

# MEMBRAN INOM SVENSK DRICKSVATTENPRODUKTION

## Membrane filtration in Swedish drinking water production

av ANGELICA LIDÉN

Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, Box 118, 221 00 Lund

e-post: angelica.liden@tvrl.lth.se



### Abstract

The interest for membrane technologies has increased in Sweden during the past years. With this in mind, the Svenskt vatten utveckling (SVU) funded project “GenoMembran” was realized, to study improved removal of natural organic matter (NOM). Ultrafiltration with coagulation pretreatment could produce water of similar quality of current conventional treatments, while a tighter membrane, a nanofilter, could improve the water quality. The reductions of viruses were even better than expected, with reductions up to 6-log. An ultrafilter costs marginally more to operate than current conventional treatment does, while the nanofilter would cost around one third more to operate, partly due to the cost of the membrane modules. Although membrane processes have a higher direct energy use, a change into a membrane process would lead to lower greenhouse gas emissions. The increased interest of membranes has good causes, but there are many aspects to consider before a suitable solution is found in a specific situation.

*Key words* – Drinking water, hollow fiber membranes, natural organic matter

### Sammanfattning

Användningen av membran teknik har de senaste åren ökat inom svensk dricksvattenproduktion. Med anledning av detta genomfördes ett Svenskt vatten utveckling (SVU) finansierat projekt, GenoMembran, som undersökte hur effektivt två typer av membran kan avskilja naturligt organiskt material (NOM). Ett ultrafilter kombinerat med fällning visades kunna producera samma vattenkvalitet som idag produceras av konventionell fällning. Ett tätare membran, i klass med ett nanofilter, visade sig kunna förbättra avskiljningen. Virusreduktionen var till och med bättre än förväntat, med reduktioner upp till 6-log. Ett ultrafilter kostar ungefär lika mycket i drift som en konventionell reningsprocess, medan ett nanofilter skulle öka driftkostnaderna med nästan en tredjedel, mycket på grund av kostnaden för själva membranen. Däremot skulle ett byte till en membranprocess medföra mindre utsläpp av växthusgaser, och i svenska förhållanden skulle ett nanofilter orsaka minst utsläpp, trots den ökade direkta energianvändningen. Intresset för membran har ökat med rätt, men det finns många perspektiv att fundera på innan en passande lösning för ett specifikt råvatten kan bestämmas.

## 1 Inledning

Intresset för membran teknik inom vattenrening har ökat allt mer under de senaste decennierna, i Sverige och internationellt. Pilotförsök genomförs på många håll i Sverige, både inom dricksvattenrening och avloppsvattenrening. Under de senaste åren har ett flertal fullskalanläggningar tagits i bruk för dricksvattenrening, och många producenter överväger att införa membran teknik i sina processer. Det finns ett flertal alternativ för membran för dricksvattenrening, som kan anpassas utifrån

behoven för det specifika verket. Beroende på kemisk karaktär och flödesbehov kan olika för- och nackdelar behöva beaktas med olika prioritet.

2012 startade det SVU-stödda projektet GenoMembran (Lidén et al., 2015), där Sydsvatten, Norrvatten, Tekniska verken i Linköping och Vivab tillsammans med SLU i Uppsala och Lunds universitet testade fullskalemembran för en förbättrad avskiljning av naturligt organiskt material (NOM). Ultrafilter och tätare membran har visats vara en barriär för parasiter, såsom *Cryptosporidium*, och för virus (Fiksdal & Leiknes, 2006;

Antony et al., 2012; Huang et al., 2012). Ultrafilter i kombination med fällningskemikalie kan avskilja NOM (Guigui et al., 2002; Konieczny et al., 2007), men utan fällningskemikalie blir effekten på totalt organiskt kol (TOC) och UV-absorbansen (UVA) liten (Cho et al., 1999; Mijatović et al., 2004). Ännu tätare membran, nanofilter eller i vissa varianter kallat täta ultrafilter, kan avskilja NOM utan fällningskemikalie (Odegaard et al., 2000; Gorenflo et al., 2003; Liu et al., 2013).

I Sverige har det byggts både ultrafilteranläggningar och nanofilteranläggningar inom dricksvattenverk. Ultrafilter av hålfibertyp och spirallindade nanofilter används som mikrobiologisk barriär och avskiljning av NOM. En relativt ny lösning är tätare ultrafilter eller nanofilter med liknande karaktär som ultrafilter, av hålfibertyp. Ett exempel på en sådan typ, utvecklat specifikt för en bättre avskiljning av NOM, är ett hålfiber-nanofilter (HFNF) från Pentair X-Flow, med en molekylär cut-off på 1000 kDa (Futselaar et al., 2002; Verissimo et al., 2005; Keucken et al., 2016).

