

Titel
Vattenrening vid File hajdar-täkten

Datum
11/12/2023
Dokumentets version
1.5

Vattenrening vid File hajdar-täkten, Heidelberg Materials Cement Sweden AB

Utfärdat av	Underskrift	Datum
Jonas Aaw	e-sign	e-sign
Godkänd av projektledare AFRY	Underskrift	Datum
Nathalie Stärner	e-sign	e-sign
Godkänd av projektledare Heidelberg Materials Cement Sweden	Underskrift	Datum
Pontus Lind	e-sign	e-sign

Innehåll

1	Introduktion	4
2	Genomförande av pilotstudie	5
3	Pilotanläggningen vid File hajdar-täkten	5
3.1	Drift av pilotanläggningen	7
3.1.1	Uppsamling av råvatten	7
3.1.2	Drift av trumsil	7
3.1.3	Drift av ultrafilteranläggning	7
3.1.4	Drift av nanofilteranläggning	8
3.1.5	Kemikalier	8
3.2	Provtagningsplan och parametrar	9
4	Provtagningsresultat	11
4.1	Mikroorganismer	11
4.1.1	Råvatten	11
4.1.2	Ultrafiltrat	12
4.1.3	NF filtrat- permeat	12
4.1.4	Avskiljning mikroorganismer genom processen	13
4.2	Kemiska fysikaliska analyser	14
4.2.1	Råvatten	14
4.2.2	PFAS i råvatten	16
4.2.3	”Främmande ämnen”	16
4.2.4	PFAS reduktion	17
4.2.5	Ultrafiltrat	18
4.2.6	NF filtrat- permeat	19
4.2.7	NF koncentrat	21
4.2.8	Avskiljning genom processen	22
5	Slutsats	24
6	Diskussion och rekommendationer	25
7	Introduktion till membranteknik med kort ordlista	26
7.1	Membranteknik introduktion	26
7.1.1	Ultrafilter	26
7.1.2	Nanofilter	26
7.1.3	Omvänd osmos/Reverse osmosis	27
7.1.4	Membranelement:	27
7.2	Kort ordlista avseende membranteknik	28
7.2.1	AS Air Scour/ Air Scrub- Luftspolning:	28
7.2.2	BW Backwash/ backflush/ Backpulse- Backspolning:	28
7.2.3	CEB Chemically Enhanced Backwash:	28
7.2.4	CIP Clean-In-Place:	28
7.2.5	Concentrate- Koncentrat:	28
7.2.6	Dead-End filtrering:	28

7.2.7	Cross-flow filtrering:	28
7.2.8	Feed:	29
7.2.9	Filtrate- Filtrat:	29
7.2.10	Flux- Ytbelastning:	29
7.2.11	Fouling/ Scaling:	29
7.2.12	Permeability- Permeabilitet:	29
7.2.13	Permeat- membranfiltrat:	29
7.2.14	Recovery:	29
7.2.15	Retentat- Koncentrat:	29
7.2.16	TMP:	29
7.2.17	nm eller nanometer:	29
7.2.18	Å eller Ångström:	30

Versioner

Se.	Datum	Beskrivning	Utfärdat av
1.0	2023-08-10	Första godkända versionen	JAAW

1 Introduktion

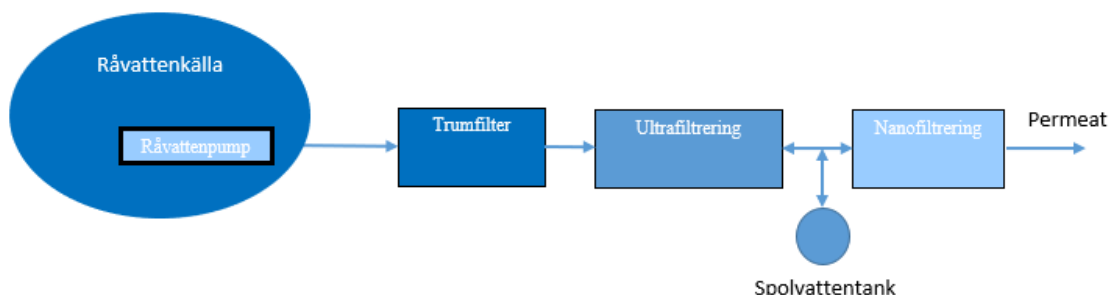
Heidelberg Materials Cement Sverige AB (Heidelberg Materials) utreder möjligheterna att använda vatten från File hajdar-täkten (länshållningsvatten bestående av inläckande grundvatten och nederbördsvatten) för olika ändamål, däribland som råvatten för dricksvattenproduktion, för infiltration av naturmark kring täkten samt tillförsel av vatten till Anerån. För dessa ändamål behöver vattnet behandlas i en vattenreningsanläggning.

För att verifiera att goda vattenkvaliteter kan uppnås med valda processer, har Heidelberg Materials låtit AFRY utföra pilottester. I pilottesterna har olika vatten från File hajdar-täkten renats i trumfil, ultrafilter (UF) och nanofilter (NF). Provtagning och vattenanalyser utfördes enligt överenskomna provtagningsplaner.

Syftet med uppdraget var följande:

- undersöka vattenkvaliteten i länshållningsvattnet
- undersöka om föreslagen beredningsmetod är lämplig för att rena länshållningsvatten till exempelvis dricksvattenkvalitet
- upprätta underlag för design och dimensioneringar av en fullskaleanläggning – inklusive huvudprocess, kemikalier och hjälpsystem
- upprätta underlag för tillståndsprocess
- upprätta underlag för förväntade driftsparametrar.

Parallellt med pilotförsöken har också en förstudie för att ta fram ett koncept för en fullskaleanläggning utförts. Figur 1 visar vattnets väg i projektet.



Figur 1. "Vattnets väg"

Valet av de olika membranteknikerna med ultrafilter och nanofilter, innebär att man på ett relativt enkelt sätt kan uppnå en hög grad av flexibilitet för att justera vattenproduktionen, både avseende eventuell förändring av råvattenkvalitet samt framtida reningskrav på vattnet, jämfört med traditionella reningstekniker.

Flexibiliteten består främst av att det i dag finns ett stort antal olika så kallade nano- och ro filterelement vilka har olika reningsegenskaper. Om förutsättningarna ändras kan man relativt lätt byta ut elementen i en befintlig anläggning för att uppnå en ny kvalitet på det reade vattnet. I vissa fall blandar man olika element i samma anläggning för att uppnå en specifik vattenkvalitet.

Då fackspråket inom membranområdet företrädesvis är engelska internationellt samt även i Sverige förklaras viktiga termer och uttryck i kapitel 7 nedan.

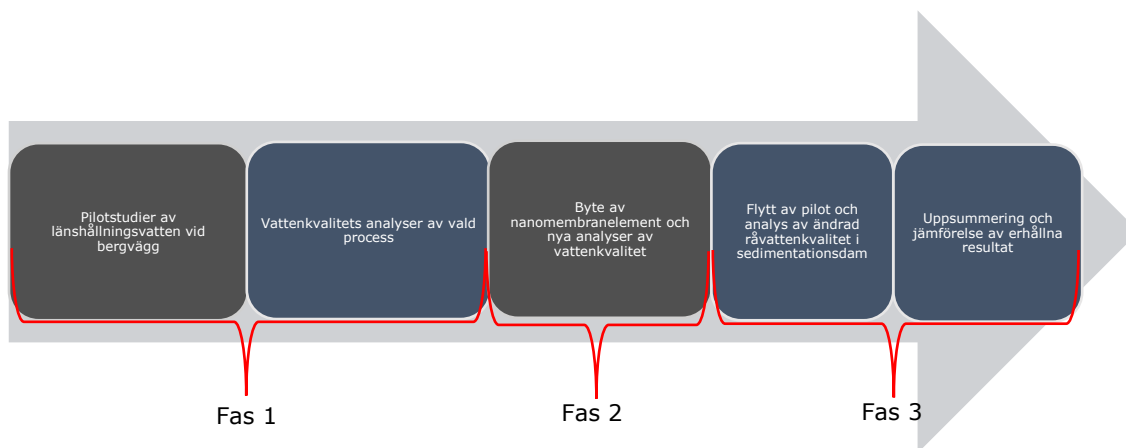
Pilotförsöken har utförts i tre faser. Syftet med denna rapport är att sammanfatta pilotförsökens genomförande, resultat och slutsatser samt jämföra dessa.

1. Fas 1 genomfördes i perioden 2022-09-01 till 2022-11-16: Inläckande vatten från bergvägg samlades i dammar vid bergväggen och processen bestod av trumfilter, ultrafilter samt nanofilter NF270.

2. Fas 2 genomfördes i perioden 2022-12-01 till 2023-03-01, med uppehåll 2022-12-27 till 2023-01-25: Inläckande vatten från bergvägg samlades i dammar vid bergväggen och processen bestod av trumfilter, ultrafilter samt nanofilter NF90.
3. Fas 3 genomfördes i perioden 2023-03-07 till 2023-05-09: Vatten pumpades från den sedimentationsdamm som samlar allt vatten som tillförs File hajdar-täkten. Processen bestod av trumfilter, ultrafilter samt nanofilter NF90.

2 Genomförande av pilotstudie

Syftet med denna rapport är att sammanfatta pilotförsökens genomförande, resultat och slutsatser samt jämföra dessa. Figur 2 visar AFRYS tillvägagångssätt.



Figur 2 AFRYS tillvägagångssätt under de tre faserna.

3 Pilotanläggningen vid File hajdar-täkten

Samma pilotanläggning har använts i alla tre faser. Pilotanläggningen bestod av två containrar med följande utrustning:

- Trumsilning där "grövre" partiklar avskiljs, används främst för att skydda ultrafiltret.
- Ultrafiltrering (UF) där partiklar större än 30 nm avskiljs. Mikroorganismerna kan ses som partiklar (parasiter, bakterier, virus) och är i sammanhanget stora där de minsta är virus i storleksintervallet ca. 20 – 300 nm. Ultrafilter har en låg grad av avskiljning av "lösta" ämnen i vattnet. Skyddar främst nanofiltret mot partiklar.
- Nanofiltrering (NF), avskiljer eventuella partiklar, lösta ämnen och molekyler i storleksintervallet 0,7-1,5 nm beroende på typ av använt nanomembranelement. Skillnaden mellan membranelementen uttryckt i "saltavstötning" (uppnås inom 24 – 48 h efter start) är NF270 >97% och NF90 >98,7% av inkommande salter till membranytan.

