



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.

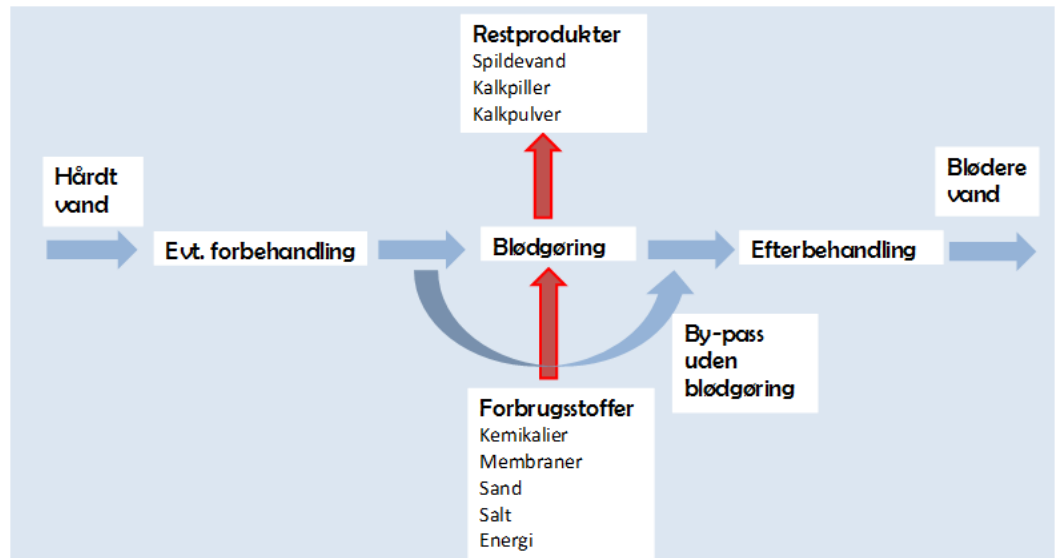
De potentielle sundhedsproblemer, der er relateret til blødgøring, skyldes hovedsagelig ændringer i vandets indhold af natrium, fluorid, calcium og magnesium. Nogle studier har vist en sammenhæng mellem højt indtag af natrium og højt blodtryk, men sammenhængen er ikke entydig. Calciummangel er tæt knyttet 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 blødgørings teknologier, 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 blødgørings teknikker, typisk placering i renseprocessen, forbrugsstoffer og spild/restprodukter

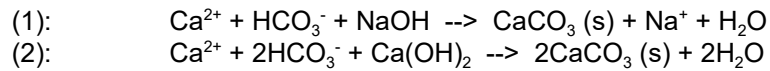
Teknik	Typisk forbehandling	Typisk efterbehandling	Forbrug	Rest/spild
Kalkpille (Pellet)	ingen	Iltning, filtrering (UV)	Lud, sand, kuldioxid	kalkpiller
Membran (LPRO)	Iltning, filtrering	pH justering	Antiscalant	Konc. vand
Trad. ionbytning	Iltning, filtrering	UV, evt. pH justering	Salt (NaCl)	Saltvand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

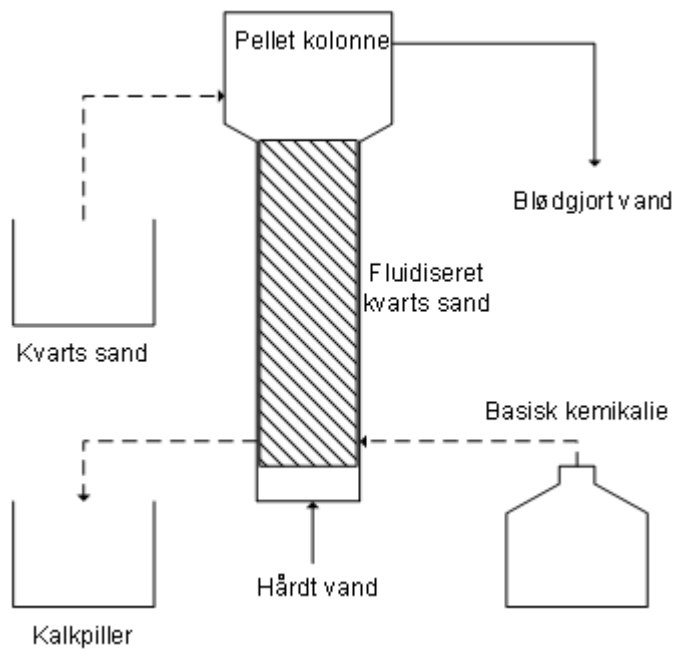
Figur 3.1 og 3.2 viser en principskitse af processen og billeder af en pellet kolonne med en kapacitet på ca. 100 m³/time. Kolonnen indeholder finkornet kvarts sand.

