



KRÜGER  VEOLIA

Ullerup Vandværk

Beregning af vandkvalitet ved
forskellige blødgøringsprocesser

Marts 2020

WATER TECHNOLOGIES



Udarbejdet af: FBW

Kontrolleret af: PEN

Udgave: 1.1 - spildevandsafgift tilpasset til trappemodel (11.03.2020)

Projektnummer: 1300 -21071

Krüger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

SØBORG
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AALBORG
Indkildevej 6C
DK-9210 Aalborg SØ
T +45 9818 9300
kruger@kruger.dk

AARHUS
Haslegårdsvænget 18
DK-8210 Aarhus V
T +45 8746 3300
kruger@kruger.dk

GLOSTRUP
SERVICE
Fabriksparken 35
DK-2600 Glostrup
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AQUACARE
Fabriksparken 50
DK-2600 Glostrup
T +45 4345 1676
aquacare@kruger.dk



Indholdsfortegnelse:

1 Indledning	4
2 Blødgøring og reduktion af kalkudfældning	5
3 Teknologier	6
3.1 Kalkpille (Pellet) metoden	7
3.2 Traditionel ionbytning	9
3.3 CARIX ionbytning	10
3.4 Membranfiltrering (LPRO)	11
3.5 Elektrolyse	13
3.6 Plastic Air Softening (PAS)	14
4 Sammenligning af teknologier	15
4.1 Drikkevandskvalitet	15
4.2 Spildevand	16
4.2.1 Spildevand - ionbytning	16
4.2.3 Spildevand - membran	18
4.2.4 Skyllvand - CARIX	19
4.2.5 Skyllvand - pellet og elektrolyse	19
4.2.6 Muligheder for afledning af spildevand	19
4.3 Overordnet teknisk sammenligning	21
4.4 Valg af blødgøringsproces til nærmere beskrivelse	22
5 Mulige specifikationer af blødgøringsanlæg samt grov økonomi	23
5.1 Ionbytningsanlæg	23
5.1.1 Teknisk opbygning	23
5.1.2 Forbrugsmaterialer og restprodukter	23
5.1.3 Pasningsbehov og arbejdsmiljø	23
5.1.4 Grov økonomisk overslag	24
5.1.5 Risikoanalyse	24
5.2 CARIX ionbytning	24
5.3 Membrananlæg	25
5.3.1 Teknisk opbygning	25
5.3.2 Forbrugsmaterialer og restprodukter	25
5.3.3 Pasningsbehov og arbejdsmiljø	25
5.3.4 Grov økonomisk overslag	26
5.3.5 Risikoanalyse	26
5.4 Omkostninger ved afledning af spildevand til kloak vs. afledning til recipient	27
6 Sammenfatning	28



BILAG

A. Vandkvalitet



1

Indledning

Krüger A/S er blevet bedt af Halsnæs Vandforsyning A.m.b.a. om at bestemme den resulterende vandkvalitet på Ullerup Vandværk, ved forskellige blødgøringsmetoder.

Den dimensionerende vandkvalitet er beregnet under iagttagelse af rentvandskvaliteten gennem de sidste 5 år, og råvandskvaliteten inkl. blandingsforhold af værket's 16 boringer. Beregninger er derudover baseret på en årsproduktion på 550.000 m³/år.

I nærværende rapport beskrives indledningsvist de mest almindelige blødgørings teknikker og der beregnes en resulterende vandkvalitet og spildevandskvalitet fra de forskellige teknikker.

Den resulterende vandkemi beregnes for de følgende blødgøringsmetoder:

- Kalkpille (Pellet) metoden med NaOH
- Kalkpille (Pellet) metoden med Ca(OH)₂
- Traditionel ionbytning
- CARIX ionbytning
- Membranfiltrering (Low Pressure Reverse Osmosis; LPRO)
- Elektrolyse

Ud fra en sammenligning af de tekniske og vandkvalitetsmæssige forhold er der udvalgt de mest optimale blødgørings teknikker. Disse er beskrevet mere specifikt og der er udarbejdet grove økonomiske overslag for etablering af disse processer på vandværket.



2

Blødgøring og reduktion af kalkudfældning

Ved blødgøring af vand foretages en reduktion af vandets hårdhed ved at fjerne calcium og magnesium ioner fra vandet.

Vandets totale hårdhed er defineret som: $[Ca]/7,13 + [Mg]/4,35$ [°dH]

hvor $[Ca]$ = koncentrationen af calcium (mg/l)
 $[Mg]$ = koncentrationen af magnesium (mg/l)

Typisk reduceres vandets totale hårdhed til 6 – 12 °dH inden det pumpes ud på ledningsnettet.

Derudover reduceres vandets kalkfældningspotentiale (CCPP), som er et udtryk for hvor meget kalk ($CaCO_3$) der teoretisk kan udfældes fra vandet. Erfaringer fra udlandet viser at CCPP skal reduceres til under 60 mg kalk/l ved 90 °C for at forbrugerne oplever en positiv effekt.

Ved etablering af blødgøringsanlæg opnås flere positive effekter som:

- Reduktion af belægninger i varmevekslere og lign.
- Mindre lokalt forbrug af detergenter/sæbe/rengøringskemikalier.
- Generelt færre belægninger i rør, armaturer og på overflader.
- Ændring i vandkemi: Reduktion af nikkel for nogle teknologier

Der kan dog også forekomme negative effekter afhængig af den valgte teknologi så som:

- Ændring af vandkemi: tilførsel af natrium
- Øget korrosion af rørmaterialer
- Øget vandspild.
- Øget energiforbrug.

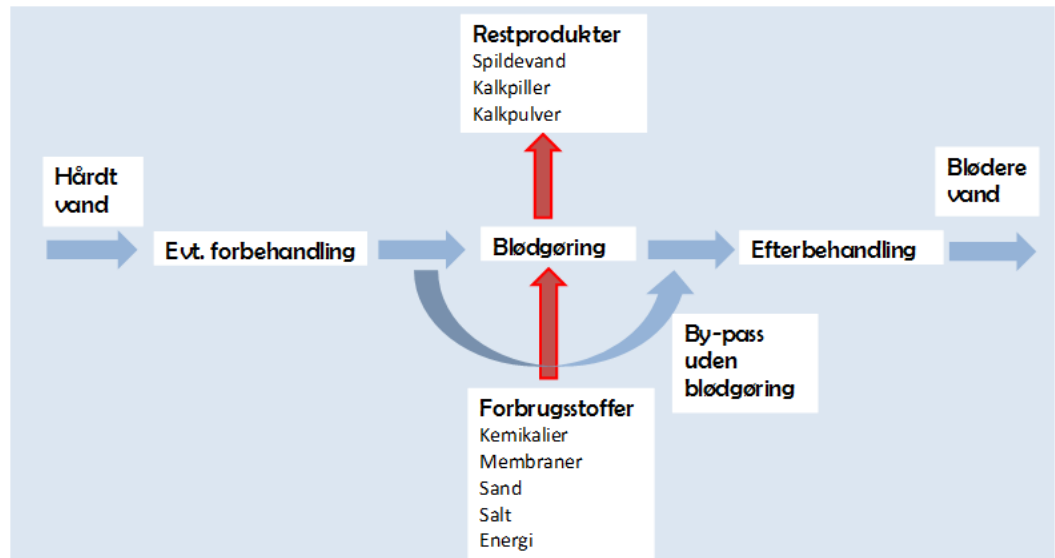
De potentielle sundhedsproblemer, der er relateret til blødgøring, skyldes hovedsagelig ændringer i vandets indhold af natrium, fluorid, calcium og magnesium. Nogle studier har vist en sammenhæng mellem højt indtag af natrium og højt blodtryk, men sammenhængen er ikke entydig. Calciummangel er tæt knyttet til knogleskørhed, og magnesium beskytter mod sukkersyge og hjerte-kar sygdomme. Styrelsen for Patientsikkerhed har dog konkluderet, at den samlede sundhedsmæssige effekt af blødgøring er meget begrænset, da mineralindtaget fra drikkevand ikke anses for at være afgørende for sundheden.