Nedan presenteras resultat från delar av GenoMembran, som utfördes under 2012–2014, i en mobil anläggning som var anpassad för två typer av membran, ett ultrafilter och ett HFNF. Den här artikeln presenterar möjligheterna till avskiljning av NOM av två typer av membran, och presenteras en översiktlig ekonomisk analys över konventionell reningsprocess, ultrafilter med fällning och nanofilter. En analys över deras miljöpåverkan presenteras också. Artikeln är en sammanfattning av delar ur min avhandling (Lidén, 2016), där främst två artiklar har använts som underlag, tillsammans med projektrapporten (Lidén et al., 2015). Data från tre vattentäkter presenteras, där två är vattentäkter till Syd-vattens Ringsjöverket, Bolmen och Ringsjön, och en är vattentäkt till Råberga som tillhör Tekniska verken i Linköping, Stångån.

## 2 Metod

### 2.1 Membranen och anläggningen

I försöket har två typer av membran använts i en större pilotanläggning, som byggts i en flyttbar container. Båda membranen kommer från Pentair X-flow och eftersom

de hade samma utvändiga storlek kunde båda användas i samma pilotanläggning. Ena membranet var ett hålfiber ultrafilter (HFUF), Aquaflex55, och det andra var ett HFNF, HFW 1000. De hade båda fiberstorlek på 0.8 mm i innerdiameter, och var drygt 1,5 m långa. Detta HFUF bestod av 15 000 fibrer med en membran-yta på 55 m<sup>2</sup>. Det hade en porstorlek på ca 20 nm, eller en molekylär cut-off på 150 kDa. Det innebar att det hade en garanterad virusreduktion på 4 log, men krävde en fällningskemikalie för att få bort färg och TOC. HFNF hade en något mindre yta, ca 11 000 fibrer med en yta på 40 m<sup>2</sup>, och en molekylär cut-off på 1 kDa, vilket utöver samma garanterade virusreduktion gav en god reduktion av NOM; TOC och UVA kan reduceras utan tillsatt fällningskemikalie. Däremot krävdes ett tvärströmsflöde eftersom det relativt höga trycket (2,5 bar och uppåt) annars skulle göra beläggningen på membran-ytan mycket kompakt. Dessutom behövdes koncentratet tappas av, vilket gav en förlust av vattenvolym som pumpas in i processen.

Containeranläggningen var anpassad för att kunna använda båda dessa membran. Det innebar att den både hade ett system för att dosera fällningskemikalie och pH-justerande kemikalier i råvattentanken och en cirkulationspump för tvärströmsflödet, en permeattank där renvattnet samlades för att kunna spola och backspola membranerna. Dessutom fanns tankar och pumpar för tvättkemikalier, där saltsyra användes som pH-sänkande, och natriumhydroxid som pH-höjande. Samma kemikalier och tankar användes för pH-justeringen. Dessutom tillsattes natriumhypoklorid vid den basiska tvätten för att få bort mer av det organiska och biologiska materialet, samtidigt som den hade en desinficerande effekt.

### 2.2 Råvattenkällorna

I denna artikel presenteras resultat från tre av råvattenkällorna jag studerade i min avhandling (Lidén, 2016). Råvattenkällorna är Stångån, råvattentäkt till Råberga i Linköping, Bolmen, huvudvattentäkt till Ringsjöverket i Skåne, och Ringsjön, reservvattentäkt till Ringsjöverket. Ån och sjöarna har olika kemiska karaktärer, där Bolmen är den med högst färgtal och Ringsjön är den hårdaste (Tabell 1)

Tabell 1. *Kemisk karaktär under pilotförsöken för råvattnen som behandlats av membranläggningen.*

Vattenkälla	TOC (mg/L)	UVA (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (L/(mg·m))	Hårdhet (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	Turbiditet (FNU)
Stångån	9,4	0,30	3,2	46	4,4
Bolmen	9,6	0,39	4,1	23	2,0
Ringsjön	8,0	0,23	2,9	98	3,5

## 2.3 Pilotstudien

Pilotstudien startade med vatten från Stångån i oktober 2012, som sedan avslutades i mars 2013. Därefter flyttades pilotanläggningen till Sydvattnens Ringsjöverket där den användes mellan juli 2013 och januari 2014. Vatten från Stångån och Bolmen behandlades av HFUF- och HFNF-modulerna medan vatten från Ringsjön endast behandlades av HFNF-modulen på grund av tidsbrist.

I studien över HFUF användes tre olika typer av fällningskemikalie, polyaluminiumklorid (PACl) och järnklorid (FeCl) i vatten från Stångån och aluminiumsulfat (alum) i vatten från Bolmen. Pilotstudien med FeCl var svår att få stabil på grund av den låga alkaliniteten och en pH-justering med för lång fördröjningstid mellan dosering och pH-mätaren, därför är resultaten från de försöken mer osäkra än övriga resultat.

Flux varierades i studierna med båda typerna av membran. Ett flux på 60 l/m<sup>2</sup>h gav goda resultat för HFUF-modulen, och även högre flux var möjligt utan någon större förändring på permeatets vattenkvaliteten. I försöken med HFNF-modulen kördes alla längre försök med ett flux på 20 l/m<sup>2</sup>h och ett tvärströmsflöde med en hastighet på 0,5 m/s, efter att ha testa olika kombinationer av tvärströmsflöden och flux för att hitta de bästa inställningarna.