I ultrafilteranläggningen har två så kallade "Hollow fiber" membran uppbyggda i moduler av typen "utifrån och in" använts.

I nanofilteranläggningen har 4 stycken standard 8" spirallindade nanomembranelement använts.

I den första containern leds råvattnet in och förfiltreras i trumsilen och leds vidare till ultrafiltret.

Ultrafiltratet leds in i container två till en filtrat- och backspoltank. Från backspoltanken leds vattnet till nanofiltret. Filtermetoden använder diskontinuerliga backspolningar liknande traditionella filter (sand, kol mm), så kallad "dead end" filtrering.

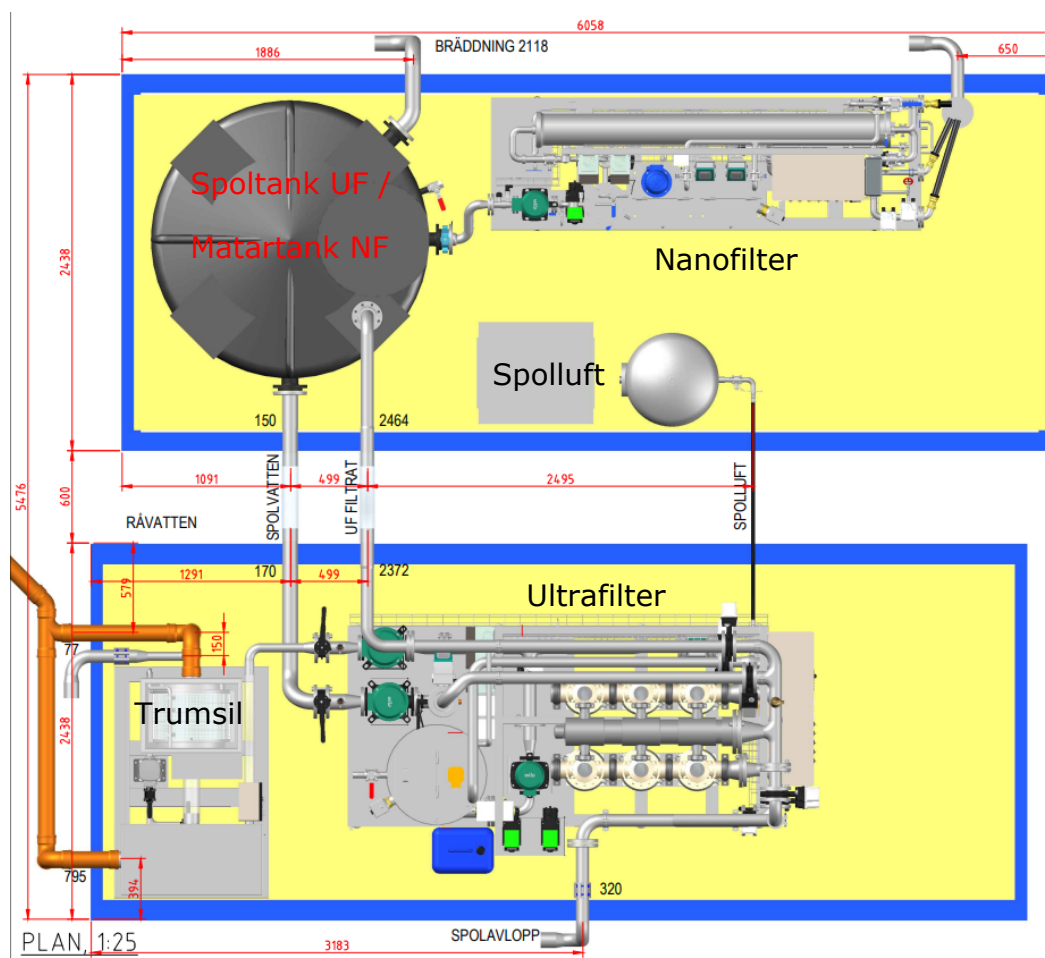
I nanofiltret avleds det så kallade permeatet (det rena vattnet) för fortsatt användning, koncentratet leds till avlopp, filtermetoden är en kontinuerligt spolande process så kallad "cross flow" filtrering. Backspolning används inte.

Båda membranfiltermetoderna kräver periodvis rengöring med kemikalier (baser och syror). Intervallet mellan rengöringarna bestäms främst av råvattnets beskaffenhet och driftfall varvid det inte med säkerhet kan sägas utan pilotkörningar.

Ett mått på en filtrerings effektivitet är utbytet (recovery) uttryckt i procent. Exempelvis om utbytet eller recovery är 75 %, avleds 25 % av 100 % (råvattnet) till avlopp (koncentrat eller spolvatten). Typisk recovery för ultrafilter är över 90 % samt 75–80 % för nanofilter.

Ett centralt mått på hur mycket man belastar membranerna är "Flux" (ytbelastning). Flux: hastigheten av permeat/filtrat som transporteras per enhet membranarea, vanligtvis mätt i liter per kvadratmeter per timme (l/m^2h). Olika membrantyper har olika "typiska" flux. Vanligtvis har ultrafiltermembran betydligt högre flux än ett nanomembran.

Anläggningens kapacitet valdes för att simulera ett litet vattenverk som skulle kunna producera ca 60–65 m³ dricksvatten per dygn. Försöken har inte omfattat desinfektion med hjälp av exempelvis UV eller natriumhypoklorit, då detta är välkända och gamla desinfektionsmetoder inom bland annat dricksvattenrening. Figur 3 demonstrerar uppställningen i två containers.



Figur 3. Invändig uppställning av process i containers.

Vissa justeringar i processen har utförts i de olika faserna:

Trumfilter: Trumfilter med 100 mikrometerduk installerades och användes i fas 1 och 2. Inför fas 3 byttes trumfilterduken till 10 mikrometer eftersom en större partikelbelastning förväntades i råvattnet från sedimentationsdammarna.

Ultrafilter: Inga ändringar.

Nanofilter: I fas 1 användes membranelement NF270 som inför fas 2 byttes till NF90. Skälet till bytet var att Region Gotland önskade en högre grad av avskiljning av parametrar som påverkar korrosivitet och kalkutfällning. NF90 användes också i fas 3.

Automatisering av sekvenser: I fas 2 infördes en automatiserad sekvensstyrning som medförde att man kunde ställa in stopp och framspolningssekvenser på nanofilteranläggningen.

Kemikalier: Samma typ av CEB (Chemical Enhanced Backwash) och tvättkemikalier användes i fas 1 och 2. Under fas 3 behövdes periodvis två olika kemikalier för CEB av UF samt en specialkemikalie för CIP (Cleaning In Place) av UF och NF vid ett tillfälle.

3.1 Drift av pilotanläggningen

Pilotanläggningen ägs och hyrs ut av Björks Rostfria AB. AFRY har löpande fjärrövervakat anläggningen och gjort platsbesök ca 1 gång per vecka för tillsyn och provtagning. I perioder har större närvaro krävts pga tekniska eller operationella problemställningar. Björks Rostfria AB har deltagit vid större operationer såsom byte av membran och flytt av anläggningen.

Samarbetet mellan de olika aktörerna Heidelberg Materials (Cementa), AFRY, Björks Rostfria och Region Gotland har fungerat väldigt bra och därmed har problemställningar, förbättringsinitiativ och felsökning kunnat lösas och implementeras effektivt.

3.1.1 Uppsamling av råvatten

Både uppsamling av inläckage vid bergvägg och sedimentationsdammar har fungerat bra som råvattenkälla till pilotkörningen.

Råvattenpumpningen har fungerat felfritt under hela testperioden, och inga större problemställningar med partiklar upplevdes. Råvattenpumpen var placerad i tråg för att undvika att suga bottenslam.

3.1.2 Drift av trumsil

Trumsilen har gått felfritt med mycket få spolningar vid drift med råvatten från dammar vid bergvägg.

Efter flytt till sedimentationsdammarna (fas 3) och byte till finare duk ökade spolfrekvensen, men fortfarande inga större problemställningar med igensättning.

3.1.3 Drift av ultrafilteranläggning

Som helhet har anläggningen fungerat mycket tillfredställande genom hela testperioden.

- Recovery har varierat mellan 98 – 98,5 %.
- Backspolningsintervaller har varierat mellan 60 - 90 minuter, 30-45sekunder (typisk spolning)
- CEB intervaller har varierat mellan 24 - 36h
- Tvättning har utförts med standard tvättkemikalier, varav basisk lösning ser ut att ha störst effekt. Tvätt utfördes innan reellt behov baserat på igensättning. Tvättintervall på längre än 60 dagar förväntas.
- Flux (ytbelastning, l/m² h) med använda moduler <50 lmh.

3.1.4 Drift av nanofilteranläggning

Drift av nanofilteranläggningen har varierat beroende på råvattenkälla och nanofiltermembran. Stor energi har lagts vid att hitta optimala driftsförutsättningar och driftsparametrar.

- Drift med NF270 membran har som helhet fungerat mycket tillfredställande men med NF90 har driften varit utmanande pga. snabb tryckuppbyggnad på membranen. Igensättningen beror på råvattnets sammansättning, sannolikt från höga halter av kalcium och organiskt material. För en fullskaleanläggning rekommenderas att förbehandlingen kompletteras med möjlighet till direktfällning på UF för att reducera mängden organiskt material när förhöjda halter föreligger. Lyckade fällningsförsök med järnklorid utfördes under Fas 2.
- Recovery kan förväntas till max med NF270 80%, 18 l/mh, och flux kan förväntas till max NF90 75%, 16 l/mh.
- Automatisk inställning av stopp- och framspolningssekvenser rekommenderas. Stoptid på 1–2 timmar och sköljtid 10 min, 1 gång per dygn var framgångsrikt.
- Tvättning har utförts med standard tvättkemikalier, varav basisk lösning ser ut att ha störst effekt.