3 Teknologier

Der findes flere veldokumenterede centrale blødgøringsteknologier, som er i drift i Danmark samt på udenlandske vandværker i bl.a. Sverige, Tyskland, Frankrig og Holland. Teorien bag de mest benyttede teknikker er kort beskrevet i det følgende.

En oversigt over de forskellige teknikker og det generelle princip for blødgøring er vist i figur 3.1 og tabel 3.1.



Figur 3.1: Generelt princip for central blødgøring af drikkevand

Tabel 3.1 Oversigt over udvalgte blødgøringsteknikker, typisk placering i renseprocessen, forbrugsstoffer og spild/restprodukter

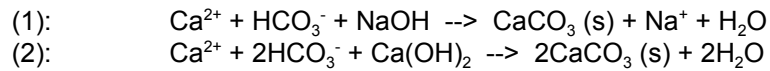
Teknik	Typisk forbehandling	Typisk efterbehandling	Forbrug	Rest/spild
Kalkpille (Pellet)	ingen	Iltning, filtrering (UV)	Lud, sand, kuldioxid	kalkpiller
Membran (LPRO)	Iltning, filtrering	pH justering	Antiscalant	Konc. vand
Trad. ionbytning	Iltning, filtrering	UV, evt. pH justering	Salt (NaCl)	Saltvand
CARIX ionbytning	Iltning, filtrering	Luft stripping	kuldioxid	Konc. vand
Elektrolytisk kalkfældning	Iltning, filtrering	Luft stripping	'strøm'	kalkslam
PAS¹	Iltning, filtrering	-	luft	kalkslam

¹ Dansk patentanmeldt teknik under udvikling



3.1 Kalkpille (Pellet) metoden

Ved kalkpille metoden udfældes calcium som calciumkarbonat ved at øge vandets pH ved tilsætning af et basisk kemikalie som f.eks. natriumhydroxid (1) eller calciumhydroxid (2).



Indholdet af magnesium ændres ikke ved processen. Ved dosering af natriumhydroxid øges vandets indhold af natrium (1), hvilket kan være problematisk for nogle vandtyper. Calciumindholdet kan typisk reduceres til ca. 20 - 25 mg/l ved processen.

Natriumhydroxid leveres som et flydende produkt – typisk som 27 eller 50 % natriumhydroxid. Det kan doseres direkte til processen.

Calciumhydroxid leveres som et pulverprodukt, som skal opslemmes i vand inden det tilsættes. Typisk benyttes en 5 – 10 % opslemning.

Oftest anvendes natriumhydroxid, idet processen med opslemning af calciumhydroxid gør det driftsteknisk mere kompliceret.

Det blødgjorte vands pH værdi er normalt 8,5 – 9,5, og pH skal reduceres inden udpumpning til forbrugerne enten ved opblanding med ikke blødgjort vand og/eller ved dosering af f.eks. kuldioxid. På grund af den høje pH værdi i processen udfældes der også tungmetaller fra vandet, så det blødgjorte vand indeholder færre tungmetaller.

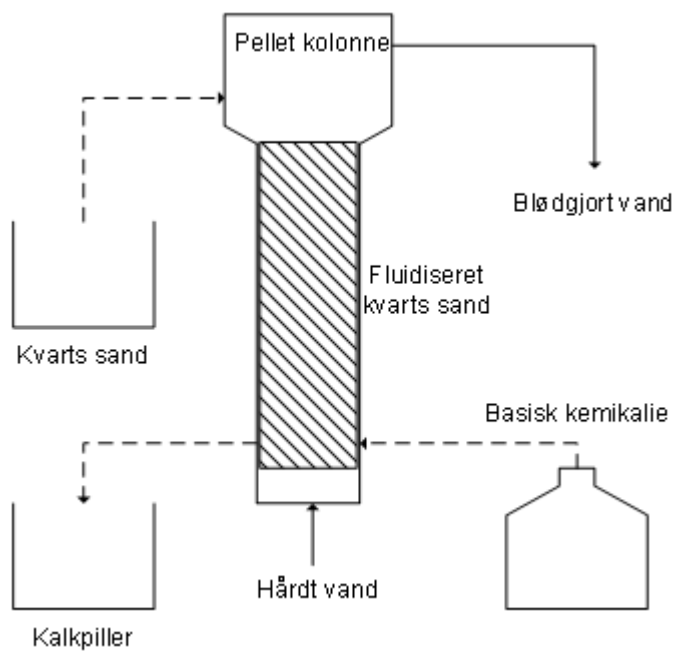
Figur 3.1 og 3.2 viser en principskitse af processen og billeder af en pellet kolonne med en kapacitet på ca. 100 m³/time. Kolonnen indeholder finkornet kvarts sand.

Ved at tilføre vand i bunden af kolonnen med en høj overfladehastighed på typisk 60 – 100 m³/m²/time fluidiseres sandet. Kemikaliet tilsættes i bunden af kolonnen, hvorved kalken udfælder på sandkornene, og der dannes faste kalkpiller (pellets). Efterhånden som sandkornene med kalkbelægninger vokser, falder de mod bunden af kolonnen. De største korn udtages automatisk dagligt til lager, og der tilføres nyt sand til kolonnens top. Kalkpillerne kan bortskaffes f.eks. til udspreddning på landbrugsjord, kyllingefoder, bygningsmateriale eller deponi afhængigt af indholdet af tungmetaller.

Det blødgjorte vand indeholder restpartikler af kalk og skal derfor efterfiltreres i et traditionelt dybdefilter, inden det kan udpumpes på ledningsnettet. Vandspildet ved pellet metoden er typisk omkring 0,5 %.

Pellet kolonnen kan placeres både før og efter den traditionelle vandbehandling på vandværket. Ved placering før vil en del af råvandets jernindhold udfældes på kalkpartiklerne, hvilket medfører lavere produktion af okkerslam på vandværket men en lidt større produktion af kalkpiller.

På grund af processens kompleksitet og da den fungerer bedst ved forholdsvis kontinuert drift, benyttes den sjældent på vandværker med en produktion under 50 - 100 m³/time og på vandværker der kører diskontinuert.



Figur 3.2 Princip af kalkpille metoden.

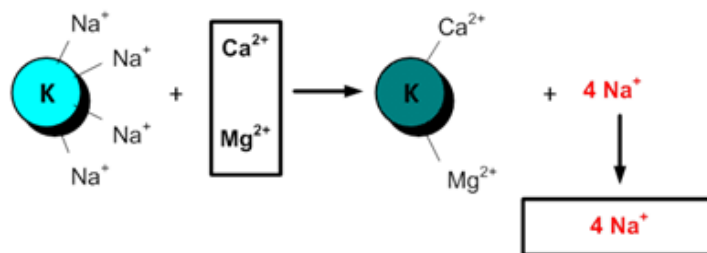


Figur 3.3 Billede af Veolia's Actina kalkpille kolonne og tilhørende filtre samt producerede kalkpiller.



3.2 Traditionel ionbytning

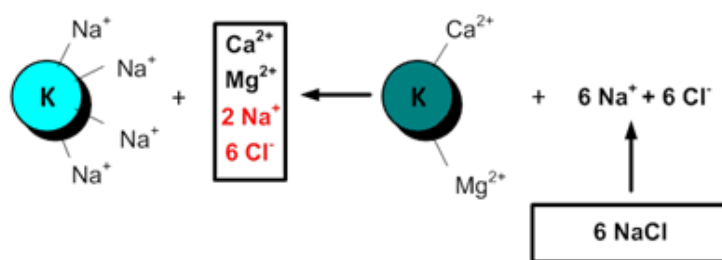
Ved blødgøring med traditionel ionbytning fjernes calcium og magnesium ved at det adsorberes til et specialfremstillet organisk granuleret ionbyttermateriale under samtidig frigivelse af natrium fra ionbytteren:



Dvs. efter blødgøringen indeholder det producerede vand et forhøjet indhold af natrium, mens andre vandkvalitetsparametre ikke ændres. For at overholde drikkevandskravet til natrium kan det være nødvendigt at opblende med andet vand med lavere natriumindhold.