Filtrationscyklerna såg olika ut mellan de två membranerna. På grund av att inget tvärströmsflöde användes för HFUF behövde det backspolas relativt ofta. Tiden mellan varje spolning och backspolning av membranerna uppgick till 20 min eller en halvtimme beroende på det aktuella behovet. Dessutom behövde membranerna tvättas med syra samt lut och natriumhypoklorit i genomsnitt två gånger per dygn. HFNF membranet behövde endast backspolas en gång var 60 min, och det tvättades med lut och natriumhypoklorit var 36 h, vilket hade funnits vara det bästa intervallet mellan tvättarna genom försök med längre och kortare tider. Tvätten av HFNF tog däremot längre tid, och pågick i en timme, då vattnet med den kemiska tillsatsen cirkulerade över membranet, medan HFUF tvättades under drygt 2 x 10 min.

## 3 Operationella lärdomar

### 3.1 Tryckutveckling, fällning och pH

Att använda fällningskemikalie i kombination med ultrafilter har inte bara uppvisat möjlig förbättring av vattenreningen, utan har visats påverka igensättningen av porer, och därmed tryckbehovet från pumparna. Tillsett fällningskemikalie har visats leda till en bättre bibehållt flux, vid konstant tryck, och därmed förbättrat membranets kapacitet och troligen dess livslängd (Kabsch-

Korbutowicz, 2006). I vår pilotstudie kunde denna inverkan av fällningskemikalie ses, och en jämn dosering av aluminiumbaserad fällningskemikalie, med stabilt och neutralt pH, gav de bästa förutsättningarna för flux och tvätt av membranet. Med för liten dosering av fällningskemikalie (< 2 mg Me<sup>3+</sup>/l) var inte effekten tillräckligt stor, och membranet satte igen mellan tvättarna. Däremot gav större dosering vid försöken med PACl inget problem, och det var möjligt att optimera utifrån bästa avskiljning av NOM på nivåer upp till 7 mg Al<sup>3+</sup>/l.

pH visades ha en stor inverkan på tryckutvecklingen över tid. Ett neutralt pH, eller strax över, gav ett stabilt tryck med liten ökning mellan tvättarna, medan ett lågt pH gav en brant tryckutveckling. Samtidigt fanns en motsatt relation mellan pH och avskiljningen av NOM. Under försök med dosering av järn, uppvisade membranet problem med igensättning. Det finns olika förklaringar till varför järnbaserad fällningskemikalie orsakar mer problem än aluminiumbaserade. Det kan bero på föroreningar i kemikalien, såsom mangan, vilket kan orsaka problem. I detta försök upplevdes också problem med pH-justeringen, vilket gav ett instabilt matarvatten och problem med igensättning. Det är rekommenderat att undersöka olika typer av fällningskemikalie och deras inverkan i relation till olika typer av membran innan längre försök genomförs.

### 3.2 Flux, cirkulation och tvätt

Vattenförbrukning, och även till viss del membranets livslängd, påverkas av faktorerna flux, cirkulation och tvätt. Högre flux kan ge mindre förluster, men det kan även leda till ett behov av kortare intervall mellan tvättarna. I studien med HFUF kunde fluxet ökas till 76,5 l/m<sup>2</sup>h (motsvarar ca 4,2 m<sup>3</sup>/h) utan att påverka tvättbehovet. Tryckkurvan stegrades snabbare än de lägre fluxen på 50 l/m<sup>2</sup>h och 60 l/m<sup>2</sup>h, mellan vilka skillnaden var begränsad. Däremot verkade kemin av matarvatten ha större inverkan på behovet av tvätt, både spolning och kemisk tvätt, av membranet, och inte minst den olika karaktären av NOM inverkar på tvättbehovet.

För HFUF är det endast tvättarna som ger förluster av vatten, och det kan därför vara viktigt att optimera dessa om vattenförlusterna ska minimeras, t.ex. på grund av transportsträckor eller generell vattenbrist. För att minska förlusterna ytterligare kan spolarvatten återföras och renas, medan tvättvattnet efter kemisk tvätt måste gå till avlopp.

Eftersom ett cirkulationsflöde tillkommer i processen med HFNF finns det fler faktorer som påverkar vattenförluster och livslängd, och som konsekvens har samma parametrar effekt på energianvändning. Den som har

störst effekt på alla tre är cirkulationsflödet, där val av hastighet påverkar beläggningen på membranet, som i sin tur avgör vilket intervall mellan tvättar som behövs. I försöken visade det sig att för alla råvattenkällor så var ett tvärströmflöde på 0,5 m/s och ett flux på 20 l/m<sup>2</sup>h (0,8 m<sup>3</sup>/h) ett optimalt val. Ett lägre tvärströmsflöde hade negativ inverkan på NOM-avskiljningen och dålig minskning av beläggningen medan ett högre tvärströmsflöden inte gav någon ytterligare positiv effekt på processen. Högre flux var möjligt under kortare tid, men det gav negativ effekt på NOM-avskiljningen, och krävde en stor effekt av pumpen. Med vatten från Bolmen klarade inte pumpen av ett flux större än 23 l/m<sup>2</sup>h, och det med ansträngning, medan ett flux på 25 l/m<sup>2</sup>h var möjligt för vatten från de andra två vattenkällorna.