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.

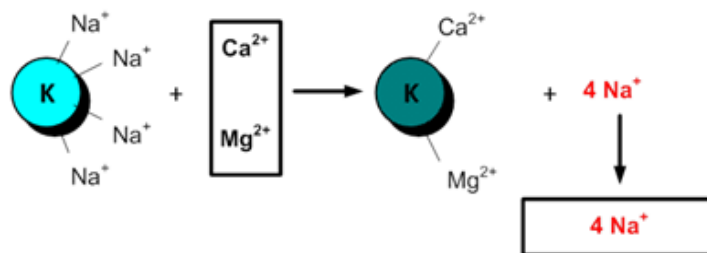


Figur 3.3 Billede af Veolia's Actina kalkpille kolonne og tilhørende filtre samt producerede kalkpiller.



3.2 Traditionel ionbytning

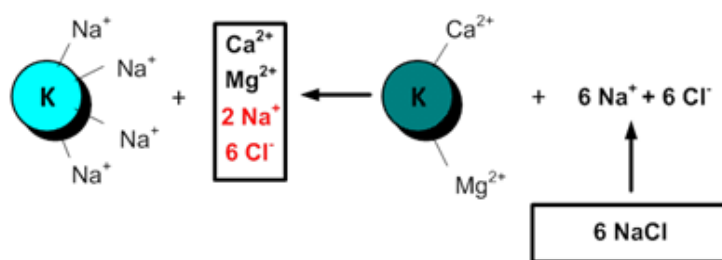
Ved blødgøring med traditionel ionbytning fjernes calcium og magnesium ved at det adsorberes til et specialfremstillet organisk granuleret ionbyttermateriale under samtidig frigivelse af natrium fra ionbytteren:



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.

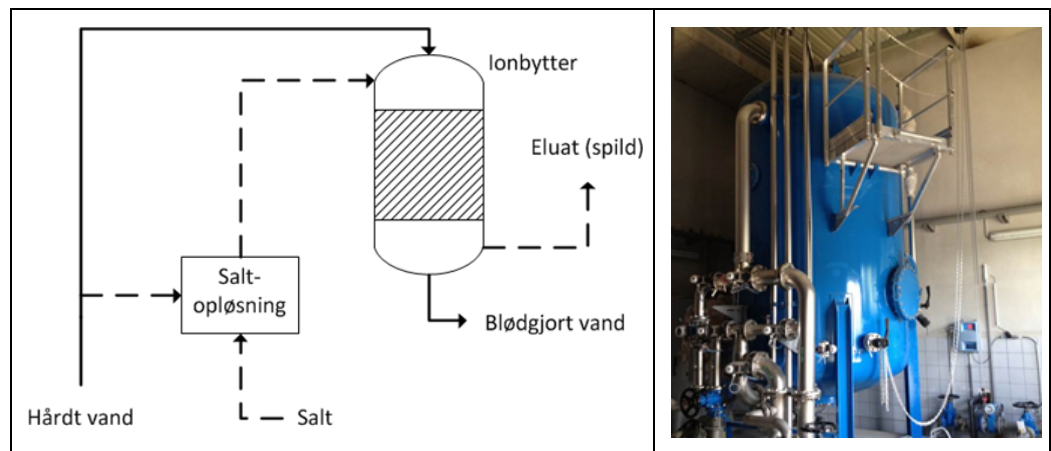
Når alt natrium er udskiftet med calcium og magnesium skal ionbytteren regenereres med nyt natrium. Dette sker ved en speciel skylleproces, hvor der bl.a. tilføres nyt natrium fra en saltopløsning, der skubber de bundne calcium og magnesiumioner af ionbyttermassen og ud som saltholdigt spildevand:



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.

