramiska membran.

8 Upphandling av membran för svenska anläggningar

Det finns ett stort antal leverantörer av UF- och NF-membran där varje leverantör har flera olika membran för skilda applikationer. I SVU-rapporten 2020-4 *Membranfiltrering för dricksvattenberedning* (Lidén 2020) listas ett tjugotal tillverkare av UF-filter och NF-filter. Hur VA-organisationerna ska komma fram till vilka membran som bäst passar i det specifika fallet och hur de går till väga för att konkurrensutsätta leverantörerna kan vara en djungel. I enkätsvar och vid intervjuer har det varit svårt att få information om hur kravställning vid upphandling har gått till och därför svårt att dra konkreta slutsatser därav. Dels har upphandlingarna ofta skett för många år sedan och personalen hunnit bytas ut, dels har upphandlingarna skett på sätt som inte enkelt går att överföra till svenska förhållanden. Nedan beskrivs därför olika tillvägagångssätt för upphandling baserat på Swecos erfarenhet av arbete med membrananläggningar. I texten ges konkreta tips och förslag på aspekter som är viktiga att tänka på vid utformning av förfrågningsunderlag.

8.1 Pilotförsök

För framtida beredning med membran rekommenderas alltid att först utföra pilotförsök. En pilotanläggning och -försök kan genomföras på olika sätt. Upphandling kan omfatta enbart själva inköpet av en pilotanläggning eller anläggning tillsammans med uppstart, drift och utvärdering av försöket. I det senare fallet hyrs ofta anläggningen. Det viktiga är då att beställaren får tillgång till alla resultat från pilotförsöket och äger resultaten så att de fritt kan användas i den fortsatta upphandlingen. Ett tillvägagångssätt är att i upphandling för fullskaleanläggningen även inkludera en pilotkörning. Då kan pilotförsöket vara en prekvalificering för att senare få lämna anbud. Denna variant kan användas för att försäkra sig om att det membranfabrikat som använts under pilotförsöket också är det som levereras till fullskaleanläggningen.

I ett fristående pilotförsök kan beställaren senare inte föreskriva ett specifikt fabrikat, det i pilotförsöket utprovade, i upphandlingen av fullskaleanläggningen. Fördelen med fristående pilotförsök är dock att beställaren har full kontroll över försöken och resultaten. Upphandlingen av fullskaleanläggningen måste därefter bygga på en beskrivning av den membrantyp som ska handlas upp, som inte är uteslutande men har tydliga krav på prestanda och andra viktiga parametrar. Flera membranleverantör har membran i sitt sortiment som bygger på samma principer och har likvärdiga material.

Inför en upphandling kan prekvalificering göras dels för att kommunicera ett kommande behov dels för att med de krav som ställs också avgränsa till de membran som eftersöks.

8.2 Kravställning

Pilotförsök kan endast svara på hur membranen påverkas på kort sikt, det är svårare att uppskatta hur de påverkas över tid. Därför är membrangarantier en viktig del i kraven i upphandlingen. En standard som flertalet leverantörer accepterar är 5 års full garanti med ytterligare 5 års prorataranti. Det senare innebär att membranerna ersätts med 100 % av nyanskaffningskostnaden till och med år 5 och därefter jämnt fördelat ned till 0 % år 10. På direkta frågor om hur lång livslängden är för UF-membran svarar några

leverantörer 7 år. För NF-membran brukar livslängden uppskattas till 5 år. Hos några leverantörer finns standardgarantier som alltid gäller men det är oftast begränsat till 2 år och därför är garantikraven viktiga att ställa.

Förutom garantikrav så är frågor om energiåtgång och kemikalieförbrukning viktiga att ställa i förfrågan. Förutom att vara utvärderingskriterier för anbud så kan texten i upphandling formuleras som att angivna värden ska utvärderas varje år under de första fem åren. Om energiåtgång och/eller kemikalieförbrukning överskrider överenskomna värden så ska leverantören ersätta beställaren kostnaden för den extra åtgången. En annan parameter som är viktig att få klart i upphandlingen är tillgängligheten för anläggningen, det vill säga att den uthålligt kan producera det efterfrågade flödet. Det kan formuleras som att anläggningen ska ha en tillgänglighet på 99 % av tiden. Leverantörerna måste då ha en marginal i sin dimensionering för att uppfylla kravet. Kravet kan knytas till en ekonomisk ersättning under de första fem åren om inte tillgängligheten uppnås.