Cirkulationsflödet i samband med försöken med HFNF-modulen, och den relativt höga koncentrationen av ämnen i koncentratet, krävde att del av den strömmen tömdes efter membranet som rejekt. I denna studie var detta utflöde lika stort som det flöde som gick igenom membranet, och innebar därför ett bruttoutbyte på 50 %. Detta kan motverkas genom att ha flera HFNF-steg efter varandra, men en del som förloras på grund av koncentrationen är oundvikligt. Större bruttoutbyten har i andra studier visats möjliga (Heidfors et al., 2015) och förlusterna skulle därmed kunna minskas. I studien med vatten från Stångån visades det vara möjligt att producera en likvärdig vattenkvalitet vid ett bruttoutbyte på 75 % som ett bruttoutbyte på 50 %. Högre utbyte, 87,5 %, gav en försämrad vattenkvalitet och höga koncentrationer av TOC i koncentratet, som blev för hög för att producera en bra vattenkvalitet i permeatet. Dessutom innebär en så hög koncentration det risk för problem med beläggning vid längre körningar. I relation till den vattenförlust som görs genom rejektet är förlusterna från tvätt av HFNF membranet liten, men uppgick till drygt 4 %, vilket behöver vara renat vatten för backspolning och kemisk tvätt.

#### 4 Mindre NOM, mindre virus

Huvudsyftet med studien var att undersöka om membran kunde förbättra och effektivisera reduktionen av organiskt material inom dricksvattenproduktion. TOC användes som bulkparameter för att utvärdera denna reduktion, och UVA användes för att undersöka selektiviteten av aromatiska ämnen. Resultaten för reduktionen av de olika membranerna för de tre källorna visas i Tabell 2. Data visar att HFUF med fällning kan uppnå likvärdig reduktion av TOC och UVA som de konventionella reningsmetoderna på vattenverken. Eftersom detta reningssteg skulle ersätta konventionell fällning och sedimentering skulle ytterligare TOC kunna redu-

Tabell 2. Vattenkvalitet efter behandling med membranerna (Lidén & Persson, 2016b).

	UVA (cm <sup>-1</sup> )	TOC (mg/l)
<b>HFNF</b>		
Bolmen (n=34)	0,012 (±0,0013) 97 %	0,84 (±0,09) 91 %
Ringsjön (n=25)	0,024 (±0,003) 90 %	1,19 (±0,16) 86 %
Stångån (n=26)	0,021 (±0,013) 91 %	1,3 (±0,5) 87 %
<b>HFUF</b>		
Bolmen (alum) (n=22)	0,08 (±0,01) 77 %	3,3 (±0,3) 65 %
Stångån (PACI) (n=7)	0,07 (±0,01) 77 %	4,3 (±0,4) 54 %

ceras i långsamfilter, som är det existerande efterföljande steget i dessa två verk, vilka har visats ha en liten reducerande effekt av TOC (Lavonen et al., 2015).

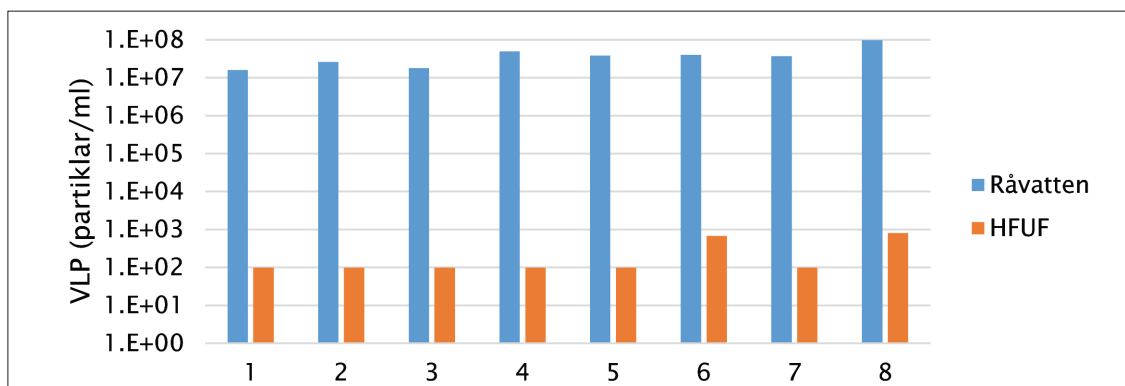
Tabell 2 visar också på den förbättring av vattenkvaliteten som ett membran av typen HFNF kan uppnå. Förbättringen skulle medföra TOC-koncentration på mindre än hälften av de koncentrationer som idag uppmäts i utgående vatten. Dessutom reducerades en stor del av UVA, och i vatten som har mycket organiskt material med ursprung i skog, som exemplifieras av Bolmen, är resterande koncentration av aromatiska ämnen mycket låg.