Ionbyttermassen udvælges specifikt til blødgøring og er ilagt et traditionelt lukket filter. Det hårde vand filtreres gennem ionbyttermassen med en filterhastighed på typisk $10 - 20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{time}$. Ionbytteren er forholdsvis finkornet og for at undgå tilstopning af materialet, skal tilløbsvandet være forfiltreret i et traditionelt dybdefilter.

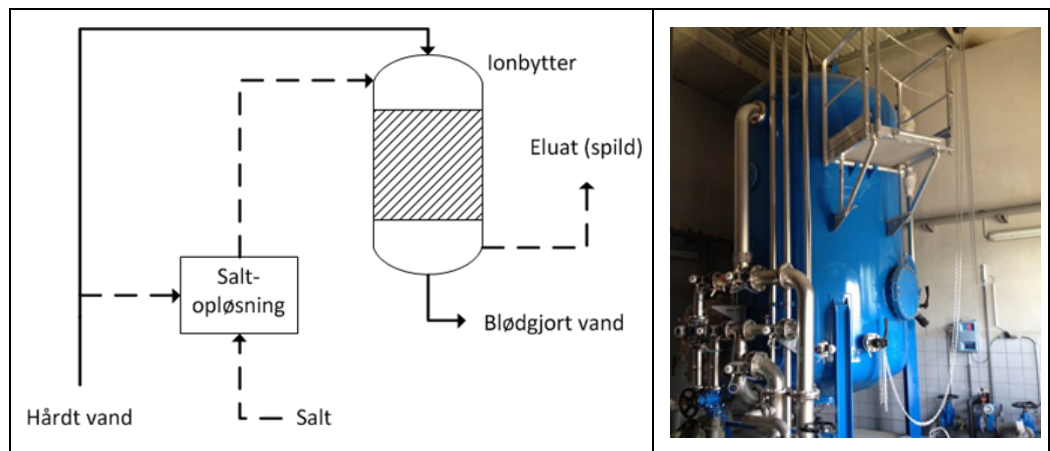
Når alt natrium er udskiftet med calcium og magnesium skal ionbytteren regenereres med nyt natrium. Dette sker ved en speciel skylleproces, hvor der bl.a. tilføres nyt natrium fra en saltopløsning, der skubber de bundne calcium og magnesiumioner af ionbyttermassen og ud som saltholdigt spildevand:



Regenereringen tager typisk op til 2 - 3 timer og skal udføres dagligt. Det er derfor nødvendigt med flere ionbytter filtre i parallel drift, hvor ét filter står i regenerering/vente position. Vandspildet fra regenereringen udgør typisk 2 - 4 % og er stærkt saltholdigt vand.

Teknikken er velegnet til mindre vandværker, da den er fuldautomatisk og kan driftest diskontinuert. Den er ikke krævende i forhold til vedligehold og service.

Figur 3.4 viser en principskitse af en ionbytter proces.



Figur 3.4 Principskitse af ionbytterproces og billede af ionbytterfilter.

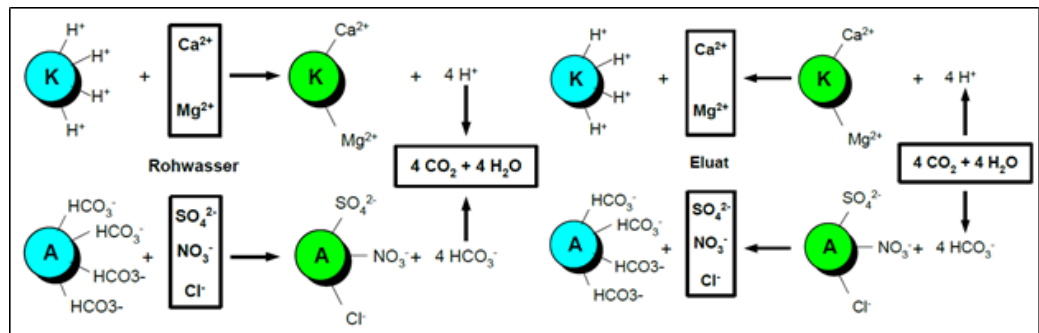
3.3

CARIX ionbytning

Ionbytning ved CARIX metoden adskiller sig fra den traditionelle ionbytning, ved at der benyttes ionbyttermaterialer, som både kan fjerne calcium, magnesium, sulfat, klorid og nitrat efter en specifik valgt opbygning med 2 forskellige ionbyttermaterialer. Ved driften dannes kuldioxid i vandet som afblæses i en efterfølgende luft stripning. Dvs. drikkevandet tilføres ingen tilsætningsstoffer.

Ved regenereringen tilsættes kuldioxid under tryk hvorved de adsorberede stoffer frigives fra ionbytteren og afledes som spild.

Princippet for processen er vist i figur 3.5.



Figur 3.5 Princip for CARIX ionbytningsproces. K: kationbytter, A: anionbytter. Driftssituation vist til venstre og regenerering til højre.

Ionbytteren er svagere end den traditionelle ionbytter, hvorfor blødgøringen er mindre effektiv, og der skal benyttes et større ionbyttervolumen.

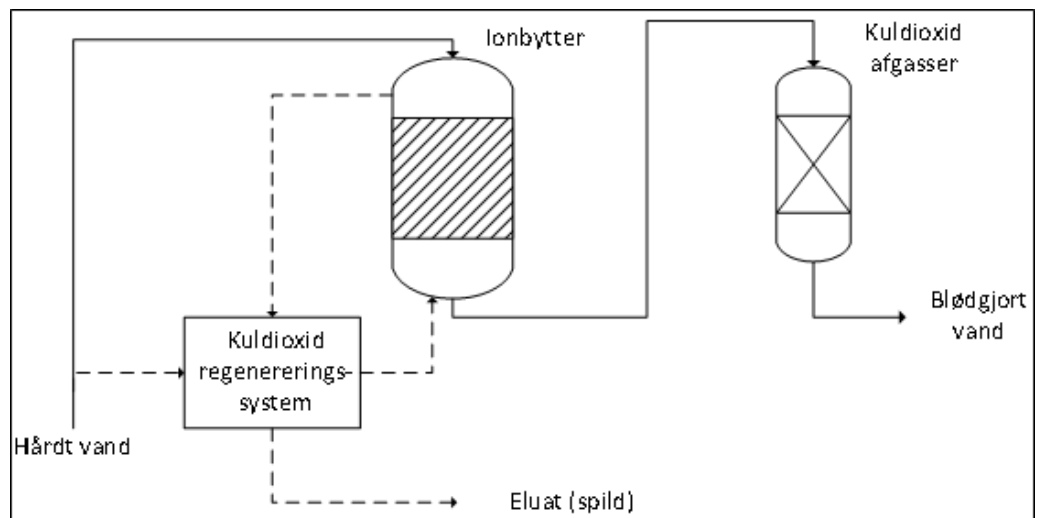
Fordelen ved denne proces er, at den ikke benytter natriumklorid (salt) til regenereringen, men i stedet kuldioxidgas. Herved øges indholdet af natrium ikke i det behandlede vand, og spildvandet til afledning (eluat'et) indeholder kun de ioner, der er fjernet fra indløbsvandet.

Op til 95 % af den benyttede kuldioxid kan genbruges, hvorved kuldioxid forbruget til regenereringen reduceres. Vandspildet ved processen er højere end ved den traditionelle ionbytningsproces og udgør typisk 5 %.