3.1.5 Kemikalier

Vid drift av nanofiltret har en beläggningshämmare, så kallad antiscaling, använts. Beläggningshämmare används främst för att förhindra kalciumbeläggningar på nanomembranens yta. Beläggningshämmaren passerar inte membranet utan stannar i koncentratet.

Godkänd beläggningshämmare och doser enligt LIVFS 2017:2 och 2022:12: Solenis Ameroyal 363 har använts. Doseringen har optimerats baserat på driftserfarenhet i samråd med membranleverantör och kemikalieleverantör.

Kemiskt förstärkt backspolning eller CEB av ultrafilter har gjorts i intervallet var 24:e timme till var 36:e timme. Använda kemikalier under Fas 1 – 3 har varit citronsyra, i Fas 3 har även tidvis lut använts beroende på råvattnets kvalitet.

Tvättning av membranläggningarna eller CIP utförs under driftstopp. Tvättvätskan har beretts i ca. 1 - 2% lösning. Efter användning har tvättvätskorna letts till IBC för neutralisering avseende pH (pH ca 6 – 8)

Använda kemikalier:

- Baser: Solenis C1000 Dr. Näring Mem-X och lut.
- Syror: Solenis 8301, citronsyra och saltsyra.

3.2 Provtagningsplan och parametrar

Provtagningsplan och analysparametrar har tagits fram för att minst uppfylla Livsmedelsverkets föreskrifter avseende dricksvatten LIVSFS 2017:2 och LIVSFS 2022:12 samt i samråd med Heidelberg Materials och Region Gotland. Använda mätmetoder har varit standardmätmetoder för dricksvatten varvid analysresultatet kan anges som mindre än (<) respektive mer än (>) vid angiven mätgräns. Provtagning har utförts av AFRY och analys har skett på ackrediterat laboratorium. För provtagningsplan och parametrar se nedan. Parameterlistan har löpande justerats efter analysernas resultat. Koderna som redovisas i tabellen nedan avser analyspaket hos Eurofins som också har utfört analyserna. Tabell 1 visar provtagningsplan för fas 1 och 2, samt Tabell 2 visar provtagningsplan för fas 3.

Tabell 1. Provtagningsplan under fas 1 och 2.

Provplats	v.0	v.1	v.2	v.3/4	v.4	v.6	v.7	v.8	v.10	v.12	v.14	v.16	v.18	v.20	v.22	v.24
Kallendervecka	v.39	v.40	v.41	v.42	v.43	v.45	v.46	v.47	v.49	v.51	v.1	v.3	v.5	v.7	v.9	v.11
Råvatten	PSL5U, PLWFW & PSL2X, SDI	PSL5U, PSL2V, SDI	PSL5U, PSL2V, SDI	avstämning	PSL5U, PSL2V	PSL5V, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, SL009	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V, SL009	PSL5U, PLWFW & PSL2X, SDI	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	
Efter UF filtrat	PSL5U, PSL2V, SDI	PSL5U, PSL2V, SDI	PSL5U, PSL2V, SDI	avstämning	PSL5U, PSL2V	PSL5V, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	
Efter NF filtrat	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	avstämning	PSL5U, PSL2V	PSL5V, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, SL009	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V, SL009	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	
Efter NF koncentrat	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	avstämning	PSL2V	PSL2V					PSL5U, PSL2V, PSL9A					

Utökad mikrobiologisk undersökning: PSL5U

Normal mikrobiologisk undersökning: PSL5V

Utvidgad undersökning enl. LIVSFS 2017:2 och PFAS 4 och PFAS 21: PLWFW & PSL2X

Kemiska provtagning gamla N3: PSL2V

Metaller i vatten: PSL9A

Bromat i vatten: SL009

SDI mätning

Justerad 2022-12-08 av J.A.

eurofins+SDI

PSLP0 avgörs när nya föreskriften kommer 2023

Tabell 2. Provtagningsplan under fas 3

Provplats Kallendervecka	Provtagningsplan Sedimentationsdam							
	v.1	v.2	v.3	v.4	v.6	v.7	v.8	v.10
	v.11	v.12	v.13	v.14	v.15	v.16	v.17	v.18
Råvatten	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X, PSL9A, SL009	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X, PSL9A
Råvatten silat	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X, PSL9A, SL009	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A
Efter UF filtrat	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A, SDI	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A
Efter NF filtrat	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A, SDI	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X, PSL9A
Efter NF koncentrat	PSL5U, PSL2V		PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V	PSL5U, PSL2V, PSL9A	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X	PSL5U, PSL2V, PLWFW & PSL2X, PSL9A

Utökad mikrobiologisk undersökning: PSL5U

Normal mikrobiologisk undersökning: PSL5V

Utvidgad undersökning enl. LIVSFS 2017:2 och PFAS 4 och PFAS 21: PLWFW & PSL2X

Kemiska provtagning gamla N3: PSL2V

Metaller i vatten: PSL9A

Bromat i vatten: SL009

SDI mätning

Provtagningsplan under fas 3.

4 Provtagningsresultat

Reningsresultaten redovisas nedan per reningssteg förutom silat vatten efter trumsil då trumsilens uppgift endast är att ta bort större fasta partiklar innan ultrafiltersteget.

4.1 Mikroorganismer

4.1.1 Råvatten

De mikrobiologiska analyserna av råvattnet skall ligga till grund för en mikrobiologisk barriäranalys (MBA) för ett eventuellt framtida vattenverk.

Resultatet av råvattenanalyserna visar att det vid varje provtagning föreligger mikroorganismer som skulle bedömas som otjänligt om vattnet var dricksvatten, se Tabell 3. Det uppsamlade råvattnets karaktär liknar ett avloppspåverkat vatten då det vid varje provtagningstillfälle återfinns avloppsrelaterade indikatororganismer såsom koliformer, e-coli, clostridium och enterokocker. Ursprunget till mikroorganismerna har undersökts genom att ta prov i borrhål runt kalkbrottet samt direkt i bergväggen. Resultaten är inte konklusiva, men indikerar att mikroorganismerna kan uppstå i dammen på grund av djuraktivitet då AFRYs personal har sett mycket fågel i området och fågelspår i snön runt anläggningen vintertid.

Förekomst av mikroorganismer är något högre i dammarna vid bergväggen jämfört med sedimentationsdammarna. För detaljerade analysresultat, se respektive analysprotokoll.

Tabell 3 Mikroorganismer i råvatten.

Cementa pilot Mikroorganismer i råvatten Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023			Sedimentationsdammar 2023		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Ämne						
Långsamväxande bakterier -	1199	450	4000	880	2073	4500
Odlingsbara mikroorganismer 22°C	868	300	2300	170	594	1400
Escherichia coli	31	< 1	>80	2	4	5
Koliforma bakterier 35°C	118	1	870	4	12	19
Presumptiva Clostridium perfringens	2	< 1	8	1	4	12
Intestinala enterokocker	32	1	> 100	2	3	4
Jästsvamp	551	< 1	> 1000	10	38	> 1000
Mögelsvamp	583	50	> 1000	50	120	> 1000
Mikrosvamp	656	65	> 1000	51	152	> 1000
Aktinomycceter	19	< 1	130	1	1	1

4.1.2 Ultrafiltrat

Ultrafiltratet innehåller inga indikatororganismer (mikroorganismer) som skulle medföra en bedömning som otjänligt om vattnet var dricksvatten, se Tabell 4.

Tabell 4 Mikroorganismer i ultrafiltrat.

Cementa pilot mikroorganismer i Ultrafiltrat Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023			Sedimentationsdammar 2023		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Långsamväxande bakterier - (cfu/ml)	355	85	850	181	77	350
Odlingsbara mikroorganismer 22°C - (cfu/ml)	50	24	100	42	22	68
Escherichia coli - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Koliforma bakterier 35°C - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Presumptiva Clostridium perfringens - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Intestinala enterokocker - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Jästsvamp - (cfu/100 ml)	101	< 1	400	0,5	< 1	1
Mögelsvamp - (cfu/100 ml)	45	< 1	230	0,8	< 1	1
Mikrosvamp - (/100 ml)	96	< 1	630	1,2	< 1	2
Aktinomyceter - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	0

En återväxt av långsamväxande bakterier och odlingsbara mikroorganismer 22°C samt mikrosvampar har konstaterats.

4.1.3 NF filtrat- permeat

Permeatet har inga mikroorganismer som skulle medföra en bedömning som otjänligt om vattnet var dricksvatten, se Tabell 5.

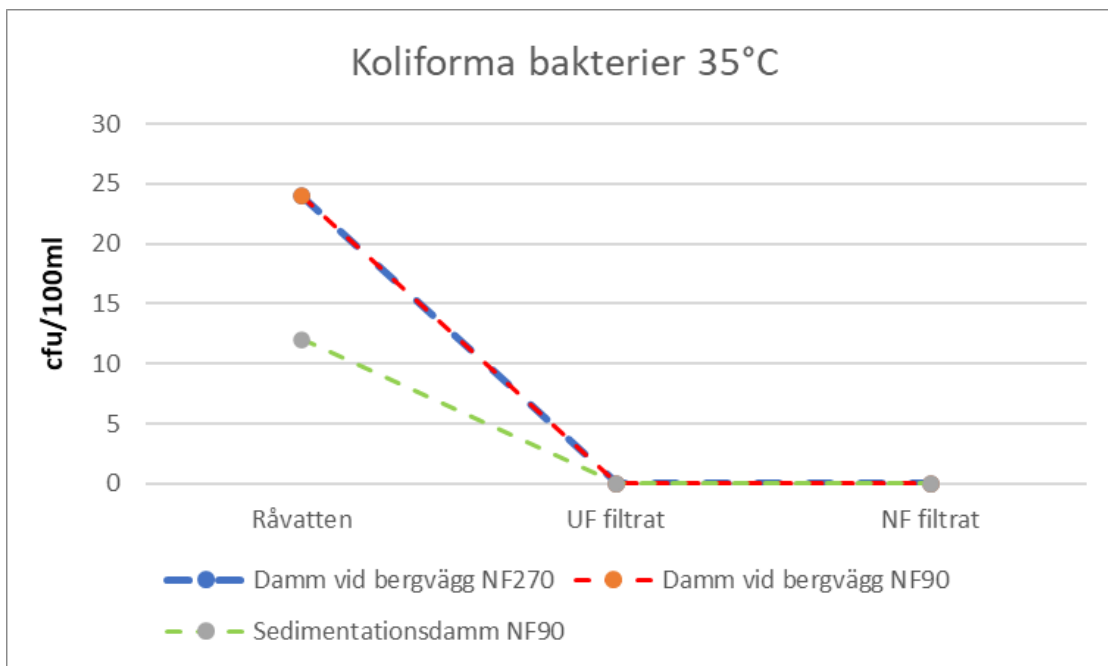
Tabell 5 Mikroorganismer i nf filtrat.