Eftersom ultrafiltret har porer mindre än storleken på de minsta virus är det förväntat att se en reduktion av virus och andra mikroorganismer. Under försöken gjordes regelbundet provtagningar av råvatten och permeat som skickades till Göteborg Kretslopp och vatten, där antalet viruslika partiklar (VLP) i proverna analyserades (Patel et al., 2007). Dessa prover visade att överlag låg antalet viruslika partiklar under detektionsgränsen (100 partiklar/ml), och i medeltal låg reduktionen på drygt 5-log (Figur 1).

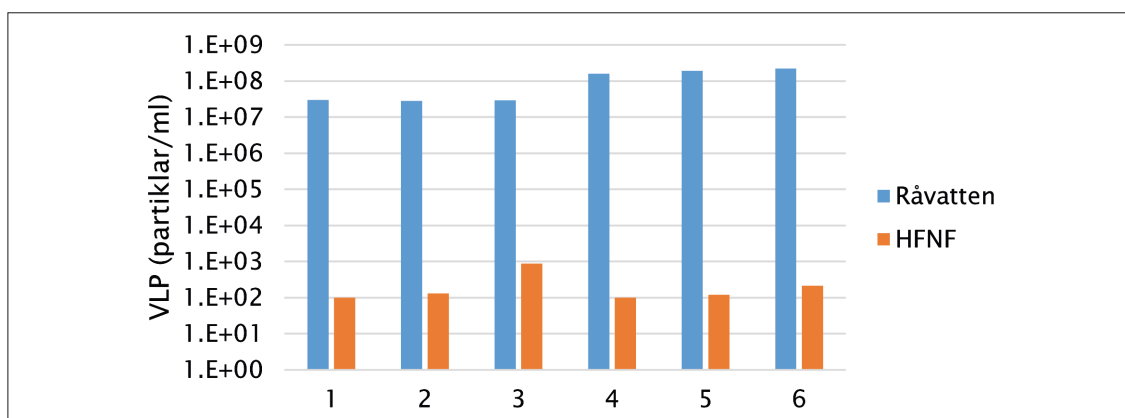
HFNFs ännu tätare membran innebar att minst likvärdig reduktion var förväntad. För ett intakt HFNF-membran låg nästan alla värden i permeatet under detektionsgränsen, vilket innebar en reduktion på drygt 5-log, och 6-log i reduktion av virus i vatten taget från Ringsjön (Figur 2).

#### 5 Ekonomi och Miljö

På grund av tryckbehovet i processer med membransteg, beskylls de mer eller mindre rättvist för att vara mycket energikrävande. Med högre energianvändning riskerar de att öka miljöpåverkan, liksom att de blir dyra i drift.



Figur 1. VLP per ml i råvatten från Stångån och samma vatten efter beredning med HFUF, siffrorna på x-axeln representerar separata tillfällen för provtagningar.



Figur 2. VLP per ml i råvatten från Bolmen (1–3) och Ringsjön (4–6) och samma vatten efter filtrering av HFNF.

Det beror givetvis på vilken typ av membran som används. För att uppskatta skillnaden i kostnad och miljöpåverkan för dessa typer av membransteg jämfört med konventionella processer, gjordes en jämförelse mellan de två pilotförsöken med HFNF och HFUF på Ringsjöverket med vatten från Bolmen. Jämförelsen gjordes baserat på verkets faktiska kostnader under 2015.

Ett ultrafilter kräver relativt små tryck, med en tryckförlust över membranet på ca 0,25 bar, och därmed är ökningen av energianvändningen inte så stor relativt till

den totala energiförbrukningen. Kostnaden för elektricitet per m<sup>3</sup> vatten ökar endast med 1 öre. Besparingar kan istället göras på grund av ett mindre behov av fällningskemikalie, vilket minskar kostnaderna för kemikalier. Därmed är det endast kostnaden för själva membranet som medför att kostnaden för ultrafiltrerat vatten skulle vara 18 öre dyrare per m<sup>3</sup> än dagens produktion (Tabell 3). Detta förutsätter att andra kostnader, såsom för pumpar, arbetskostnader och desinficering, inte förändras avsevärt jämfört med dagens nivå.

Tabell 3. Kostnad för de olika beredningen (SEK/m<sup>3</sup>) (Lidén & Persson, 2016a).