CARIX benyttes typisk til vandværker med en produktion over 50 m³/time, da startomkostningerne til udstyret og styringen er forholdsvis høje. Men anlægget er tilsvarende traditionel ionbytning fuldautomatisk og kan driftes diskontinuert og er ikke krævende i forhold til vedligehold og service.

Et princip for CARIX ionbytningen er vist i figur 3.6, og billeder af et anlæg er vist i figur 3.7.



Figur 3.6 Principeksempel af CARIX ionbytningsproces.



Figur 3.7 Billede af CARIX ionbytter anlæg

3.4

Membranfiltrering (LPRO)

Ved membranfiltrering fjernes hårdheden fra vandet rent fysisk ved at filtrere vandet gennem en membran, der tilbageholder både calcium og magnesium. Andre molekyler i vandet vil samtidig blive tilbageholdt i større eller mindre grad afhængigt af membranens tæthed. Membranfiltrering producerer således en konstant god vandkvalitet.

Filtrering gennem membraner giver et tryktab, som bliver større, jo tættere membranen er – dvs. energiforbruget stiger med tættere membraner. Der bør



derfor vælges en membrantype, der primært fjerner hårdhed fra vandet og ikke alle salte. Sådanne nanofiltrering- eller LPRO (Low Pressure Reverse Osmosis) membraner vil være passende at anvende, da de typisk tilbageholder ladede ioner som calcium, magnesium og sulfat. Derudover tilbageholdes også en mindre del af andre ioner som natrium, klorid og hydrogenkarbonat samt organisk stof. Tilbageholdelsen af hydrogenkarbonat medfører et pH fald i det rensede vand, og dermed er vandet aggressivt efter behandlingen. Det skal derfor enten opblandes med andet vand til neutralisering af aggressiviteten, eller der skal tilføres et basisk kemikalie, eller kuldioxid skal afblæses inden det kan udpumpes.

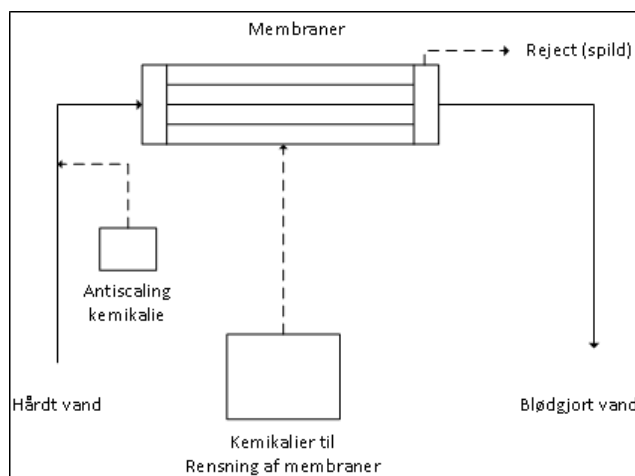
Forud for en membranfiltrering skal råvand gennemgå en traditionel vandbehandling for bl.a. at fjerne suspenderet stof som okker, der ellers hurtigt vil tilstoppe membranoverfladen. Derudover skal vandet forfiltreres i et 1 – 5 µm filter. Alligevel vil der ved vandets passage af membranoverfladen være stoffer, der ikke kan passere, og som opkoncentreres. Herved udfældes partikler, som tilstopper membranoverfladen. For at reducere dette og samtidig opnå en passende stor udnyttelsesgrad af tilløbsvandet, skal der tilsættes såkaldte antiscaling kemikalier og eventuelt syre til tilløbsvandet. Det er bl.a. fosfatholdige kemikalier, som er godkendt til brug i drikkevand i udlandet. Antiscaling kemikalierne passerer principielt ikke membranen og kommer derfor ikke i drikkevandet men i rejectet (spild), som også er stærkt kalkfældende. I nyere anlæg har det vist sig, at der med nogle antiscaling kemikalier måles pesticidnedbrydningsproduktet AMPA i drikkevandet. Det undersøges pt. nærmere.

Vandspildet ved membranfiltrering er stort og udgør typisk 15 – 20 % af indløbsvandet til membranen. Spildet varierer afhængig af membrantypen og opbygningen af anlægget.

Med mellemrum skal membranoverfladen rengøres kemisk for at fjerne belægninger, som ikke helt kan undgås selv ved tilsætning af antiscaling kemikalier og syre. Det gøres ved at recirkulere sure og/eller basiske kemikalier gennem membranen. Disse kemikalier skal neutraliseres før udledning til afløb. Levetiden af selve membranerne er typisk 5 - 10 år afhængigt af driften og rengøringen.

Membrananlæg kan benyttes både til mindre og større vandværker, da anlæggene er fuldautomatiske og ikke kræver større pasning og vedligehold.

Figur 3.8 viser en principskitse af en membranproces og figur 3.9 viser et billede af et membranfiltreringsanlæg.



Figur 3.8 Principskitse af membranproces.



Figur 3.9 Billede af LPRO membraner til blødgøring.

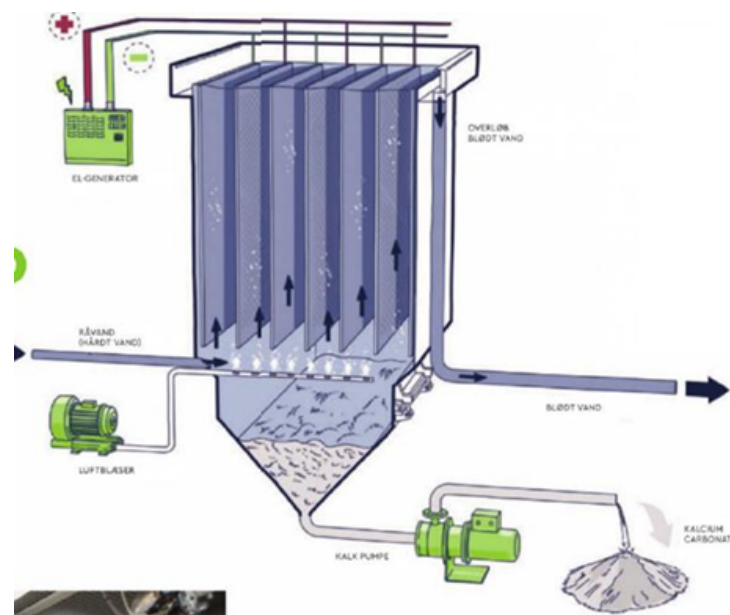
3.5

Elektrolyse

Anlæg til blødgøring med elektrolyse fungerer ved at vandet passerer et elektrolysekammer, hvor kalk udfælder på katoden og der dannes kuldioxid på anoden. Udover disse reaktioner vil der også dannes klorgas og brintgas. Derudover kan der dannes sundhedsskadelige trihalomethaner og bromat afhængigt af vandkvaliteten. Især høje koncentrationer af NVOC (> 2 mg/l) og klorid (> 50 mg/l) er muligvis problematisk. Dette bør undersøges nærmere ved forsøg inden installation af fuldskalaanlæg.

Det dannede kalk frigøres ved f.eks. luftindblæsning og det fjernes som kalkslam. Processen kræver en forholdsvis stor opholdstid og reduktionen af hårdheden ligger typisk nede på 30 - 40 %. En fordel ved metoden er bl.a. at der næsten ikke produceres spildevand.

Pt. forefindes kun anlæg i Frankrig, men metoden har været testet i Danmark. Metoden er velegnet til mindre og mellemstore vandværker.



Figur 3.10 Figur af elektrolyseanlæg til blødgøring.