Cementa pilot Mikroorganismer NF filtrat	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023 Fas 1			Uppsamlingsdammar 2022 - 2023 Fas 2			Sedimentationsdammar 2023 Fas 3		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Långsamväxande bakterier - (cfu/ml)	21	9	35	41	30	47	22	1	90
Odlingsbara mikroorganismer 22°C - (cfu/ml)	20	13	32	43	24	67	7,8	1	29
Escherichia coli - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Koliforma bakterier 35°C - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	1	1
Presumptiva Clostridium perfringens - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Intestinala enterokocker - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Jästsvamp - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	1	< 1	1	3,4	< 1	15
Mögelsvamp - (cfu/100 ml)	0,9	< 1	2	1	< 1	2	1	< 1	1
Mikrosvamp - (/100 ml)	0,9	< 1	2	1	< 1	2	8	< 1	15
Aktinomyceter - (cfu/100 ml)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

En återväxt av långsamväxande bakterier och odlingsbara mikroorganismer 22°C har konstaterats. De aktuella råvattnen kommer kräva minst tre mikrobiologiska barriärer vid en faroanalys (MBA) varvid eventuella mikroorganismer i permeat från en framtida eventuell dricksvattenanläggning kan reduceras ytterligare med exempelvis UV och klorering.

4.1.4 Avskiljning mikroorganismer genom processen

Figur 4 illustrerar avskiljning i de olika processtegen för ett urval av mikroorganismer. I kap 5 jämförs ett större urval av parametrar.



Figur 4. Avskiljning av koliforma bakterier i de olika försöken (illustrerar mikrobiologisk avskiljning).

4.2 Kemiska fysikaliska analyser

4.2.1 Råvatten

Råvattnet ser ut som ett typiskt gotländskt grundvatten med hög alkalinitet och hög halt av kalcium, se Tabell 6. Några skillnader som kan noteras är en högre förekomst av organiska ämnen (COD och TOC) och högre alkalinitet i damm vid bergvägg (Fas 1 – 2) samt högre förekomst av salter såsom sulfat samt periodvis förhöjda värden av aluminium och järn i sedimentationsdammen (Fas 3). Detta kan bero på att ämnen lakas ut från den brutna stenen och förs med vattnet till sedimentationsdammen, samt att organiskt material binds och sedimenteras ut i dammen. Ett annat alternativ kan vara att olika kvaliteter av grundvatten, tillrinnande ytvatten och nederbörd blandas i sedimentationsdammen. Variationen i vattenkvalitet i sedimentationsdammen var också relativt stor.

Tabell 6. kemiskt/fysikaliska parametrar i råvatten.

Cementa pilot kemiskt/fysikaliskt i råvatten Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar			Sedimentationsdammar		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Alkalinitet - (mg HCO ₃ /l)	293	210	330	134	120	150
Aluminium Al (end surgjort) - (mg/l)	0,0376	0,013	0,09	0,128	0,041	0,25
Ammonium - (mg/l)	0,045	< 0,013	0,55	0,007	< 0,013	0,013
Ammoniumkväve (NH ₄ -N) - (mg/l)	0,035	< 0,010	0,43	0,006	< 0,010	0,01
Arsenik As (end surgjort) - (mg/l)	0,000205	0,00018	0,00023	0,00023	0,00023	0,00023
Färg (410 nm) - (mg Pt/l)	23,5	16	56	14,81429	5,5	23
Fluorid - (mg/l)	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Fosfat (PO ₄) - (mg/l)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Fosfatfosfor (PO ₄ -P) - (mg/l)	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Järn Fe (end surgjort) - (mg/l)	0,021564	0,0086	0,068	0,082333	0,018	0,14
Kalcium Ca (end surgjort) - (mg/l)	103	76	120	90	80	100
Kalium K (end surgjort) - (mg/l)	0,53	0,4	0,63	3,27	2,7	3,8
COD-Mn - (mg O ₂ /l)	5,97	3,6	7,8	2,13	1,6	2,5
Klorid - (mg/l)	3,41	2,3	4,7	10,79	8,5	14
Konduktivitet - (mS/m)	47	36	53	62	53	65
Koppar Cu (end surgjort) - (mg/l)	0,000689	0,00052	0,00082	0,000583	0,00048	0,00073
Krom Cr (end surgjort) - (mg/l)	0,000145	0,00013	0,00016	0,00036	0,00036	0,00036
Lukt, styrka, vid 20°C	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen
Magnesium Mg (end surgjort) - (mg/l)	2,33	1,6	2,8	18,7	15	22
Mangan Mn (end surgjort) - (mg/l)	0,000651	0,00022	0,0019	0,002573	0,00052	0,0047
Natrium Na (end surgjort) - (mg/l)	2,1	1,8	2,5	7,3	5,5	8,2
Nitrat (NO ₃) - (mg/l)	2,02	0,93	3,80	8,46	6,60	9,70
Nitratkväve (NO ₃ -N) - (mg/l)	0,46	0,21	0,87	1,91	1,5	2,2
Nitrit (NO ₂) - (mg/l)	0,0035	< 0,0070	< 0,0070	0,022771	0,0099	0,03
Nitrit-nitrogen (NO ₂ -N) - (mg/l)	0,001	0,002	0,002	0,004429	0,002	0,009
NO ₃ /50+NO ₂ /0,5 - (mg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
pH	8,25	8,1	8,4	8,2	8	8,3
Temperatur vid pH-mätning - (°C)	23,4	21,1	24,8	22,4	22,2	22,7
Sulfat - (mg/l)	8,2	2,8	18	196	150	230
TOC - (mg/l)	6,3	5,1	7,2	3,16	2,7	3,9
Totalhårdhet (°dH) - (°dH)	14	10	17	16,67	15	19
Turbiditet - (FNU)	1,744286	0,41	9,2	1,94	1	3,9
Uran U (end surgjort) - (mg/l)	0,00045	0,0004	0,0005	0,002	0,002	0,002
Zink Zn (filtrerat) - (mg/l)	0,00165	0,0015	0,0018	0,00079	0,00075	0,00083

4.2.2 PFAS i råvatten

I sedimentationsdammen har också låga halter av PFAS detekteras, se Tabell 7. Halterna är under Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten.

Tabell 7. PFAS i råvatten.

Cementa pilot PFAS i råvatten Fas 1 - 3	Enhet	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023	Sedimentationsdammar 2023		
			Min värde	Medel värde	Max värde
6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFBA (Perfluorbutansyra)	ng/l	<0,60	2,90	3,33	3,70
PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDA (Perfluordekansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDaA (Perfluordodekansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFDoS (Perfluordodekansulfonat)	ng/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFDS (Perfluordekansulfonsyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFHpA (Perfluorheptansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	0,19	0,32
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFHxA (Perfluorhexansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFNA (Perfluomonansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFNS (Perfluornonansulfonat)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFOA (Perfluoroktansyra)	ng/l	<0,30	0,32	0,25	0,37
PFOS (Perfluoroktansulfonsyra)	ng/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
PFPeA (Perfluorpentansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFPeS (Perfluorpentansulfonat)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFTrDA (Perfluortridekansyra)	ng/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFTrDS (Perfluortridekansulfonsyra)	ng/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFUdA (Perfluorundekansyra)	ng/l	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyra)	ng/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Summa PFAS4	ng/l	ND	ND	0,35	0,37
Summa PFAS21	ng/l	ND	3,27	3,58	3,82

4.2.3 "Främmande ämnen"

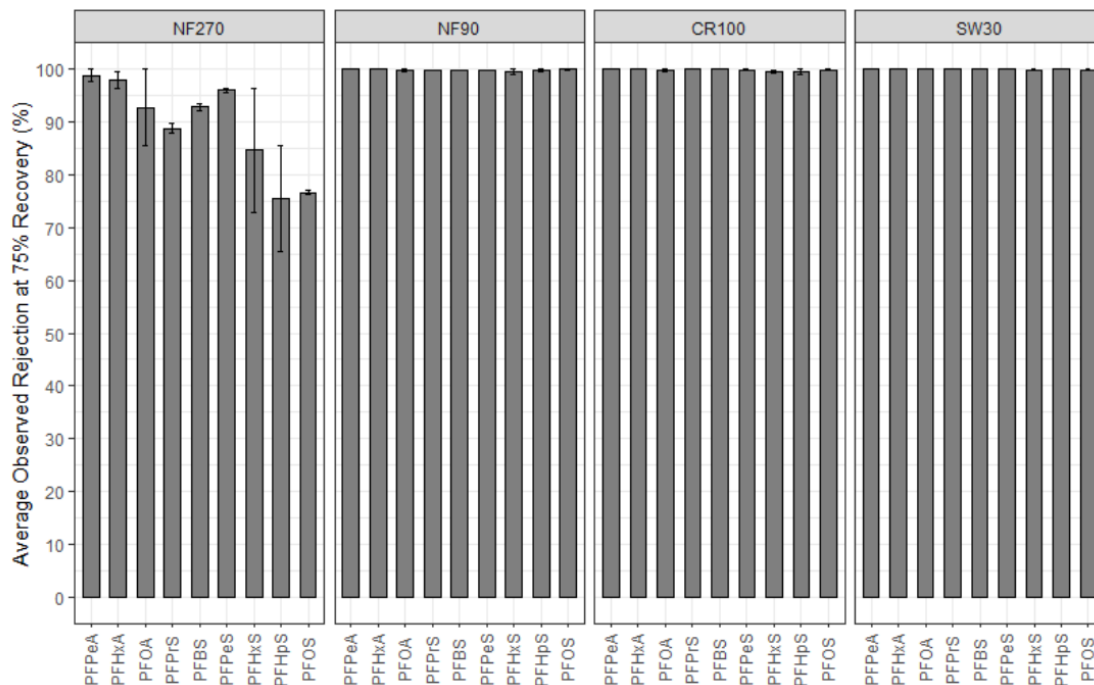
Inga andra "främmande ämnen" såsom bekämpningsmedel, THM eller pesticider har påträffats vid provtagningarna (se Tabell 8) förutom bromat vid ett tillfälle (0,013 mg/l) vid uppsamlingsdammarna under fas 1, vid efterföljande provtagningar har det inte återfunnits. Förväntad avskiljning av bromat med NF90 är hög (90%) och medium till låg avskiljning med NF270 (10 - 40%).