	Syra och bas	Fällning	Moduler	NaOCl	Kalk	Energi	Overhead	Totalt
Nuvarande process	0,020	0,11	0	0,041	0,77	0,33	1,71	2,97
HFUF	0,056	0,072	0,068	0,15	0,77	0,34	1,71	3,15
HFNF	0,008	0	0,76	0,059	0,77	0,65	1,71	3,87

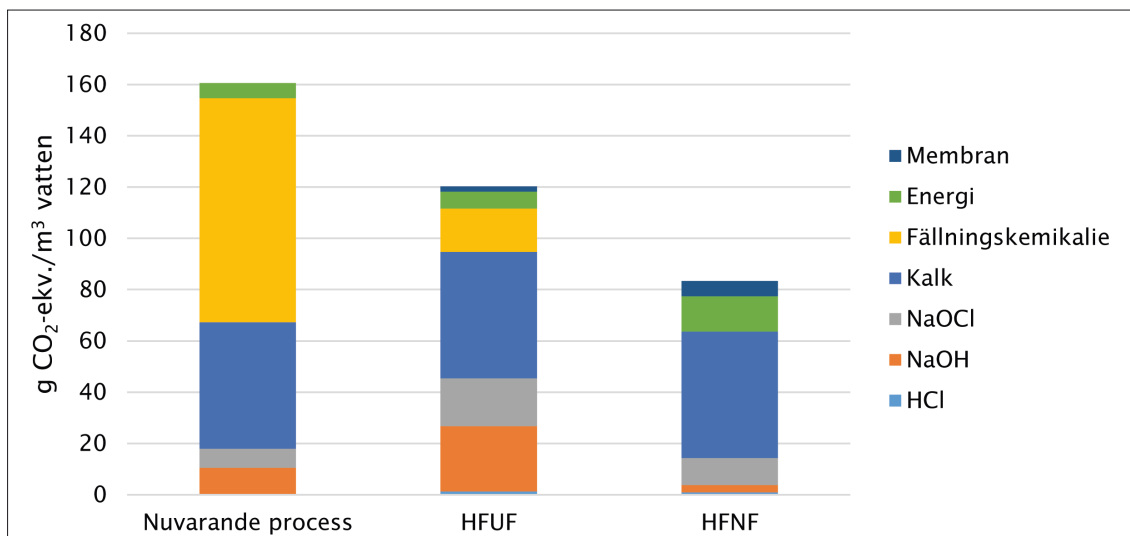
HFNF har däremot ett högt tryckbehov, med tryckskillnader över membranet på minst 2,5 bar och upptill 4 bar. Dessutom behövs ett cirkulationsflöde som kräver en pump som kan accelerera det inkommande vattnet, samt motverka den tryckförlust som sker när vattnet passerar genom de smala fibrerna. Det skulle medföra en fördubbling av kostnaden för elektricitet vid en fullskalproduktion av vatten. Å andra sidan minskar kostnaden för kemikalier, och den dyra fällningskemikalien behövs inte alls. Dock, på grund av den relativt stora vattenförlusten av 14% av det inkommande vattnet, samt den stora mängden membran som behövs per m<sup>3</sup> producerat vatten, medför att ett sådant vatten skulle kosta 30% mer att producera än i nuvarande process (Tabell 3). Utöver detta är det en stor skillnad i att bygga ett processteg med ett HFNF jämfört med HFUF. På grund av den större mängden membran som krävs, och även faktorer som större storlek på byggnaden, fler pumpar och mer utrustning runtomkring, skulle HFNF kosta ca tre gånger så mycket att bygga in i en dricksvattenprocess.

Miljöpåverkan kan utvärderas utifrån flertal perspektiv, där klimatpåverkan bara är ett. Samtidigt är den påverkan lättast att kvantifiera eftersom den kan uppskattas i termer av g CO<sub>2</sub>-ekvivalenser, i detta fall per m<sup>3</sup> producerat dricksvatten. För detta behövdes data för energianvändning, kemikalieförbrukning och mängd förlorat vatten per producerat dricksvatten. Dessa räknades fram utifrån de parametrar som presenteras i kapitel 3 ovan eller hämtades från Sydsvatten. Mer detaljerad information om vilken information som har använts finns i Lidén & Persson (2016a). I denna livscykelanalys över

de tre processerna har produktionen av kemikalierna, energiförbrukning och tillverkningen av membranmodulerna tagits med, det vill säga det som har ansetts vara förbrukningsmaterial relaterad till produktionen. Utsläpp relaterade till byggnationen är inte försumbara, men de står endast för ca 10% av de totala utsläppen under en livstid (Friedrich, 2002; Bonton et al., 2012) och därmed bör skillnaden mellan utsläppen vid byggnationerna ha liten inverkan på slutsatserna av jämförelsen. Data för utsläpp kopplade till kemikalierna som används inom dricksvattenproduktion har hämtats från Alvarez-Gaitan et al. (2013), förutom saltsyran som hämtades från Kuckshinrichs (2012). Utsläppen kopplade till produktion av elektricitet hämtades från Svensk Energi (2016).

I Figur 3 visas resultatet från de beräknade utsläppen av växthusgaser. Trots den ökade energianvändningen skulle ett byte från konventionell vattenrening till membranrening minska utsläppen, i synnerhet med HFNF-modulen, mycket på grund av utsläppen orsakade av produktionen av fällningskemikalier. Dessutom bidrar de relativt låga utsläppen från svensk energiproduktion till att energianvändningen bara står för en liten del av de totala utsläppen, dock skulle även nordiska nivåer på utsläppen från energiproduktionen (ca fem gånger större) visa på en minskning av utsläppen från membranprocesserna jämfört med den nuvarande processen (Lidén & Persson, 2016a).