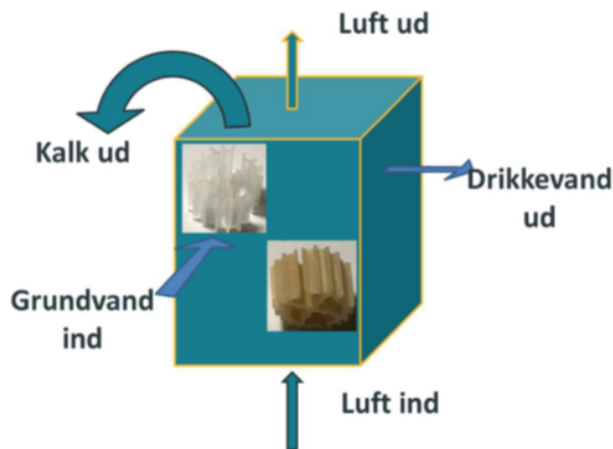


3.6 Plastic Air Softening (PAS)

PAS teknologien er en dansk patentanmeldt teknik, der er under udvikling.

Metoden fungerer ved, at der ved kraftig luftindblæsning i vandet udfældes kalk på små plastikelementer af PP eller PE. Kalken fjernes løbende som kalkslam der ved induceret turbulens brækkes af overfladen af plastikelementerne. Der kan typisk fjernes op til ca. 50% af vandets hårdhed ved processen. Kalkslammet transporteres med skyllevand til en klaringstank, hvor kalken bundfælder. Hovedparten af skyllevandet returneres til processen og kalken overføres til en lagertank, hvor det drænes for restvand. Restproduktet er kalkpartikler (10 - 100 mikrometer), der kan anvendes som f.eks. landbrugskalk (dette er dog afhængig af muligt indhold af tungmetaller som for eksempel nikkel, Ni).

Metoden vurderes at være færdigudviklet til kommercialisering indenfor et år. Den vil typisk være egnet til mindre vandværker og har en fordel i at der ikke produceres spildevand og der ikke benyttes kemikalier. Der kræves en forholdsvis lang opholdstid af vandet i beluftsingskammeret på ca. 1 - 1½ time, hvilket kræver noget bygningsvolumen.



Figur 3.11 Princip af PAS anlæg og billede af forsøgsanlæg på ca. 10 - 15 m³/time.

NB.:

Der er ikke foretaget beregninger af den resulterende vandkvalitet ved denne metode.



4 Sammenligning af teknologier

4.1 Drikkevandskvalitet

I bilag A er vist den beregnede dimensionerende råvandskvalitet for blødgøringsanlæg.

Baseret på disse data og Krügers kemiske simuleringsprogram er de resulterende drikkevandskvaliteter beregnet for de forskellige blødgøringsteknikker.

Tabel 4.1 viser udvalgte parametre for de forskellige teknikker.

Tabel 4.1 Vejledende beregnet drikkevandskvalitet med udvalgte blødgøringsteknikker

Teknologi		Nuv. DV ¹	Pellet (NaOH)	Pellet (Ca(OH) ₂)	Trad. ionb.	CARIX	Membran	Elektrolyse
Calcium	mg/l	83	25	25	34	47	48	42
Magnesium	mg/l	33	33	33	13	19	19	33
pH	-	7,8	7,9	8,1	7,8	7,7	7,8	7,7
Bikarbonat	mg/l	405	371	224	401	282	232	275
Natrium ²	mg/l	80	138	80	171	80	49	80
Hårdhed ³	°dH	19,2	11,1	11,1	7,8	11,0	11,0	13,4
Sulfat	mg/l	5	5	5	5	1	3	5
Klorid	mg/l	140	140	140	140	108	86	140
NVOC	mg/l	4,0	4,0	4,0	4,0	3,2	2,5	4,0
CCPP ₉₀ ⁴	mg/l	127	42	30	59	59	52	52
LSI ⁵	-	0,69	0,23	0,23	0,29	0,15	0,17	0,17
Larson index ⁶	-	0,62	0,67	1,10	0,62	0,66	0,65	0,90

¹ Nuværende drikkevandskvalitet

² Må maksimalt være 175 mg/l

³ Hårdhed - ønskes mellem 8-12 °dH

⁴ Kalkfældningspotentiale ved 90 °C - anbefales < 60 mg/l

⁵ Kalkopløsningsindex - skal være > 0,0

⁶ Korrosionsindex - skal være < 1,0

Beregningerne viser, at den ønskede hårdhed mellem 8-12 °dH ikke kan overholdes ved blødgøring med elektrolyse. Dette skyldes, at blødgøring med elektrolyse kun er i stand til at nedsætte hårdheden med ca. 5-6 °dH.

For at opnå et CCPP₉₀ under 60 mg/L, skal der med traditionel ionbytning blødgøres til en hårdhed i rent vandet på ca. 7,8 °dH. Dette opnås ved blødgøring af ca. 60 % af vandet, hvor de resterende 40 % by-passes. Dette resulterer i et større indhold af natrium i vandet, som ligger lige på kravet på maks. 175 mg/l.



Beregningerne viser derudover, at der kan produceres vand der ikke er kalkaggressivt ($LSI \geq 0$) for alle teknologier.

Vandet er heller ikke korrosivt (Larson index $< 1,0$), med undtagelse af når der anvendes blødgøring med pellet-kolonne med Ca(OH)_2 .

Generelt viser beregningerne at blødgøring med pelletmetoden med NaOH, traditionel ionbytning, CARIX ionbytning, og blødgøring med membran er i stand til at lave en god blødgjort vandkvalitet. Dog er, som nævnt ovenfor, natriumindholdet meget højt efter blødgøring med traditionel ionbytning.

Det gøres opmærksom på, at blødgøring med CARIX eller med membran, også vil medføre en reduktion af vandets klorid- og NVOC-indhold.

4.2 Spildevand

Spildevandsproduktionen *inklusiv* skyllevand fra de eksisterende sandfiltre, er overslagsmæssigt beregnet til ca.:

- Pellet (NaOH): 1,5%
- Pellet (Ca(OH)_2): 1,5%
- Ionbytning: 3%
- CARIX: 4,5%
- Membran: 10%
- Elektrolyse: 1,5%

Spildevandet fra pelletblødgøring og elektrolyse-anlæg genereres ifm. udtagning af kalkpellets og hhv. kalkslam. Spildevandets sammensætning, efter afdræning, er derfor den samme som i selve pelletkolonnen eller i elektrolyse-anlægget (ligner meget rentvandet).

For den traditionelle ionbytter, CARIX ionbytning, og membran, indeholder spildevandet også en opkoncentrering af andre stoffer. Dette er beskrevet nedenunder, for de tre teknologier.

4.2.1 Spildevand - ionbytning

Den traditionelle ionbytter skal regenereres med nyt natrium, når alt aktivt natrium på ionbyttermassen er udskiftet med calcium og magnesium. Dette sker ved en speciel skylleproces, hvor der bl.a. tilføres nyt natrium fra en saltopløsning (natriumklorid, NaCl).

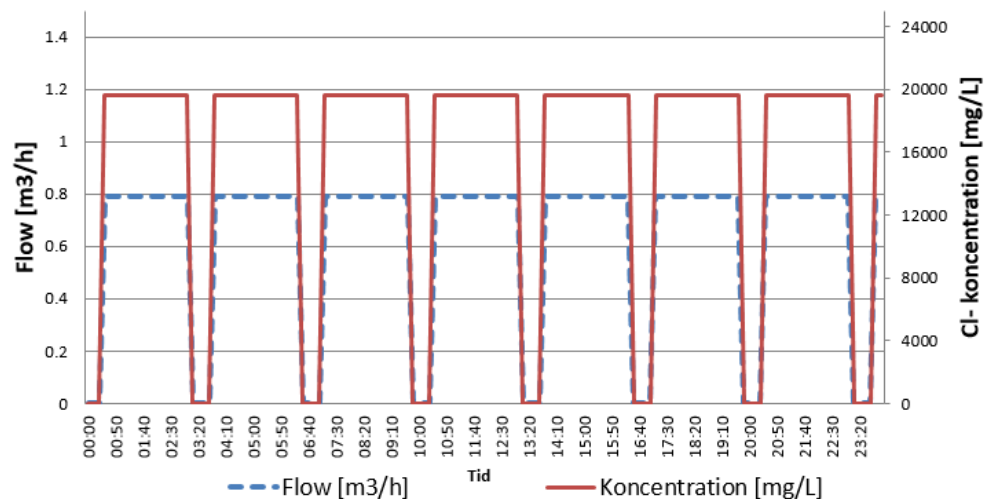
Skylleprocessen består af flere faser:

1. Returskylning med vand
2. Gennemskylning med en 10 -12 % saltopløsning ved lavt flow - opløsningen kan *ikke* genbruges
3. Udskylning af saltopløsningen ved lavt flow - vand kan *ikke* genbruges
4. Returskylning med vand
5. Skylning ved normal driftsretning hvor eventuelle smårester af salt udskylles

Der skal bortledes ca. 18-20 m³ spildevand per døgn. Den gennemsnitlige vandkvalitet er vist i tabel 4.2. Cirka 23 m³ af vandet fra regenereringen kan genbruges efter desinfektion med UV-lys. Disse tal er gennemsnitsværdier, og er baseret på en årsproduktion på 550.000 m³/år.