Tabell 8. "Främmande ämnen i råvatten.

Cementa pilot "främmande ämnen" i råvatten Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023	Sedimentationsdammar 2023
Summa PAH:er - (µg/l)	< 0,10	< 0,10
Summa pesticidrester	ND	ND
Summa Tri och Tetrakloreten i vatten - (µg/l)	< 2,0	< 2,0
Summa THM - (µg/l)	< 4,0	< 4,0

4.2.4 PFAS reduktion

För att säkerställa långsiktig PFAS-reduktion rekommenderar membrantillverkaren att NF90 används, se Figur 5.



Figur 5. PFAS avskiljning med NF och RO membran, avskiljning av PFAA av fyra olika membrantyper bedömda vid 75% recovery. Studie gjord av Andrew Safulko "CLOSED-CIRCUIT HIGH-PRESSURE MEMBRANE SYSTEMS FOR THE SEPARATION OF PER AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES". Skillnaden i avskiljningsförmåga mellan NF270 och NF90 är hög.

4.2.5 Ultrafiltrat

Som förväntat avskiljs endast en mindre del av ämnen såsom färg, COD_{Mn} och kalcium samt alkalinitet i ultrafiltret vilket tyder på att de flesta ämnena föreligger i löst form, se Tabell 9.

Tabell 9. Kemiska/fysikaliska parametrar i ultrafiltrat.

Cementa pilot kemiskt/fysikaliskt i Ultrafiltrat Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023			Sedimentationsdammar 2023		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Alkalinitet - (mg HCO ₃ /l)	305	250	330	138	120	150
Aluminium Al (end surgjort) - (mg/l)	0,004	0,003	0,0042	0,0025	0,0015	0,0034
Ammonium - (mg/l)	0,011	< 0,013	0,064	0,007	< 0,013	0,013
Ammoniumkväve (NH ₄ -N) - (mg/l)	0,009	< 0,010	0,05	0,01	0,01	0,01
Arsenik As (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	0,00021	0,00019	0,00022
Färg (410 nm) - (mg Pt/l)	15	7,6	23	6,0	5,1	6,8
Fluorid - (mg/l)	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Fosfat (PO ₄) - (mg/l)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Fosfatfosfor (PO ₄ -P) - (mg/l)	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Järn Fe (end surgjort) - (mg/l)	0,0042	0,001	0,018	0,00458	0,001	0,017
Kalcium Ca (end surgjort) - (mg/l)	106	100	110	95	90	100
Kalium K (end surgjort) - (mg/l)	0,53	0,43	0,61	3,55	3,2	4,1
COD-Mn - (mg O ₂ /l)	5,6	3,6	7,5	2,15	1,9	2,6
Klorid - (mg/l)	3,6	2,5	4,8	11,3	10	15
Konduktivitet - (mS/m)	48	40	53	65,5	59	77
Koppar Cu (end surgjort) - (mg/l)	0,00072	0,00066	0,00078	0,00043	0,00041	0,00045
Krom Cr (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Lukt, art, vid 20 °C	ingen	ingen	ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Lukt, styrka, vid 20°C	ingen	ingen	ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Magnesium Mg (end surgjort) - (mg/l)	2	2,1	2,6	20,5	19	22
Mangan Mn (end surgjort) - (mg/l)	0,00029	0,00014	0,00063	0,00031	0,00025	0,00036
Natrium Na (end surgjort) - (mg/l)	2,18	2,00	2,40	8,2	8,1	8,3
Nitrat (NO ₃) - (mg/l)	1,91	0,88	3,50	8,4	7,1	9,7
Nitratkväve (NO ₃ -N) - (mg/l)	0,43	0,20	0,79	1,9	1,6	2,2
Nitrit (NO ₂) - (mg/l)	< 0,0070	< 0,0070	< 0,0070	0,0172	0,0099	0,023
Nitrit-nitrogen (NO ₂ -N) - (mg/l)	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,0046	0,002	0,007
NO ₃ /50+NO ₂ /0,5 - (mg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
pH	8	8,2	8,6	8,2	8	8,3
Temperatur vid pH-mätning - (°C)	23	21,1	24	21,8	21,1	22,3
Sulfat - (mg/l)	8	3,8	12	213	170	280
TOC - (mg/l)	6	5	7	3,0	2,6	3,6
Totalhårdhet (°dH) - (°dH)	15	11	17	19	16	23
Turbiditet - (FNU)	0,004	0,1	0,13	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Uran, U (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	0,0027	0,0025	0,0029
Zink Zn (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	0,00063	0,00062	0,00064

4.2.6 NF filtrat- permeat

Som förväntat avskiljs de oönskade ämnena såsom COD, färg och turbiditet i tillräcklig hög grad i både NF270 och i NF90 membranen, se Tabell 10. NF90 avskiljer också önskade ämnen så att exempelvis kalcium och alkalinitet inte bibehålls i tillräckliga halter, pH sjunker och permeatets totalhårdhet blir låg <1 °dH.

NF270 filtrat uppfyller Livsmedelsverkets krav och Svenskt Vattens rekommendationer för dricksvatten.

NF90 filtrat uppfyller Livsmedelsverkets krav till maximal halt av ingående parametrar, men vissa ämnen måste tillföras för att vattnet ska kunna nyttjas som dricksvatten utan problem i ett distribueringsnät.

Inblandning av vatten från en "typisk" Gotländsk grundvattentäkt samt lut skulle kunna vara ett alternativ för efterbehandling.

NF90-filtratet är mer korrosivt än NF270-filtratet för Slites distributionsnät.

Kortfattat har NF90 används för att se om summan av NF90 och Region Gotlands råvattenkvaliteter kan ge en minskning av befintlig korrosionsproblematik i ledningsnätet för Slite vattendistribueringsområde.

Tabell 10. Kemiska/fysikaliska parametrar i NF filtrat.

Cementa pilot kemiskt/fysikaliskt NF filtrat Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023 Fas 1			Uppsamlingsdammar 2022 - 2023 Fas 2			Sedimentationsdammar 2023 Fas 3		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Alkalinitet - (mg HCO ₃ /l)	255	250	260	12,80	7,40	20,00	4,3	3,4	5,4
Aluminium Al - (mg/l)	0,0007	<0,0010	0,0017	0,029	0,029	0,029	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Ammonium - (mg/l)	0,034	< 0,013	0,23	< 0,013	< 0,013	< 0,013	0,01	< 0,013	0,03
Ammoniumkväve (NH ₄ -N) - (mg/l)	0,027	< 0,010	0,18	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,006	< 0,010	0,023
Arsenik As (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	-	-	-	0,0000455	0,000023	0,000068
Färg (410 nm) - (mg Pt/l)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Fluorid - (mg/l)	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Fosfat (PO ₄) - (mg/l)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Fosfatfosfor (PO ₄ -P) - (mg/l)	0,005	0,005	0,005	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Järn Fe (end surgjort) - (mg/l)	0,00046	<0,00030	0,00044	0,02	0,02	0,02	0,0003	<0,00030	0,00074
Kalcium Ca - (mg/l)	82,38	78	88	5,10	4,00	6,20	1,5	1,1	1,7
Kalium K (end surgjort) - (mg/l)	0,52	0,51	0,52	0,34	0,21	0,48	0,85	0,7	0,96
COD-Mn - (mg O ₂ /l)	0,44	0,35	0,61	0,58	0,52	0,67	0,346	0,32	0,42
Klorid - (mg/l)	3,8	2,9	5,2	0,70	0,46	0,98	1,4	1,1	1,8
Konduktivitet - (mS/m)	40	39	42	2,80	1,60	4,20	2,3	1,8	2,7
Koppar Cu - (mg/l)	0,0000215	< 0,000050	0,000098	0,00056	<0,000050	0,00082	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Krom Cr (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	-	-	-	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Lukt, art, vid 20 °C	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen
Lukt, styrka, vid 20 °C	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen
Magnesium Mg - (mg/l)	1,5	1,4	1,7	0,83	0,06	2,30	0,29	0,22	0,39
Mangan Mn (end surgjort) - (mg/l)	0,000115	0,000075	0,00017	-	-	-	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Natrium Na (end surgjort) - (mg/l)	2,1	2	2,2	-	-	-	1,8	1,8	1,8
Nitrat (NO ₃) - (mg/l)	1,2	0,62	1,6	1,14	0,93	1,40	4,6	3,7	5,3
Nitratkväve (NO ₃ -N) - (mg/l)	0,28	0,14	0,37	0,26	0,21	0,31	1,0	0,83	1,2
Nitrit (NO ₂) - (mg/l)	< 0,0070	< 0,0070	< 0,0070	< 0,0070	0,00	0,00	0,0045	< 0,0070	0,0099
Nitrit-nitrogen (NO ₂ -N) - (mg/l)	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,00	0,00	0,003	0,003	0,003
NO ₃ /50+NO ₂ /0,5 - (mg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0,00	0,00	<1,0	<1,0	<1,0
pH	8,2	8,1	8,4	6,97	6,60	7,20	6,7	6,5	6,9
Temperatur vid pH-mätning - (°C)	23,7	22,9	24,2	22,8	21,7	23,8	22,1	21,6	22,4
Sulfat - (mg/l)	2,3	2,3	2,3	< 1,0	< 1,0	< 1,0	0,58	< 1,0	< 1,0
TOC - (mg/l)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Totalhårdhet (°dH) - (°dH)	12	11	13	0,7	0,6	0,9	0,3	0,2	0,3
Turbiditet - (FNU)	0,07	0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Uran, U (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	-	-	-	0,000017	0,000011	0,000022
Zink Zn (filtrerat) - (mg/l)	-	-	-	-	-	-	0,00037	0,00021	0,00052

PFAS i NF filtrat har ej detekterats, se Tabell 11.

