

DE USYNLIGE VANDFALD

At man kan udvinde energi ved at blande saltvand og ferskvand, lyder næsten for godt til at være sandt. Men der arbejdes nu på at gøre teknologi, der kan udnytte denne "saltkraft" kommercielt rentabel.

Enhver, der har været i nærheden af et stort vandfald, slikket sol under de varmere himmelstrøg eller kæmpet sig hjem på cykel i modvind, vil intuitivt forstå, at her slippes energi løs. At udnytte disse kilder til energiproduktion er derfor også noget, de fleste forstår kan lade sig gøre. Men, at noget så simpelt som blandingen af saltvand og ferskvand, for eksempel når en flod løber ud i havet, også kan være kilde til produktion af CO₂-fri energi er til gengæld ikke helt så åbenlyst. Ikke desto mindre er dette tilfældet og alene processen, hvor ferskvand blandes med havvand, frigiver samme mængde energi som et 270 meter højt vandfald. Hidtil har det ikke været muligt at udnytte denne energikilde, men de seneste år har det danske firma SaltPower i samarbejde med Aalborg Universitet, Danfoss A/S, Sønderborg Fjernvarme, HOFOR og Semco Maritime arbejdet på gøre disse usynlige vandfald tilgængelige.

Energiproduktion ved saltkraft

Den energi, der frigives ved blandingen af fersk- og saltvand kaldes saltkraft, og en af de metoder man kan bruge til at udvinde saltkraft er processen bremset osmose. Her placerer man de to vandstrømme på hver sin side af en membran, som vand, men ikke salt, kan gennemtrænge. På grund af osmoseprocessen vil vandmolekyler vandre gennem membranen fra siden med ferskvand til siden med saltvand.



Mobilt pilotanlæg til geotermiske kilder med membran, pumpe og turbine. Anlægget er p.t. opstillet og er i drift ved Sønderborg. Det hele er placeret i en almindelig container.

Volumenet vil altså forøges på saltvandssiden, og denne volumenforøgelse kan bruges til at drive en turbine rundt. Hvis man påfører turbinen en modstand og herved

bremser den, vil der kunne genereres strøm fra osmoseprocessen – deraf navnet "bremset osmose" (på engelsk "Pressure Retarded Osmosis", PRO).

Forfatterne

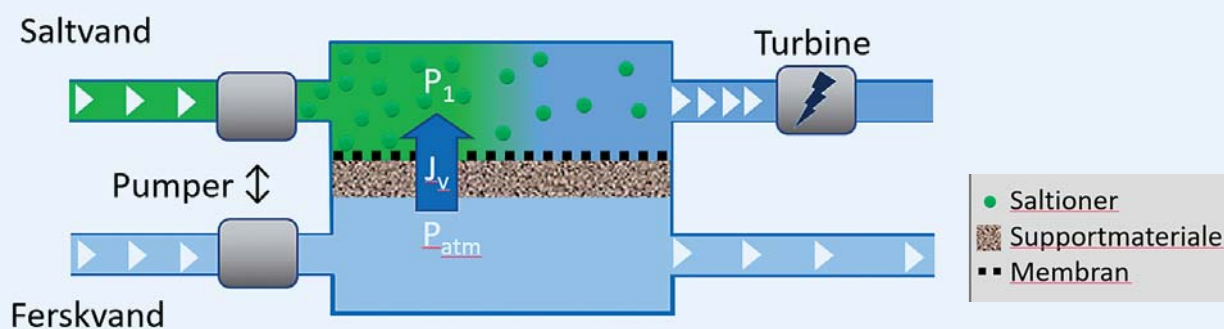


Thomas Bruun Hansen er post doc. Sektion for Bæredygtig bioteknologi, Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet. tbh@bio.aau.dk



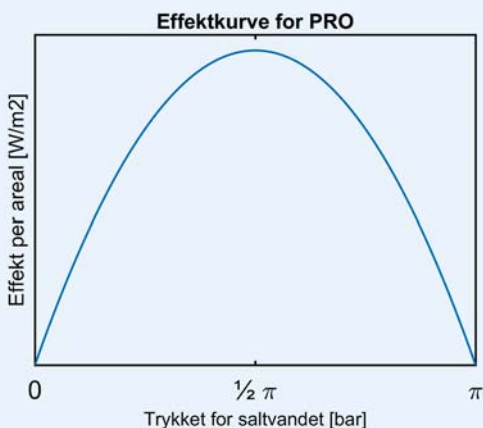
Henrik Tækker Madsen, administrerende direktør. SaltPower. htm@saltpower.net

Princippet i et saltkraft-system



Figuren viser princippet i et saltkraft-system baseret på "bremset osmose" (Pressure Retarded Osmosis). Saltvand og ferskvand pumpes ind på hver sin side af en semipermeabel membran. For saltvandet øges trykket enten via pumpen eller en trykudveksler placeret før membrancellen. På grund af forskellen i osmotisk tryk, vil vand blive suget igennem membranen. Dels vil dette fortynde saltvandet som er vist med farveskiftet på tegningen og dels vil flowet af tryksat saltvand øges. Det større volumen af tryksat vand ledes herefter til en turbine hvor energien kan udvindes.