**Tabel 4.2 Gennemsnitlig vandkvalitet af skyllevand fra regenerering af ionbytter**

Parameter	Enhed	kan ikke genbruges	kan genbruges
Døgnmængde	m ³	19	23
pH	-	6,5	7,8
Calcium	mg/l	4.280	83
Magnesium	mg/l	1.700	33
Natrium	mg/l	4.740	82
Bikarbonat	mg/l	245	401
Klorid	mg/l	19.650	140
Sulfat	mg/l	5	5
Total-N	mg/l N	1,8	1,8
Total-P	mg/l P	0,05	0,05
Opløst ilt	mg/l	10	10
Suspenderet stof	mg/l	< 10	0,2
Jern	mg/l	1	0,05
Mangan	mg/l	< 0,1	0,01
CCPP ₁₀	mg/l	33	41
LSI	-	0,2	0,6
Larson index	-	140	0,62

Batch udledning**Figur 4.1** Eksempel på muligt udledningsflow og kloridkoncentration i spildevand fra ionbytningsanlæg (over et døgn).



Figur 4.1 viser et eksempel på et muligt udledningsflow og den resulterende kloridkoncentration i spildevandet (i den del, der ikke kan genbruges). Flowet kan evt. være endnu lavere, afhængig af størrelsen af opsamlings-/forsinkelsesbeholderen.

Skal kloridkoncentrationen i det afledte vand reduceres, skal vandet blandes op med vand med en lavere koncentration. Dette kan for eksempel være den del af vandet fra regenereringsfasen, som egentlig *kan* genbruges. Blandes skyllevandet, vil kloridkoncentrationen dermed ca. halveres; indholdet vil dog fortsat være > 9.000 mg/l Cl⁻.

Det gøres opmærksom på, at der tidligere har været problemer med, at forsyninger, ansvarlig for drift af spildevandsanlæg, ikke ville modtage spildevandet fra denne type ionbytteranlæg. Grunden er de høje mængder af klorid, som kan være problematisk i forhold til korrosion af betonafløbsledninger og eventuelt skadeligt for de biologiske processer i renseanlægget. Se afsnit 4.2.6, for nærmere detaljer.

4.2.3

Spildevand - membran

Som nævnt ovenfor, er vandspildet ved membranfiltrering relativt stort. Spildet varierer afhængigt af membrantypen og opbygningen af anlægget.

For Ullerup Vandværk er spildet ca. 6,5 m³/t, svarende til 20 % af indløbsvandet til membran anlægget, og til ca. 10 % af den samlede indvinding. Denne værdi er et gennemsnitsværdi, som er baseret på en årsproduktion på 550.000 m³/år.

Tabel 4.3 Gennemsnitlig vandkvalitet af spildevand fra membran anlæg

Parameter	Enhed	Indhold
Flow	m ³ /t	6,5
pH	-	8,3
Calcium	mg/l	415
Magnesium	mg/l	170
Natrium	mg/l	400
Bikarbonat	mg/l	1960
Klorid	mg/l	700
Sulfat	mg/l	25
Total-N	mg/l N	8,2
Total-P	mg/l P	0,3
Opløst ilt	mg/l	10
Suspenderet stof	mg/l	0,2
Jern	mg/l	0,25
Mangan	mg/l	0,05
CCPP ₁₀	mg/l	752



4.2.4 Skyllevand - CARIX

Vandspildet ved CARIX ionbytning er middel-stort og udgør ca. 4,5 % af den samlede indvinding.

For Ullerup Vandværk er spildet ca. 3,0 m³/t, hvilket er et gennemsnitsværdi, som er baseret på en årsproduktion på 550.000 m³/år. Den vejledende sammensætning ses i nedenstående tabel.

Tabel 4.4 Gennemsnitlig vandkvalitet af spildevand fra CARIX

Parameter	Enhed	Indhold
Flow	m ³ /t	3,0
pH	-	6,5
Calcium	mg/l	1000
Magnesium	mg/l	450
Natrium	mg/l	80
Bikarbonat	mg/l	3500
Klorid	mg/l	950
Sulfat	mg/l	120
Total-N	mg/l N	8
Total-P	mg/l P	0,1
Suspenderet stof	mg/l	< 10
Jern	mg/l	1
Mangan	mg/l	< 0,1

4.2.5 Skyllevand - pellet og elektrolyse

Der produceres under 0,5% spildevand fra afdræning af kalkpiller og kalkslam og spildevandet har en sammensætning lignende rentvand.

Det kan sandsynligvis afledes til kloak eller opblandes med det eksisterende filterskyllevand og afledes med dette til recipient såfremt der kan gives/ der foreligger myndighedstilladelse.

4.2.6 Muligheder for afledning af spildevand

Fra traditionel ionbytning, med NaCl:

Som ovennævnt, har der tidligere været problemer med, at forsyninger, ansvarlig for drift af spildevandsanlæg, ikke ville modtage spildevandet fra ionbytteranlæg som regenereres med NaCl. Grunden er de høje mængder af klorid i spildevandet, som kan være problematisk i forhold til korrosion af betonafløbsledninger og eventuelt skadeligt for de biologiske processer i renseanlægget.



Tidligere er en forsyning blevet forespurgt om muligheden for tilladelse til afledning af spildevandet fra ionbytning, med en spildevandskvalitet der kan sammenlignes med den resulterende kvalitet vist i tabel 4.2.

Forsyningen har herefter meddelt, at de ikke vil aftage spildevandet fra blødgøring med traditionel ionbytning, da koncentrationen af klorid i vandet er langt over den anbefalede grænseværdi på 1.000 mg/l med henvisning til nedenstående vejledning.

Uddrag fra Vejledning nr. 2 (2006) fra Miljøstyrelsen vedrørende tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg:

'Af hensyn til usikkerheden om korrosionsfaren ved chlorid anbefales det, at der tages udgangspunkt i den hidtil gældende grænseværdi for chlorid på 1.000 mg/l, men forstået således, at det i den konkrete situation kan være velbegrunder at fravige denne grænseværdi. Det anbefales dog, at kommunen ved en større afvigelse fra grænseværdien, f.eks. ved 4.000 – 5.000 mg/l, jævnligt inspicerer den offentlige kloaklednings tilstand umiddelbart nedstrøms den fysiske tilslutning af det chloridholdige spildevand. Dette vil kunne danne grundlag for et eventuelt senere påbud om at nedbringe chloridindholdet i afledningen, hvis der skulle opstå tegn på korrosion'. 'Gennemsnitskoncentrationen af chlorid bør som udgangspunkt ikke være over 1.000 mg/l, jf. (VAV, 1983).'

En tilladelse til afledning af spildet til (fersk- /regnvands-)recipient, vurderes usandsynlig, pga. den høje indhold af klorid.