Tabell 11. PFAS i nf filtrat.

Cementa pilot PFAS NF filtrat	Fas 1	Fas 2	Fas 3
Summa PFAS 4	-	-	ND
Summa PFAS 21	-	-	ND

PFAS avskiljningen är hög, under detekterbara nivåer i analyser av permeatet.

4.2.7 NF koncentrat

I koncentratet återfinns de flesta ingående ämnen som förväntat i betydligt högre koncentrationer än i råvattnet men inte alla, se Tabell 12. Syftet med koncentratprovtagningen har varit i ett "NF membran perspektiv" främst för att kunna optimera val av antiscaling i en framtida anläggning. Därför har inte mätmetoder hos laboratoriet anpassats för icke intressanta ämnen i utförda standardanalyser.

Tabell 12. kemiska/fysikaliska parametrar i NF koncentrat.

Cementa pilot kemiskt/fysikaliskt NF - koncentrat Fas 1 - 3	Uppsamlingsdammar 2022 - 2023			Sedimentationsdammar 2023		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Alkalinitet - (mg HCO ₃ /l)	623	530	990	540	480	640
Aluminium Al (end surgjort) - (mg/l)	0,015	0,012	0,018	0,0113	0,0056	0,017
Ammonium - (mg/l)	0,017	0,014	0,04	0,015	< 0,013	0,032
Ammoniumkväve (NH ₄ -N) - (mg/l)	0,014	< 0,010	0,031	0,012	< 0,010	0,025
Arsenik As (filtrerat) - (mg/l)	0,00071	0,00071	0,00071	0,000735	0,00067	0,0008
Färg (410 nm) - (mg Pt/l)	77	62	100	20	11	29
Fluorid - (mg/l)	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,54	0,5	0,6
Fosfat (PO ₄) - (mg/l)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Fosfatfosfor (PO ₄ -P) - (mg/l)	0	0,006	0,006	0,003	< 0,0050	0,005
Järn Fe (end surgjort) - (mg/l)	0	0,0096	0,016	0,0024	0,0015	0,0031
Kalcium Ca (end surgjort) - (mg/l)	232	200	320	370	350	390
Kalium K (end surgjort) - (mg/l)	1	0,7	1,3	12	11	14
COD-Mn - (mg O ₂ /l)	31	21	34	11,4	7,4	14
Klorid - (mg/l)	5	2,9	10	42	35	46
Konduktivitet - (mS/m)	93	81	130	207	190	220
Koppar Cu (end surgjort) - (mg/l)	0,00476	0,0038	0,0053	0,0024	0,0023	0,0025
Krom Cr (filtrerat) - (mg/l)	0,00033	0,00033	0,00033	0,0001225	0,000095	0,00015
Lukt, art, vid 20 °C	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen
Lukt, styrka, vid 20°C	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen
Magnesium Mg (end surgjort) - (mg/l)	6	4,9	6,3	77,5	72	83
Mangan Mn (end surgjort) - (mg/l)	0,00031	0,0002	0,00037	0,00098	0,00086	0,0011
Natrium Na (end surgjort) - (mg/l)	4	3	6,1	27,5	27	28
Nitrat (NO ₃) - (mg/l)	1	0,44	3,2	1,9	1,4	2,6
Nitratkväve (NO ₃ -N) - (mg/l)	0,28	0,10	0,73	0,43	0,31	0,58
Nitrit (NO ₂) - (mg/l)	< 0,0070	< 0,0070	< 0,0070	0,0358	0,0099	0,066
Nitrit-nitrogen (NO ₂ -N) - (mg/l)	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,011	0,003	0,02
NO ₃ /50+NO ₂ /0,5 - (mg/l)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
pH	8	8,2	8,4	8,2	8,1	8,3
Temperatur vid pH-mätning - (°C)	24	23,1	24,1	22,4	21,9	23,1
Sulfat - (mg/l)	39	30	47	859	760	950
TOC - (mg/l)	28	28	28	12,1	9,6	14
Totalhårdhet (°dH) - (°dH)	33	28	49	71	59	84
Turbiditet - (FNU)	0,16	0,10	0,24	<1,0	<1,0	<1,0
Uran, U (filtrerat) - (mg/l)	0,0016	0,0016	0,0016	0,011	0,011	0,011
Zink Zn (filtrerat) - (mg/l)	0,0054	0,0054	0,0054	0,00335	0,0027	0,004

Halterna av PFAS4 i koncentratet överskrider Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten, se Tabell 13.

Tabell 13. PFAS i NF koncentrat.

Cementa pilot PFAS i NF-koncentrat	Sedimentationsdammar 2023		
	Medel	Min	Max
6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFBA (Perfluorbutansyra) - (ng/l)	11	11	11
PFBS (Perfluorbutansulfonsyra) - (ng/l)	0,48	0,48	0,48
PFDA (Perfluordekansyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFDoA (Perfluordodekansyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFDoS (Perfluordodekansulfonat) - (ng/l)	<1,0	<1,0	<1,0
PFDS (Perfluordekansulfonsyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFHpA (Perfluorheptansyra) - (ng/l)	1,005	0,91	1,1
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFHxA (Perfluorhexansyra) - (ng/l)	0,93	0,89	0,97
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFNA (Perfluornonansyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFNS (Perfluornonansulfonat) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFOA (Perfluoroktansyra) - (ng/l)	18,65	9,3	28
PFOS (Perfluoroktansulfonsyra) - (ng/l)	<0,20	<0,20	<0,20
PFPeA (Perfluorpentansyra) - (ng/l)	1,15	1	1,3
PFPeS (Perfluorpentansulfonat) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFTrDA (Perfluortridekansyra) - (ng/l)	<1,0	<1,0	<1,0
PFTrDS (Perfluortridekansulfonsyra) - (ng/l)	<1,0	<1,0	<1,0
PFUDA (Perfluorundekansyra) - (ng/l)	<0,30	<0,30	<0,30
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyra) - (ng/l)	<1,0	<1,0	<1,0
Summa PFAS4	18,65	9,3	28
Summa PFAS21	33,5	24	43

Kommentar angående kväveanalyser: Då analyserna har varit standard för dricksvatten har laboratoriet endast skrivit mindre än, exempelvis NH₄-N <0,010 mg/l, när uppmätt värde är under rapporteringsgräns. AFRY har i dessa fall använt tumregeln att halva rapporteringsgränsvärdet använts i medeltalsberäkningar. Detta gäller för analyser av Ammonium, Ammoniumkväve, Nitrat, Nitratkväve, Nitrit och Nitrit-nitrogen.

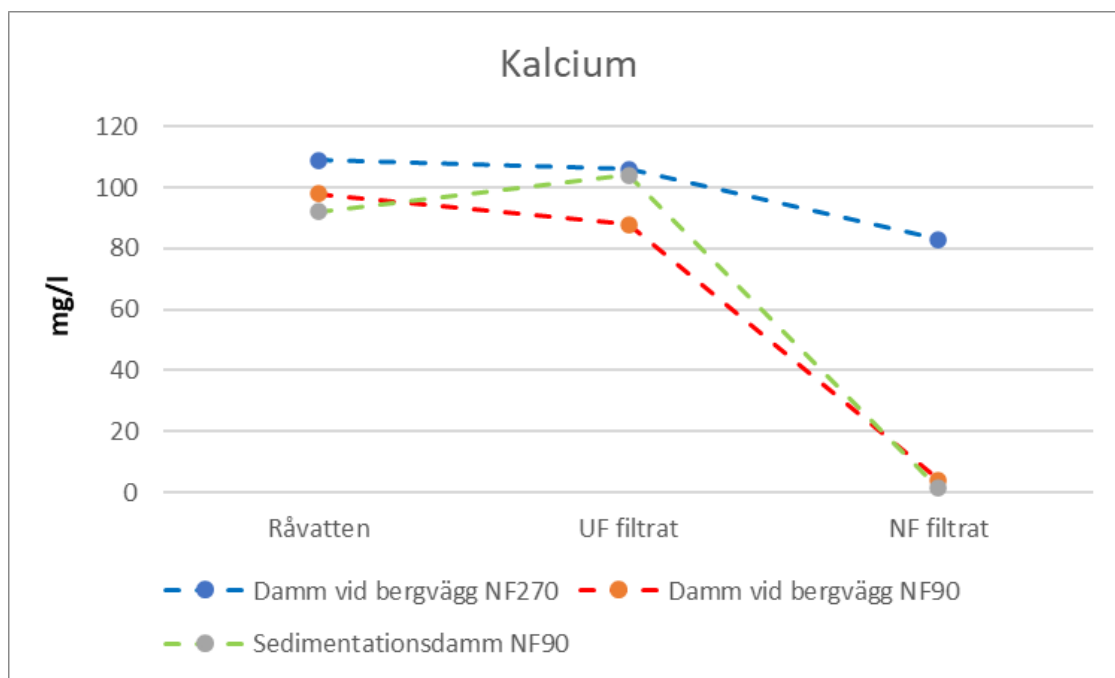
För att undersöka förväntad reduktion i olika membranelement har AFRY simulerat med aktuella råvattendata i Duponts simuleringsprogram (Wave).

Simuleringar ger att om NF270 används kan reduktion om ca. 40 – 50% förväntas. Koncentratet kommer få ungefär dubbel halt jämfört med råvattnet.