Växthusgaserna från dricksvattenproduktion är mycket låga, mycket under 1% av medelsvenskens utsläpp. Det vore därför inte effektivt att satsa stora pengar på att minska växthusgasutsläppen från dricksvattenproduk-



Figur 3. Utsläpp från de olika processtyperna, fördelat på olika källor (Lidén och Persson, 2016b).

tionen, eftersom det skulle ge större effekt att satsa mer på andra typer av utsläpp. Däremot visar siffrorna att en ökad direkt energianvändning inte nödvändigtvis betyder en större påverkan på miljön när det gäller membran, eftersom den indirekta energianvändningen faktiskt minskar om kemikalieförbrukningen minskar.

Växthusgaser är bara en typ av miljöpåverkan från dricksvattenproduktion. En stor miljöpåverkan beror ofta på restprodukten efter fällningen och det slam med hög metallhalt och höga värden av organiskt material som produceras. I dagsläget finns det få lösningar på hur detta kan tas tillvara, och därmed är det viktigt att arbeta för att minska produktionen av restprodukten. Där är nanofilter ett alternativ, eftersom det slam som produceras inte innehåller några kemikalier. När det gäller just Ringsjöverket uppstår dock ett annat problem eftersom råvattnet transporteras 10 mil innan det når vattenverket. Det medför att koncentratet inte kan återföras till råvattenkällan. Det går också åt energi för att transportera råvattnet, eftersom de sista 2 milerna är trycksatta. Därför är förlust av 14 % av inkommande vatten ett problem, och nya lösningar skulle krävas för att ta tillvara det vattnet för att det skulle vara ett bra alternativ för vattenverk med liknande avstånd till råvattenkällan.

## 6 Framtidens användning av membran inom svensk dricksvattenproduktion?

Det finns goda anledningar till varför membran är på uppgång inom dricksvattenproduktionen, både i Sverige och internationellt. Det är en relativt lätt metod för att uppnå goda resultat, och leder till en god dricksvattenkvalitet, särskilt när det gäller att förhindra sjukdomsbringande mikroorganismer. Jämfört med konventionell rening är en membranprocess lätt att sätta på och stänga av, och är därför mycket användbara för att skapa redundans i ett dricksvattensystem – eller i sådana områden där vatten inte behövs under perioder av året.

Med ett ökat intresse, fler anläggningar och ett kunskapsspridande bland dricksvattenproducenterna har membran visat tecken på att etableras som en av de främsta processlösningarna i framtiden. Många producenter av membran har en god utveckling av sina produkter, och det har kommit fler alternativ under de åren som GenoMembran-projektet pågick. Det finns goda möjligheter att det leder till ännu bättre anpassade membran för ytvattenproducenter.

Ett tätt membran, som HFNF, kan för många dricksvattenproducenter vara en alltför stor investering för att kunna motiveras med den bättre dricksvattenkvaliteten. Eftersom koncentrationerna i det producerade vattnet

hamnar betydligt under vad som är godkänd dricksvattenkvalitet kan en sådan lösning, av många anses vara överdimensionerad, utifrån förmågan till NOM-reduktion. I dagsläget kan ett ultrafilter vara mer motiverat. Den investeringen som görs med en sådan anläggning leder inte till fortsatta höga kostnader, utan kan hållas på ungefär samma nivå som nuvarande process. Samtidigt vinner producenterna i möjlighet att ha en snabbare reaktion på förändringar av vattenkvaliteten – tiden mellan tillsatts av fällningskemikalie och att det har filtrerats av ultrafiltret är ett par minuter – medan det tar mångdubbelt så lång tid med flockningskammare, sedimentation och snabbfilter. Denna tidsvinst gör att processen snabbare kan justeras om en förändring i det producerade vattnet upptäcks.

Det bör påpekas att, liksom med andra reningsprocesser, så finns det inte en universell lösning för ett membransteg, utan den måste anpassa till det råvatten som ska behandlas. Fällningskemikalie måste optimeras, liksom pH, både med avseende på den önskade vattenkvaliteten, och med avseende på membranets egenskaper, som kan påverka möjligheterna till flux samt behov av tvätt.