Fra CARIX ionbytning og membran:

Skyllevand fra CARIX ionbytning og fra membran-anlægget indeholder lavere mængder af klorid, dog alligevel en opkoncentrering af de stoffer, der er blevet fjernet fra vandet gennem behandlingen. Bl.a. indeholder spildevandet højere koncentrationer af total kvælstof, hvilket kan medføre udfordringer mht. afledning til recipient.

Under alle omstændigheder, bør muligheder for afledning af spildevandet fra CARIX eller membran undersøges hos/ med de relevante myndigheder.



4.3

Overordnet teknisk sammenligning

I tabel 4.5 er udvalgte tekniske fordele og ulemper ved de enkelte metoder oplistet.

Tabel 4.5 Udvalgte fordele og ulemper ved de forskellige blødgøringsmetoder

Metode	Fordele	Ulemper
Pellet blødgøring	• Kendt teknologi • Fjerner ikke Mg • Meget lavt vandspild	• Forøgelse af natriumindhold i drikkevand (blødg. med NaOH) • Arbejdskrævende (høj kompleksitet og stort pasningsbehov) • Kemikaliehåndtering (NaOH eller $\text{Ca}(\text{OH})_2$) • Stort højdekrav • Bortskaffelse af kalkpiller
Ionbytning, kationbytter (traditionel ionbytning)	• Kendt teknologi • Ikke særlig arbejdskrævende (lav kompleksitet og lille pasningsbehov) • Lavt vandspild • Lille-mellem arealkrav	• Forøgelse af natriumindhold i drikkevandet • Risiko for kimvækst fra ionbyttermateriale • Sal-holdigt skyllevand skal bortskaffes
Ionbytning, kat- og anionbytter (CARIX)	• Ingen tilførsel af natrium til drikkevand • Ikke særlig arbejdskrævende (middel i kompleksitet, men lille pasningsbehov) • Forbruger kuldioxid • Fjerner også andre stoffer - f.eks. klorid, NVOC, etc.	• Mellem-stort arealkrav • Højere vandspild end traditionel ionbytning • Højere startomkostninger end traditionel ionbytning
Membranfiltrering	• Fjerner også andre stoffer - f.eks. pesticider, klorid, NVOC, etc. • Kendt teknologi • Lille højde- og arealkrav	• Evt. uønskede indholdsstoffer i anti-scalant. • Relativt stort vandspild
Elektrolyse	• Lavt vandspild • Ingen tilsætning af kemikalier	• Begrænset reduktion af hårdheden • Sundhed: Risiko for dannelse af klorgas og trihalomethaner i drikkevandet • Bortskaffelse af udfældet kalkslam • Relativt stort arealkrav
PAS	• Lavt vandspild • Ingen tilsætning af kemikalier	• Ingen fuldskalaanlæg i drift og ingen referencer • Bortskaffelse af udfældet kalkslam • Relativt stort areal- og højdekrav



4.4

Valg af blødgøringsproces til nærmere beskrivelse

Baseret på beregningerne af rentvands- og spildevandskvaliteten og den kvalitative tekniske/ økonomiske sammenligning, er der i nedenstående tabel lavet en sammenfattende vurdering af egnetheden af hver af teknologierne for Ullerup Vandværk.

Tabel 4.6 Vurdering af egnethed af de forskellige blødgørings teknologier til anvendelse på Ullerup Vandværk.

Metode	Egnethed / kommentar
Pellet blødgøring	• Uegnet pga. af vandværks-størrelse, høj kompleksitet, højdekrav og forholdsvis stort pasningsbehov.
Ionbytning, kationbytter (traditionel ionbytning)	• Egnet. Hårdheden skal dog reduceres til 7,8 °dH for at opnå et tilstrækkelig lavt kalkfældningspotentiale (CCPP), hvilket forøger meget Natrium-indholdet i rentvandet. Spildevandsafledning skal afklares.
Ionbytning, kat- og anionbytter (CARIX)	• Egnet; god vandkvalitet. Dog er vandspildet højere, i forhold til traditionel ionbytning. Spildevandsafledning skal afklares.
Membran-filtrering	• Måske egnet; god vandkvalitet; men høje driftsomkostninger hvis spildevandet ikke kan afledes til recipient uden afgift. Stort vandspild.
Elektrolytisk afkarbonatisering (elektrolyse)	• Uegnet. Hårdhed kan ikke reduceres tilstrækkeligt. Indhold af NVOC og klorid i råvand er for højt.
PAS	• Pt. ingen fuldskaalanlæg - afklares

Samlet vurderes den mest optimale blødgøringsproces for Ullerup Vandværket at være CARIX ionbytning eller traditionel ionbytning (med regenerering med NaCl), men afledning af skyllevandet til både kloak og recipient skal afklares. Det skal bemærkes, at ved traditionel ionbytning, forøges Na-indholdet i drikkevandet betydeligt og tidligere erfaringer har vist vanskeligheder ved at få tilladelse til afledning af skyllevandet til kloak.

Membranfiltrering kan være et alternativ såfremt afledning af spildevandet til recipient kan tillades og der er mulighed for indvinding af det ekstra vandvolumen, som spildes med denne metode. Fra tidligere erfaringer, kan det være en udfordring, at få tilladelse til afledning af spildevand til recipient.

PAS teknologien kan være et interessant alternativ, men Ullerup Vandværk skal være opmærksom på, at der mangler fuldskala-referencer og driftserfaringer med processen. Derudover skal der udføres en beregning der viser den resulterende vandkvalitet. I denne skal der også belyses en evt. forøgelse i korrosionsrisikoen.

I det følgende er mulighederne traditionel ionbytning, CARIX ionbytning, og membran, beskrevet mere detaljeret.



5 Mulige specifikationer af blødgøringsanlæg samt grove økonomiske overslag

Der benyttes følgende generelle forudsætninger for beregningerne:

Tabel 5.1 Generelle forudsætninger

			Kommentar
Produktion	m ³ /år	550.000	
	m ³ /t, middel	68	Produktion i 22 t/d
	m ³ /t, maks.	100	Døgnfaktor = 1,6
Energipris	kr/kWh	0,7	Excl. moms
Spildevandsafledning	0-500 m ³ [kr/m ³]	50	Excl. moms
	501-20.000 m ³ [kr/m ³]	40	Excl. moms
	> 20.001 m ³ [kr/m ³]	20	Excl. moms
Driftspersonale	kr/time	350	Excl. moms

5.1 Ionbytningsanlæg

5.1.1 Teknisk opbygning

Anlægget placeres efter det eksisterende filteranlæg og består af følgende hovedenheder:

- F.eks. 3 stk ionbytterkolonner $\varnothing 1600$ mm * 3 m
- 1 stk saltlager og -opløsertank på ca. 35 m³ - placeret udendørs.
- UV anlæg efter ionbytning og i regenereringssløjfe.
- Sensorer for overvågning af anlæg.
- Separat styrings- og eltavle.

5.1.2 Forbrugsmaterialer og restprodukter

Der er beregnet følgende forbrug og produktion af restprodukter ved blødgøringsprocessen:

- Energiforbrug: ca. 0,08 kWh/m³
- Salt: ca. 400 g/m³
- Spildevand: ca. 1,5 % incl. genbrug

Derudover diverse mindre forbrug af UV lamper og materialer til service og vedligehold af anlægskomponenter.

5.1.3 Pasningsbehov og arbejdsmiljø

Det vurderes, at anlægget kræver ca. 2 - 5 timers pasning per uge.