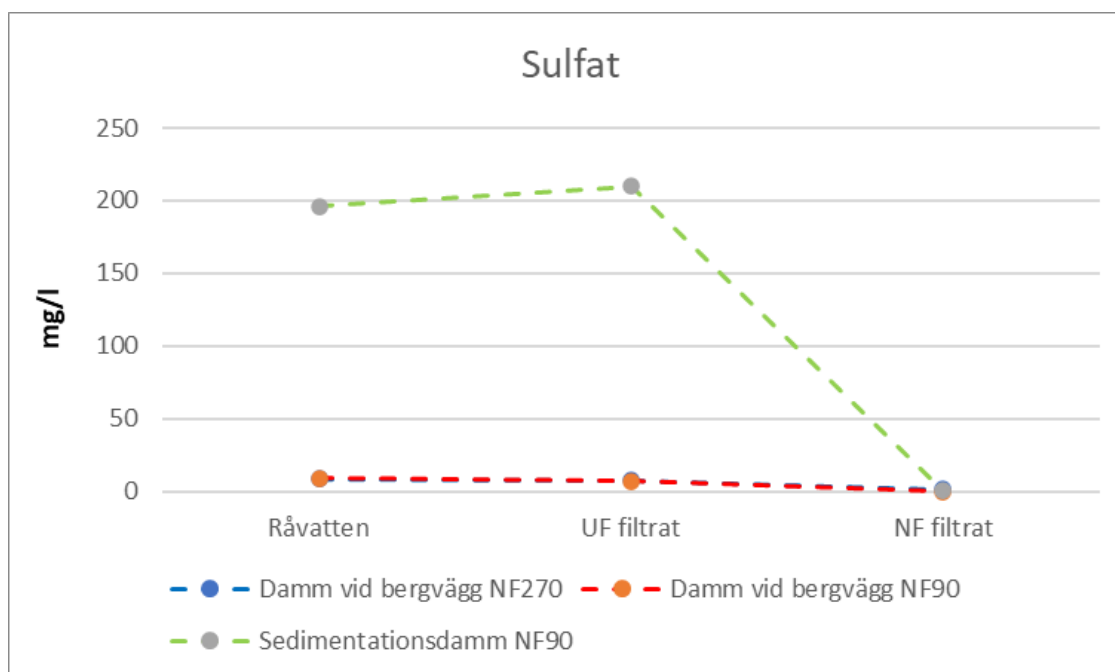
Om NF90 används kan reduktion om ca. 74 – 84% förväntas. I koncentratet kommer halten stiga ca 5 gånger halten i råvattnet.

4.2.8 Avskiljning genom processen

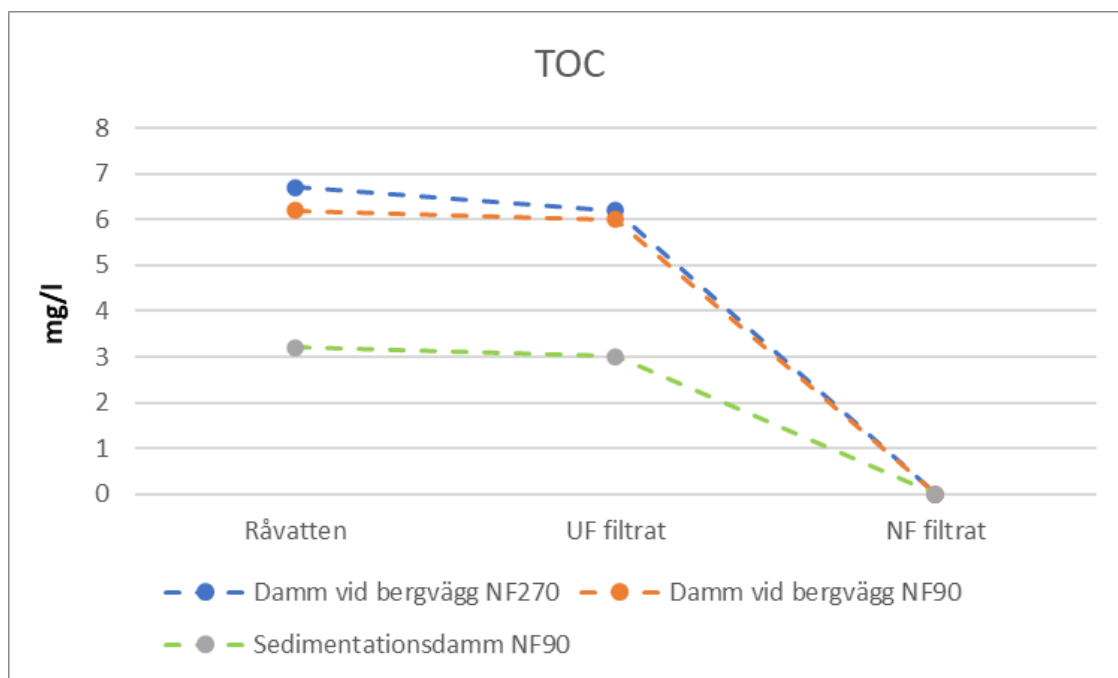
I Figur 6 till Figur 8 visas några utvalda fysikaliska och kemiska parametrar för att illustrera avskiljning i processen, skillnader i råvatten samt skillnad i rening i NF90 vs NF270. För jämförelse av fler parametrar, se respektive delrapporter.



Figur 6. Kalcium avskiljes i högre grad i NF90 jmf med NF270.



Figur 7. Sulfat återfinns i betydligt högre halter i sedimentationsdammen jmf med i damm vid bergvägg. Sulfat avskiljes i hög grad i NF90 membran.



Figur 8. TOC återfinns i högre halter i damm vid bergväggen jmf med i sedimentationsdammen. TOC avskiljs i stor grad i både NF270 och NF90, men riskerar att sätta igen NF270/90 vid höga halter.

5 Slutsats

Då pilotförsöken har utförts under skiftande förhållanden (höst/vinter/vår) har säsongsvariationer i råvattnets kvalitet och temperatur uppstått, vilka har kunnat hanterats under körningarna.

Pilotförsöken har visat att länshållningsvatten kan beredas till dricksvatten med membran-teknologi, enligt Livsmedelsverkets föreskrift (LIVSFS 2022:12).

Analysresultaten har som helhet haft förväntad kvalitet på NF permeatet. Används NF270 är behovet av efterjustering litet, medan om NF90 används behöver permeatet efterjusteras avseende korrosivitet, om vattnet exempelvis skulle användas i Slites kommunala dricksvattenledningsnät.

Om sedimentationsdammar väljs som råvattenkälla bör NF90 användas p.g.a PFAS problematiken, varvid permeatet behöver efterbehandlas. Efterbehandlingen utformas då främst för aktuellt distribueringsystems ingående material i ledningsnät.

Val av teknologi, såsom behov för fällning på ultrafilter och NF270 vs NF90, är beroende av hur och var råvattnet uppsamlas samt krav på slutlig vattenkvalitet.

6 Diskussion och rekommendationer

För att säkerhetsställa en trygg drift med jämn råvattenkvalitet och därmed bättre driftförhållande för vattenreningsprocessen bör länshållningsvattnet ledas till ett större vattenmagasin efter sedimentationsdammarna innan det behandlas.

Man kan med fördel använda flera magasin och genom mätningar (online-instrument) och laboratorieanalyser) öka driftsäkerheten ytterligare genom att fördela vatten till olika magasin vid olika kvaliteter. Kritiska parametrar bestämmer då till vilket magasin vattnet skall skickas innan vidare behandling.

Om råvattnet samlas upp efter sedimentationsdammarna rekommenderar AFRY:

- Att utformningen av inlopp från pumpning till sedimentationsdammarna justeras och ledas ned under vattenytan för att ytterligare minska antalet partiklar i vattenmassan.
- Fortsatt provtagning vid sedimentationsdammarna (för att få en årscykel).

En MBA bör göras när aktuell råvattenkälla är bestämd om vattnet skall beredas till dricksvatten för mänsklig konsumtion.

Om PFAS förekommer i råvattnet och mycket låga (ej detekterbara) halter önskas i permeatet bör NF90 element eller motsvarande användas.

Antiscaling i fullskaligt vattenverk väljs efter aktuell sammansättning på råvattnet och bör utredas vidare.

Korrosivitet: Innan slutligt val av membranelement bör vattenkvaliteten i det framtida vattenreningsverket vara fastslagen.

Pilotförsöken visar tydligt att råvattnets sammansättning och val av membrantyp starkt påverkar driftsförutsättningar och eventuella problemställningar.

Processen behöver optimeras med t.ex fällning på UF, stopp- och spelsekvenser på NF samt efterbehandling exempelvis inblandning av grundvatten och pH justering.

Efter pilotförsöken har membransimuleringar baserat på råvattenkvaliteten i sedimentationsdammarna utförts vilka visar att det är fullt möjligt att uppnå ännu lägre halter av exempelvis ammonium och nitrat om tätare nanomembran väljs än de som användes i försöken.

7 Introduktion till membranteknik med kort ordlista

7.1 Membranteknik introduktion

Definition av membran: "Tunn hinna med egenskapen att vissa komponenter kan passera igenom men inte andra"

Med membran avses i vatten och avlopps (VA) sammanhang ett tunt semipermeabelt ytskikt/membran genom vilket vatten filtreras. Ett stort antal olika typer av membran har utvecklats under åren, främst för användning inom industrin.

Beroende på storleken på det som ska avskiljas skiljer man mellan olika membrantyper. Den "glesaste" typen av membran kallas mikrofilter, MF, och används för avskiljning av i huvudsak partiklar ner till mikrometernivå, ca 0,1-1 μm , eller 100-1000 nm. Denna typ av membran används sparsamt för dricksvattenbehandling eftersom avskiljningen inte är tillräckligt bra för att membranerna ska kunna anses som en barriär mot mikroorganismer samtidigt som membranerna lättare sätts igen och måste tvättas oftare än ultrafilter.