När det gäller krav på avskiljningsgrad av olika ämnen i matarvattnet till membran-anläggningen ska dessa preciseras i förfrågningsunderlaget. Kraven ska förstås vara knutna till känd råvattenkvalitet. Helst ska kraven baseras på utförda pilotförsök under minst ett år. Tyvärr finns det flera exempel på alltför korta försök där viktiga vattenkvalitetsparametrar inte har fångats upp. Under provdrift eller drift av fullskaleanläggningen har det senare visat sig att anläggningen inte är fullt ut dimensionerad för till exempel aktuell turbiditet, halt av naturligt organiskt material, temperatur etc.

En annan mycket viktig parameter för upphandlingen är retur- eller restströmmar och vilka koncentrationer som kan uppkomma och hur de kan hanteras. I en koncentratström kan halten av till exempel PFAS-ämnen var flera gånger högre än i råvattentäkten. I anbudet måste det framgå hur restströmmar ska behandlas, inklusive kostnader.

8.3 Byte av membran

Alla anläggningar kommer att behöva byta membranelement under sin livslängd. Kostnaden är stor och därför är möjligheten att konkurrensutsätta ett kommande byte av membranelement mycket viktig. För att beställaren inte ska bli låst till en leverantör eller ett visst fabrikat bör det vara ett krav i upphandlingen att anläggningen ska vara kompatibel med andra fabrikat med samma filtreringsprincip och membranmått. Det kan i praktiken vara till synes enkla delar, som kopplingar, som inte passar för att kunna byta till en annan leverantör. Detta gäller även NF-membran, typ spirallindade, som har flera tillverkare med lika mått men där kopplingarna mellan membranelement och rör inte är standardiserade. I en upphandling kan förstås inte krav ställas som inte några leverantörer i dagsläget kan uppfylla men för branschen är det en viktig fråga att driva i kommande upphandlingar. I en prekvalificering kan beställaren skaffa sig kännedom om vad som finns tillgängligt på marknaden gällande kompatibilitet.

8.4 Hållbarhet

Vid upphandling bör man även beakta klimatpåverkan under membranens livscykel. Flera membrantillverkare har börjat ta fram underlag och siffror vilket innebär att hållbarhet är en fråga som kan, och behöver, ställas utan att den stjälper upphandlingen.

Referenser

- Aggarwala R. (2020). *Strategic Assessment of Drinking Water Production Systems Environmental impacts from a Life Cycle Perspective*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Ahmed F. E., Lalia B. S. & Hashaikh R. (2015). A review on electrospinning for membrane fabrication: Challenges and applications. *Desalination*, 356, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.09.033>
- Ajari H., Chaouachi B., Galiano F., Marino T., Russo F. & Figoli A. (2019). A novel approach for dissolving crystalline LDPE using non-toxic solvent for membranes preparation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 5375-5386. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2123-y>
- Chen X., Cao Q., Chen T., Wang D., Fan Y. & Xing W. (2023). 3D printing for precision construction of ceramic membranes: Current status, challenges, and prospects *Advanced Membranes*, 3, 100068. <https://doi.org/10.1016/j.advmem.2023.100068>
- He Z., Lyu Z., Gu Q., Zhang L. & Wang J. (2019). Ceramic-based membranes for water and wastewater treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 578, 123513. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.074>
- Kamp J., Emonds S., Borowec J., Restrepo Toro M. A. & Wessling M. (2021). On the organic solvent free preparation of ultrafiltration and nanofiltration membranes using polyelectrolyte complexation in an all aqueous phase inversion process. *Journal of Membrane Science*. 618, 118632. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118632>
- Kim D. & Nunes S. P. (2021). Green solvent for membrane manufacture: Recent trends and perspectives. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 28, ss. 100427. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100427>
- Kim D., Livazovic S., Falca G. & Nunes P.N. (2018). Oil-Water separation using Membranes Manufactured from Cellulose/Ionic Liquid Solutions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7 (6), 5649-5659. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04038>
- Lawler W., Antony A., Cran M., Duke M., Leslie G. & Le-Clech P. (2013). Production and characterisation of UF membranes by chemical conversion of used RO membranes. *Journal of Membrane Science*, 447, 203-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.07.015>
- Lidén A. (2020). *Membranfiltrering för dricksvattenberedning - en kunskapssammanställning*. SVU-rapport 2020-4. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Naziri Mehrabani S. A., Vatanpour V. & Koyuncu I. (2022). Green solvent in polymeric membrane fabrication: A review. *Separation and Purification Technology*, 298, 121691. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121691>
- Pentair (2023). *Our Impact*. <https://www.pentair.com/en-us/our-impact.html>. [2023-12-22].
- Selvarajan S. (2020). *Cradle-to-Gate LCA of Water treatment alternatives*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Thiam B. G., Anouar V., El Magri A. & Vaudreuil S. (2022). 3D printed and conventional membranes – a review. *Polymers*, 14 (5), 1023. <http://doi.org/10.3390/polym14051023>
- Tomietto P., Loulergue P., Paugam L. & Audic J.-L. (2020). Biobased polyhydroxykanoate (PHA) membranes: Structure/performance relationship. *Separation and Purification Technology*, 252, 117419. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117419>
-