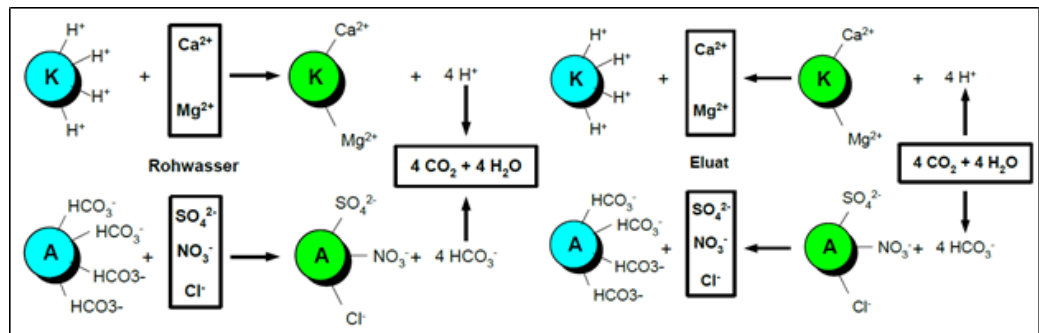
3.3

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.

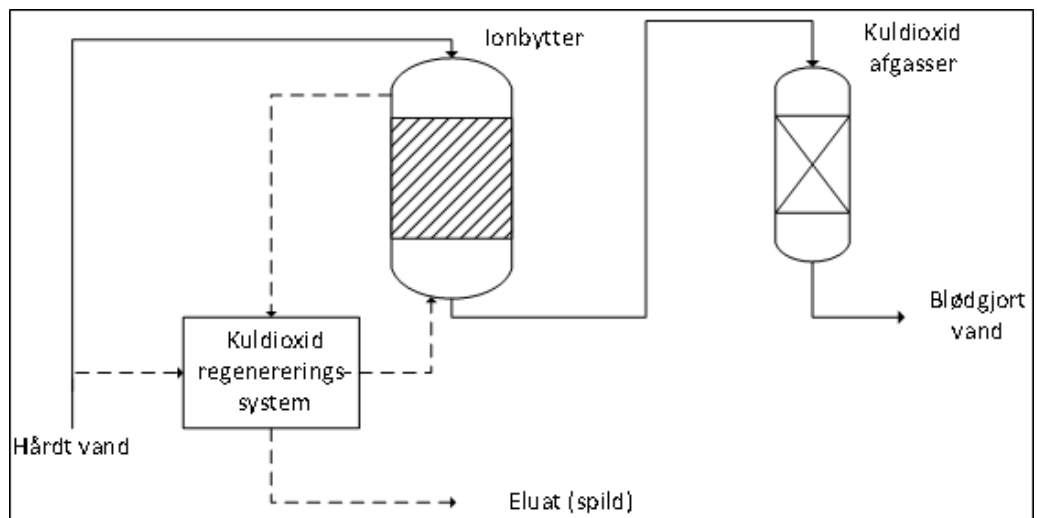
Fordelen ved denne proces er, at den ikke benytter natriumklorid (salt) til regenereringen, men i stedet kuldioxidgas. Herved øges indholdet af natrium ikke i det behandlede vand, og spildvandet til afledning (eluat'et) indeholder kun de ioner, der er fjernet fra indløbsvandet.

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.