7.1.1 Ultrafilter

Ultrafilter, UF, avskiljer också i huvudsak partiklar, men nu ner till kolloider och makromolekyler på nanometernivå, ca 5-50 nm. UF räknas som en barriär mot mikroorganismer och "porerna", egentligen avståndet mellan långa polymerkedjor i membranmaterialet, är så små att de partiklar som kan tränga in i och sätta igen MF här lägger sig på membranytan.

Hollow-Fiber Module/ Membranmodul:

Hålfibermembran sammansatta i "buntar" horisontellt eller vertikalt, antingen inneslutna i ett tryckkärl eller nedsänkta i en tank används oftast i UF applikationer, se Figur 9.



Figur 9. Uppskuren membranmodul källa: Dupont

7.1.2 Nanofilter

Nanofiltrering NF avser en membranprocess som avvisar partiklar i det ungefärliga storleksintervallet 1nanometer, därav termen "nanofiltrering". NF används i gränslaget mellan UF och omvänd osmos. NF, är i första hand lämpade för att avskilja lösta ämnen som t.ex. naturligt organiskt material, NOM, och laddade joner och molekyler i storleksintervallet 0,7-1,5 nm.

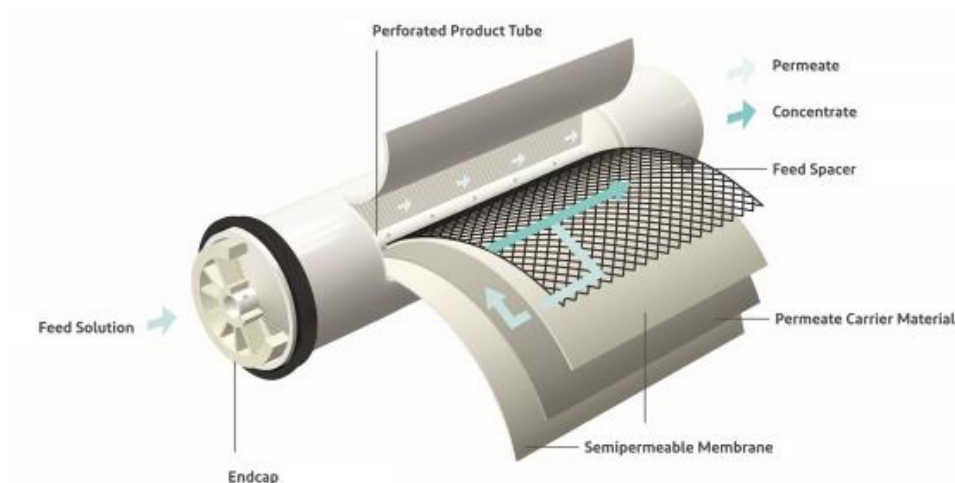
7.1.3 Omvänd osmos/Reverse osmosis

Omvänd osmos, RO, utgör de tätaste membranerna och används för avskiljning av enskilda joner och små molekyler i storleksintervallet 1-5 Å, eller 0,1-0,5 nm. Främsta användningen är avsaltning av havs- och bräckvatten.

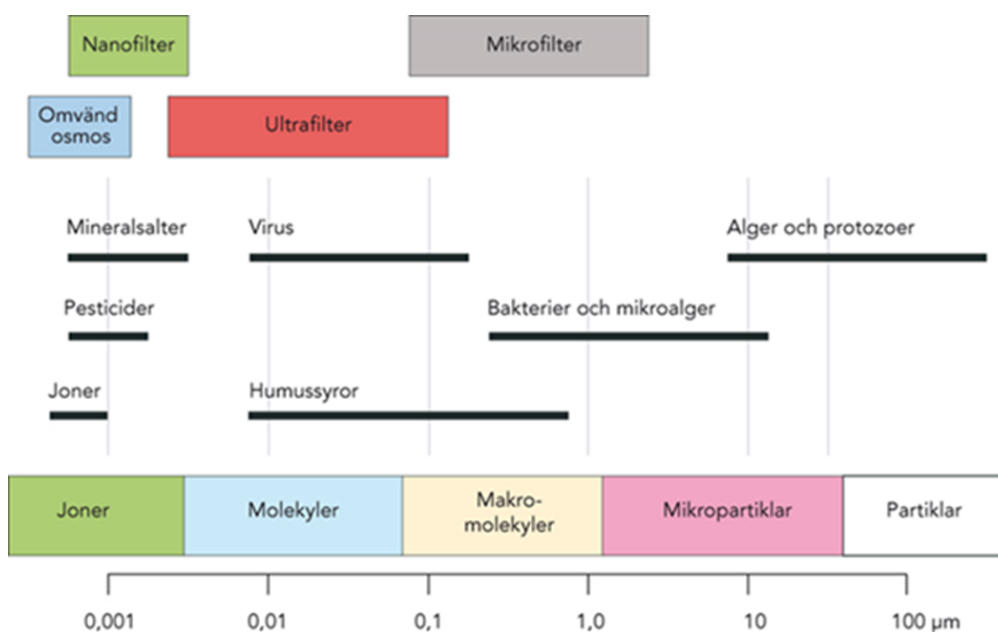
7.1.4 Membranelement:

Termen membranelement eller bara element används för NF/RO-membran, vanlig standard i industri och VA sammanhang är 8" x 40"; diameter x längd, elementen konstrueras spirallindade. Sammansätts ofta i serie i trycksatta tuber.

Olika element benämns beroende av tillverkare med olika koder där NF betyder nanofilter, BWRO betyder bräckvatten, SWRO betyder havsvatten. Benämningarna exempelvis NF270 och NF90 är nanofilterelement med olika egenskaper. Hur det fungerar visas i Figur 10 och Figur 11.



Figur 10. Spirallindat membranelement, källa: Dupont



Figur 11. Olika membrantypers avskiljningsförmåga, källa: Svenskt Vatten

7.2 Kort ordlista avseende membranteknik

Nedan har de vanligaste engelska termerna/uttrycken i membransammanhang översatts till svenska.

7.2.1 AS Air Scour/ Air Scrub- Luftspolning:

Rengöringsmetod med luft för att rengöra UF fibrer genom att skaka loss avlagringar från ytan

7.2.2 BW Backwash/ backflush/ Backpulse- Backspolning:

Rengöringsmetod med filtervatten som hydrauliskt pumpas genom membranen från filtratsidan för att avlägsna eventuella avlagringar på membranen.

7.2.3 CEB Chemically Enhanced Backwash:

Rengöringsmetod med kemikalier, ofta med automatiskt inställda intervaller. En del kemikalier läggs till i backspolvattnet för att effektivisera rengöringen. Oftast ingår det också blötläggning av membranen.

7.2.4 CIP Clean-In-Place:

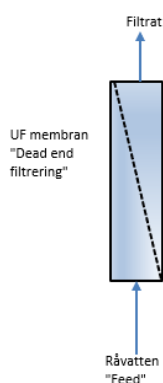
Rengöringsmetod med kemikalier, oftast manuellt igångsatt. Där olika kemikalier tillsätts i en viss ordning för att rengöra membranen.

7.2.5 Concentrate- Koncentrat:

Det vattenflöde som lämnar membranen som inte används utan går till avloppet.

7.2.6 Dead-End filtrering:

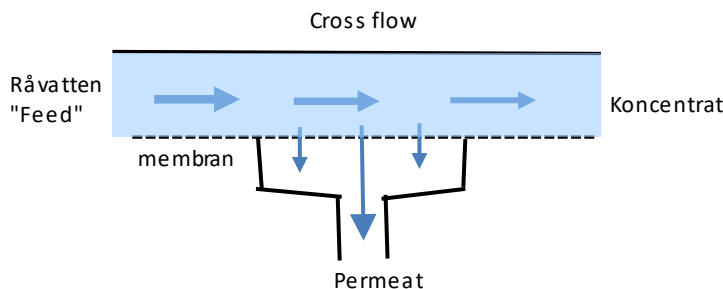
I en membranläggning med dead-end trycks allt vatten genom membranet som i ett vanligt gravitationsfilter dvs det finns inget koncentratflöde (retentat) används oftast i UF, se Figur 12.



Figur 12. Dead end filtrering.

7.2.7 Cross-flow filtrering:

Den vanligaste applikationen för NF/RO är cross-flow där permeatet tas ut på den "rena" sidan av membranet och föroreningar koncentreras upp i retentatflödet.



Figur 13. Cross Flow filtrering.

7.2.8 Feed:

Vattenströmmen som går in i membransystemet.

7.2.9 Filtrate- Filtrat:

Vattenflödet som går genom membranet och är fritt från föroreningar.

7.2.10 Flux- Ytbelastning:

Genomströmningen av ett membranfiltreringssystem uttryckt som flöde per enhet av membranarea liter per timme per kvadratmeter (LMH).

7.2.11 Fouling/ Scaling:

Den gradvisa reduktionen av filtratflöde vid konstant tryck (eller ökning i TMP vid konstant filtratflöde) på grund av adsorption eller avsättning av föroreningar inom eller på membranet.

7.2.12 Permeability- Permeabilitet:

Ett membrans förmåga att släppa igenom ett vattenflöde.

En bra indikator för membranets prestanda. Beräknas som Flux dividerat med TMP och uttrycks i LMH / bar.

7.2.13 Permeat- membranfiltrat:

Det vatten som passerat membranen (det rena vattnet).

7.2.14 Recovery:

Andelen av inkommande vatten till membranen som passerar ut som permeat (membranfiltrat) uttryckt i %.

7.2.15 Retentat- Koncentrat:

Se Koncentrat.

7.2.16 TMP:

Transmembrane pressure (TMP) är tryckskillnaden mellan matar och filtratsidan över ett membran.

7.2.17 nm eller nanometer:

Längdenheten nm är en längdenhet och motsvarar en miljarddels meter. $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ meter} = 0,000 \text{ } 000 \text{ } 001 \text{ meter}$.

7.2.18 Å eller Ångström:

Beteckningen Å är en längdenhet, $1 \text{ Å} = 0,000\ 000\ 000\ 1 \text{ m} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$, $10 \text{ Å} = 1 \text{ nm}$