-
- Vatanpour V., Dehqan A., Paziresh S., Zinadini S., Zinatizadeh A. A. & Koyuncu I. (2022). Polylactic acid in the fabric of separation membranes: A review. *Separation and Purification Technology*, 296, 121433. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121433>
- Vatanpour V., Naziri Mehrabani S. A., Keskin B., Arabi N., Zeytuncu B. & Koyuncu I. (2021). A comprehensive review on the application of boron nitride nanomaterials in membrane fabrication and modification. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60 (37), 13391-13424. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02102>
- Vedula S. S. & Yadev G. D. (2021). Chitosan-based membranes preparation and applications: Challenges and opportunities. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98 (2), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100017>

Bilaga

Bilaga A Enkät

Hållbara Membran

Svenskt Vatten



Syfte: Denna enkät kommer att ge en vägledning om hur man gör produktionen av dricksvatten med membran så ekonomiskt, miljömässigt och prestationsmässigt hållbar som möjligt.

Grönmarkerad cell: Dropdown lista för att välja ett/ flera möjliga svarsalternativ

Anläggningsnamn

Frågor om din membrananläggning

Kommentar

Allmänt

Huvudsakligt syfte (avskiljning)

Drifttagen, år

Hur ser hela beredningskedjan ut och var är membranen placerade

Kompletterades membranen till befintlig anläggning eller designades hela verket nytt samtidigt

Design

Kapacitet

Flux

Recovery

Tryck

Membrantyp spirallindat, hålfiber etc

Material

Fabrikat och modell

Antal membranmoduler

Fällningskemikalier (ja/nej)

Fällningskemikalier (om ja vilka)

Beredningsprocess

Typ av tåkt

Råvattenkvalitet - Färg

Råvattenkvalitet - COD

Råvattenkvalitet - turbiditet

Vilka överväganden har gjort när det gäller placering av membransteg i beredningen?

14 juni 2023

Förbehandling

Förbehandling - om ja - typ av förbehandling

Drift

Antal genomförda membranbyten

Andel membran utbyta

Hur membranbyte genomförs?

Hantering av uttjänta membran

Energianvändning (kWh/m³)

Integritetstest metod

Återkommande problem?

Vilken tvättfrekvens/tvättintervall funkar bäst?

Vilken Tvättsekvens funkar bäst?

Uppstår Driftstörning/avbrott i driften?

Om ja, varför?

Hur länge?

Finns ett effektivt sätt att hantera igensättningar av membran för eran anläggning?

"Lessons learned" kring driftoptimering (vad fungerade bra/vad fungerade inte)

Kemikalieanvändning

Utförs Chemical enhanced backwashing (CEB)?

Om ja, vilka kemikalier

Frekvens

Samma frekvens som rekommenderas av leverantören?

Om inte samma, varför?

Finns provtagningar på CEB + ev. neutraliserat CEB

Analyseras bakspolningsvatten och vatten från CEB?

Om, ja vilka slutsatser som dras från analys resultat?

Utförs Clean In Place (CIP) ?

Vilka kemikalier

14 juni 2023

Frekvens

Finns provtagningar på CIP

Neutraliseras spolvattnet?

Hur?

Slamhantering behövs?

Hur?

Omhändertagande av tvätt/spolvatten (BW, CEB, CIP)

Omhändertagande av koncentrat

Övervakning (automation)

Finns turbiditet övervakning?

Finns partikel räknare?

Vilket av följande resultatmått övervakas på lång sikt (t.ex. övervakas över år)?

Om ja, vilka slutsatser dras av de övergripande resultaten?

Skickas filtratprov till externa laboratorier för analys?

Om ja, när och varför tas filtratprov ?

Vad/vilka parametrar analyseras via externa lab?

Pilot

Har pilotkörning genomförts

Hur länge

Kapacitet

Testkörda lösningar

Hyrd eller köpt anläggning

Vem driftade

Vem ansvarade för utvärdering

Användes resultatet vid upphandling

Om ja, vad?

14 juni 2023

Användes resultatet vid uppskalning till fullskala

Om ja, vad?

"Lessons learned" kring pilotförsök (vad fungerade bra/vad fungerade inte)

Upphandling

Hur anläggningen handlats upp

Utvärderingsgrund

Erfarenhet - Bra/dåligt

Uppföljning av krav. Hur har det gjorts

Har ställda krav uppfyllts

Garantier från leverantör?

"Lessons learned" kring upphandlingen (vad fungerade bra/vad fungerade inte)

14 juni 2023

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se