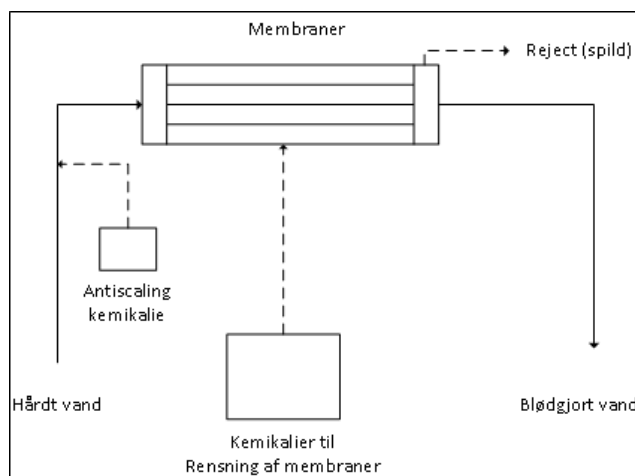
Forud for en membranfiltrering skal råvand gennemgå en traditionel vandbehandling for bl.a. at fjerne suspenderet stof som okker, der ellers hurtigt vil tilstoppe membranoverfladen. Derudover skal vandet forfiltreres i et 1 – 5 µm filter. Alligevel vil der ved vandets passage af membranoverfladen være 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.

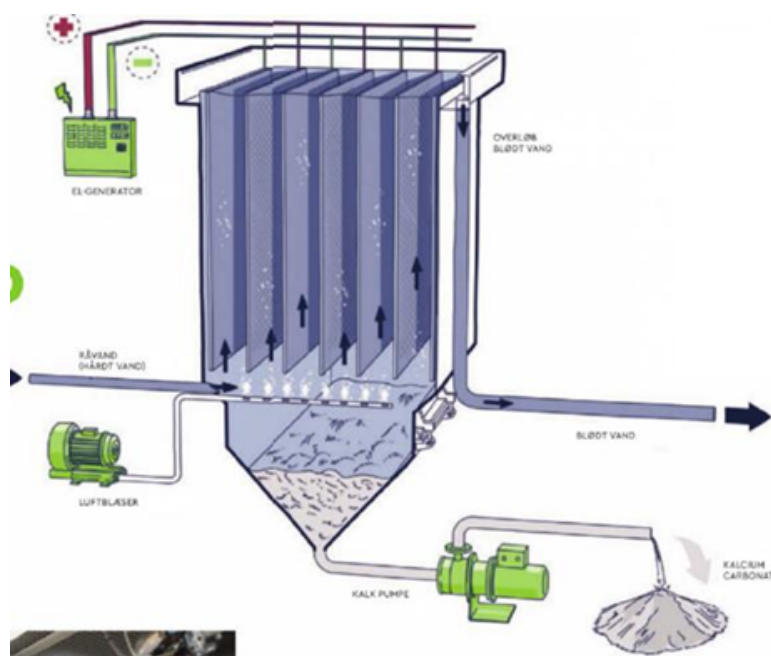
3.5

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. Dette bør undersøges nærmere ved forsøg inden installation af fuldskaalanlæg.

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 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.

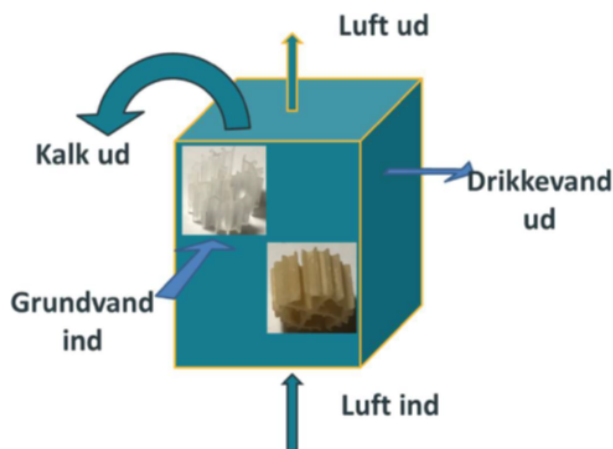


3.6 Plastic Air Softening (PAS)

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.

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.