## Referenser

- Alvarez-Gaitan, J. P., Peters, G.M., Rowley, H.V, Moore, S., Short, M.D. (2013) A hybrid life cycle assessment of water treatment chemicals: an Australian experience. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18(7), 1291–1301.
- Antony, A., Blackbeard, J., Leslie, G. (2012) Removal Efficiency and Integrity Monitoring Techniques for Virus Removal by Membrane Processes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42(9), 891–933.
- Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau, B., Jedrzejak, S. (2012) Comparative life cycle assessment of water treatment plants. *Desalination* 284, 42–54.
- Cho, J., Amy, G., Pellegrino, J. (1999) Membrane filtration of natural organic matter: initial comparison of rejection and flux decline characteristics with ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Water Research* 33(11), 2517–2526.
- Fiksdal, L., Leiknes, T. (2006) The effect of coagulation with MF/UF membrane filtration for the removal of virus in drinking water. *Journal of Membrane Science* 279(1), pp 364–371.
- Friedrich, E. (2002) Life-cycle assessment as an environmental management tool in the production of potable water. *Water Sci Technol* 46(9), 29–36.
- Futselaar, H., Schonewille, H., van der Meer, W. (2002) Direct capillary nanofiltration — a new high-grade purification concept. *Desalination* 145(1), 75–80.
- Gorenflo, A., Velázquez-Padrón, D., Frimmel, F.H. (2003) Nanofiltration of a German groundwater of high hardness and NOM content: performance and costs. *Desalination* 151(3), 253–265.
- Guigui, C., Rouch, J.C., Durand-Bourlier, L., Bonnelye, V., Aptel, P. (2002) Impact of coagulation conditions on the

- in-line coagulation/UF process for drinking water production. *Desalination* 147(1–3), 95–100.
- Heidfors, I., Vredendregt, L.H. J., Holmes, A., van Es, M.B. (2015) Pilot testing with hollow fiber nanofiltration membranes for removal of NOM from surface water in Sweden. 6th IWA specialist conference on natural organic matter in water, Malmö.
- Huang, H., Young, T.A., Schwab, K.J., Jacangelo, J.G. (2012) Mechanisms of virus removal from secondary wastewater effluent by low pressure membrane filtration. *Journal of Membrane Science* 409, 1–8.
- Kabsch-Korbutowicz, M. (2006) Removal of natural organic matter from water by in-line coagulation/ultrafiltration process. *Desalination* 200(1–3), pp 421–423.
- Keucken, A., Wang, Y., Tng, K.H., Leslie, G.L., Persson, K. M., Köhler, S.J., Spanjer, T. (2016) Evaluation of novel hollow fibre membranes for NOM removal by advanced membrane autopsy. *Water Science and Technology: Water Supply* 16(3), 628–640.
- Konieczny, K., Bodzek, M., Kopeć, A., Szczepanek, A. (2007) Coagulation – Submerged membrane system for NOM removal from water. *Polish Journal of Environmental Studies* 16(4), 563–569.
- Kuckshinrichs, W. (2012) Managing CO2 Emissions in the Chemical Industry. Von H.-J. Leimkühler. *Chemie Ingenieur Technik* 84(7), 1140–1140.
- Lavonen, E.E., Kothawala, D.N., Tranvik, L.J., Gonsior, M., Schmitt-Kopplin, P., Köhler, S.J. (2015) Tracking changes in the optical properties and molecular composition of dissolved organic matter during drinking water production. *Water Research* 85, 286–294.
- Lidén, A. (2016) Safe drinking water in a changing environment: Membrane filtration in a Swedish context. Diss. Lund University.
- Lidén, A., Keucken, A., Persson, K.M. (2015) *GenoMembran Slutrapport från projekt 2012–2015 (SVU-Rapport Nr 2015-20)*. Bromma.
- Lidén, A., Persson, K. (2016a) Feasibility Study of Advanced NOM-Reduction by Hollow Fiber Ultrafiltration and Nanofiltration at a Swedish Surface Water Treatment Plant. *Water* 8(4), 150.
- Lidén, A., Persson, K.M. (2016b) Comparison between ultrafiltration and nanofiltration hollow-fiber membranes for removal of natural organic matter: A pilot study. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA* 65(1), 43–53.
- Liu, G., Lut, M.C., Verberk, J.Q.J.C., Van Dijk, J.C. (2013) A comparison of additional treatment processes to limit particle accumulation and microbial growth during drinking water distribution. *Water research* 47(8), pp 2719–28.
- Mijatović, I., Matošić, M., Hajduk Černeha, B., Bratulić, D. (2004) Removal of natural organic matter by ultrafiltration and nanofiltration for drinking water production. *Desalination* 169(3), pp 223–230.
- Odegaard, H., Thorsen, T., Melin, E. (2000) Practical experiences from membrane filtration plants for humic substance removal. *Water Sci Technol* 41(10–11), 33–41.
- Patel, A., Noble, R.T., Steele, J. A., Schwalbach, M.S., Hewson, I., Fuhrman, J.A. (2007) Virus and prokaryote enumeration from planktonic aquatic environments by epifluorescence microscopy with SYBR Green I. *Nat. Protocols* 2(2), 269–276.
- Svensk Energi. Klimatpåverkan och växthusgaser. [online] (2016) Available from: [www.svenskenergi.se](http://www.svenskenergi.se).
- Veríssimo, S., Peinemann, K.-V., Bordado, J. (2005) New composite hollow fiber membrane for nanofiltration. *Desalination* 184(1), 1–11.