Af arbejdsmiljømæssige fokuspunkter kan nævnes:

- Saltstøv fra påfyldning af lagertank



5.1.4

Grov økonomisk overslag

Tabel 5.2 Økonomisk overslag på ionbytteranlæg til Ullerup Vandværk

Anlægsudgifter				
	Antal	Enheder	Enhedspris (t.kr)	I alt (t.kr)
Bygninger	660	m ³	3	1.980
Procesanlæg				4.480
Total CAPEX excl. moms				6.460
Driftsudgifter				
Driftspersonale	260	timer/år	0,35	91
Energi	27	MWh/år	0,70	19
Spildevand ¹	10.000	m ³ /år	variabel, trappemodel	409
Salt	202	ton/år	1,4	283
Vedligehold	1	%	Af anlæg	45
Total OPEX excl. moms				847
Anlægs- + driftsudgifter				
Total excl .moms		t.kr/år		1.261
		kr/m³		2,3

¹ ved afledning til kloak

5.1.5

Risikoanalyse

Der kan fremhæves følgende ikke-udtømmende liste af risici:

- Afledning af spildevand fra blødgøringen er pt. vanskelig af få tilladelse til, hvilket kan udelukke benyttelse af teknikken.
- Ved stigende/ højere natrium koncentrationer i råvandet, kan det være vanskeligt, at opnå rentvandskravet på 175 mg/l.
- Der kan forekomme myndighedsrestriktioner for bygninger/saltopløssersilo, som begrænser udformning og placering, hvilket ikke er undersøgt pt.

5.2

CARIX ionbytning

Der er ikke lavet mere specifikke beregninger for denne løsning. Detaljeret beregninger af drifts- og anlægsøkonomi kan gennemføres af leverandøren af teknologien, men det estimeres vejledende:

- Bygningsvolumen på ca. 1.300 m³
- Udgifter til driftspersonale på samme niveau som traditionel ionbytning og membran
- Energiforbrug på ca. 140 MWh/år
- Samlet spildevandsmængde på ca. 15.700 m³/år
- Forbrug på ca. 150 t CO₂/år



De samlede anlægs- og driftsomkostninger estimeres til ca. 3,2 kr/m³ (total, excl. moms), sammenlignet med ca. 2,3 kr/m³ til traditionel ionbytning. Kan spildevandet fra CARIX ionbytning afledes til recipient, bliver de samlede udgifter til ca. 2,1 kr/m³.

5.3 Membrananlæg

5.3.1 Teknisk opbygning

Anlægget placeres efter det eksisterende filteranlæg og består af følgende hovedenheder:

- 1 stk forfilter 5 mikron.
- 1 stk membrananlæg
- 1 stk antiscalant doseringstank med pumpe.
- 1 stk CIP renseudstyr bestående af kemikalietank og pumpe
- 1 stk kuldioxid stripper
- Evt. UV anlæg i udpumpningen.
- Sensorer for overvågning af anlæg.
- Separat styrings- og eltavle.

5.3.2 Forbrugsmaterialer og restprodukter

Der er beregnet følgende forbrug og produktion af restprodukter ved blødgøringsprocessen.

- Energiforbrug: 0,4 kWh/m³ blødgøring
- Antiscalant: 2 g/m³ indløb til blødgøring
- Spildevand: ca. 20 % af indløb til membrananlæg
- Forfiltre: ca. 1 stk/måned

Derudover diverse mindre forbrug af UV lamper og materialer til service og vedligehold af anlægskomponenter.

5.3.3 Pasningsbehov og arbejdsmiljø

Det vurderes, at hvert anlæg kræver ca. 2 - 5 timers pasning per uge.

Af arbejdsmiljømæssige fokuspunkter kan nævnes:

- Håndtering af kemikalier



5.3.4

Grov økonomisk overslag

Tabel 5.3 Økonomisk overslag på membranlæg til Ullerup Vandværk

Anlægsudgifter				
	Antal	Enheder	Enhedspris (t.kr)	I alt (t.kr)
Bygninger	415	m ³	3	1.250
Procesanlæg				3.900
Total CAPEX excl. moms				5.150
Driftsudgifter				
Driftspersonale	260	timer/år	0,35	91
Energi	105	MWh/år	0,70	73,5
Spildevand ¹	52.300	m ³ /år	variabel, trappemodel 0,000	1.450 ¹ 0 ²
Antiscalant	0,8	ton/år	100	80
Membraner	3	stk/år	8	24
Vedligehold og CIP	1,5	%	Af anlæg	59
Total OPEX excl. moms				1.777¹ 327²
Anlægs- + driftsudgifter				
Total excl .moms		t.kr/år	u.afl.afgift m.afl.afgift	609 2.060
		kr/m³	u.afl.afgift m.afl.afgift	1,1 3,8

¹ ved afledning til kloak. ² ved afledning til recipient

5.3.5

Risikoanalyse

Der kan fremhæves følgende ikke-udtømmende liste af risici:

- Afledning af spildevand fra blødgøringen til recipient kan være vanskelig af få tilladelse til, hvilket kan udelukke benyttelse af teknikken pga. driftsøkonomien.
- Der skal indvindes en betydelig mængde ekstra grundvand, som der skal være indvindingstilladelse samt behandlingskapacitet til i det eksisterende anlæg.
- Der kan forekomme udfældning af kalk i afløbet med koncentrat fra membranlægget, hvilket der skal tages højde for ved afledningen.
- Der kan forekomme myndighedsrestriktioner for bygninger, som begrænser udformning og placering, hvilket ikke er undersøgt pt.

**5.4****Omkostninger ved afledning af spildevand til kloak vs. afledning til recipient**

De samlede omkostninger er meget afhængige af, om spildevandet kan afledes til recipient eller ej. Tabel 5.4 giver en oversigt:

Tabel 5.4 Estimerede samlede udgifter inkl. spildevandsafgift og ekskl. spildevandsafgift

Anlægs- + driftsudgifter			
Teknologie	Traditionel ionbytning	CARIX ionbytning	Membran
MED spildevandsafgift, kr/m ³	2,3	3,2	3,8
UDEN spildevandsafgift, kr/m ³	1,6	2,1	1,1



6

Sammenfatning

Såfremt der kan opnås tilladelse til udledning af spildevandet fra ionbytningsanlæg vurderes denne teknik som mest attraktiv til blødgøring af vandet på Ullerup Vandværk. I dette tilfælde, ville det være fordelagtigt, at prioritere indvindingsboringerne med lavt natrium indhold, for at reducere koncentrationen af dette stof i det rene, bløde, vand. Driftssikkerheden vurderes generel som høj (kendt teknologi) med lav kompleksitet og pasningskrav.

Kan opnås tilladelse til afledning af skylle-/ spildevand til recipient, er blødgøring med membran den mest økonomiske teknik. Blødgøring med membran-anlæg resulterer i en god vandkvalitet, da membranen ikke kun fjerner calcium (dvs. hårdhed), men også bl.a. NVOC. Driftssikkerheden vurderes generel som høj (kendt teknologi) med lav kompleksitet og pasningskrav.

CARIX-ionbytning leverer en god vandkvalitet, og kan være attraktiv, hvis tilladelse til skyllevands-afledning til recipient kan opnås. Teknologien fjerner, bl.a., også NVOC. Driftssikkerheden vurderes generel som høj (kendt teknologi) med lav kompleksitet og pasningskrav.

Pellet og elektrolytisk blødgøring er ikke vurderet som realistiske muligheder på Ullerup Vandværk, pga. den meget høje kompleksitet (pellet) og en råvandskemi med relativ høje koncentrationer af klorid og NVOC (elektrolyse).

Som nogle af de næste trin bør pladsmæssige forhold på vandværket afklares, og det bør undersøges, hvilke tilladelser kan gives, mht. bygning og proces (afledning af skylle-/ spildevand til kloak eller til recipient).



BILAG A - Dimensionsgivende råvandskvalitet

Parameter	Enhed	Dimensionsgivende råvandskvalitet
Calcium	mg/l	83
Magnesium	mg/l	33
Hårdhed	dH	19.2
Hydrogenkarbonat	mg/l	415
pH	-	7.35
Jern-total	mg/l	0.8
Mangan	mg/l	0.06
Ammonium	mg/l	2.2
Nitrat	mg/l	0.35
Natrium	mg/l	80
Sulfat	mg/l	5
Klorid	mg/l	140
Fosfor-total	mg/l P	0.06
Flourid	mg/l	1.2
Kalium	mg/l	8
NVOC	mg/l	4