Kurve for optimal energiproduktion som funktion af det påførte tryk på saltvandet hvor π er det osmotiske tryk. Undlader man at påføre saltvandet tryk, opstår almindelig osmose, men da det øgede volumen af væske ikke vil være under tryk, kan den ikke bruges til at producere energi. I takt med, at trykket på saltvandet øges, vil den osmotiske volumenforøgelse bremses. Når det påførte tryk overstiger saltvandets osmotiske tryk, bremses osmoseprocessen så meget, at det negativt påvirker energiproduktionen målt som antal watt per kvadratmeter membran.



Når turbinen bremses, opbygges der et tryk på saltvandet, og dette vil modarbejde det osmotiske tryk og reducere transporten af vand gennem membranen. Hvis trykket når samme størrelse som saltvandets osmotiske tryk, stopper vandtransporten helt. Dette er vigtigt, da den energi, der kan udvindes, svarer til produktet af vandflowet igennem membranen og det påførte tryk på saltvandet. Hvilket tryk, der skal påføres, er altså et optimerings spørgsmål og matematisk kan det vises, at energiproduktionen er mest effektiv, når saltvandet påføres et tryk svarende til halvdelen af saltvandets osmotiske tryk.

For at gøre strømproduktionen kontinuert bruger man en højtryks-

pumpe til at pumpe saltvandet hen til membranen, hvor volumenet udvides inden vandet sendes til en turbine, hvor strøm genereres.

Da det eneste, der skal til for at producere energi med saltkraftprocessen, er at sende vand til membranen, er dette en teknologi, der kan levere CO₂-fri energi hele tiden, uafhængigt af om solen skinner eller vinden blæser.

Høj saltkoncentration er nøglen

Det norske energiselskab Statkraft forsøgte tilbage i 2009 at få et saltkraft-system op at køre baseret på PRO-teknologien, hvor havvand og ferskvand skulle drive energiproduktionen. Det lykkedes dog

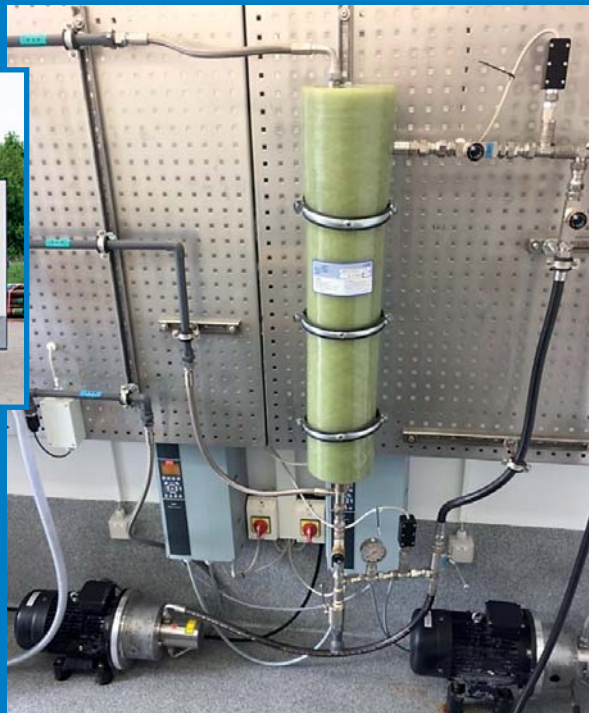
ikke at gøre systemet rentabelt, og i 2013 blev projektet lagt på hylden.

Forskerne måtte derfor tilbage til skrivebordet. Statkraft estimerede dengang, at man skulle kunne opnå en energidensitet på 5 watt per kvadratmeter membran, for at systemet ville være rentabelt, men man havde kun været i stand til at opnå 1 W/m². Der var behov for bedre membraner, men at få udviklet sådanne havde lange udsigter.

Der er dog også en anden måde, hvormed man kan øge energiproduktionen, og det er at bruge vand med et højere indhold af salt end havvand, som i Danmark ikke kommer over 3,3 %. En sådan

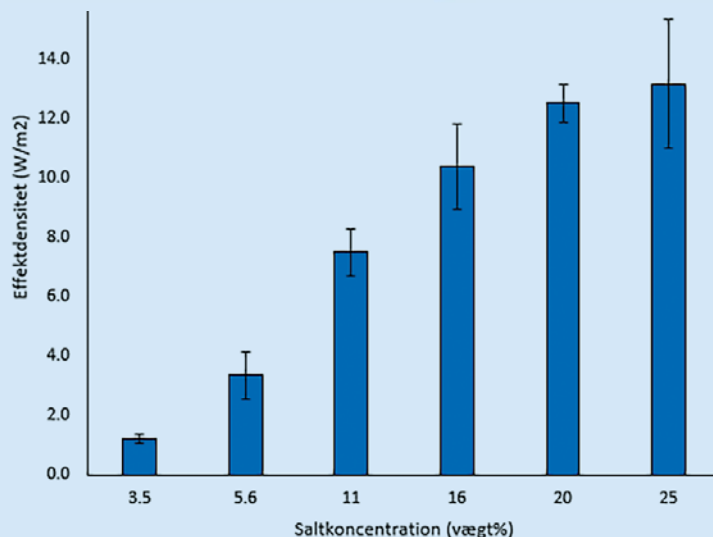
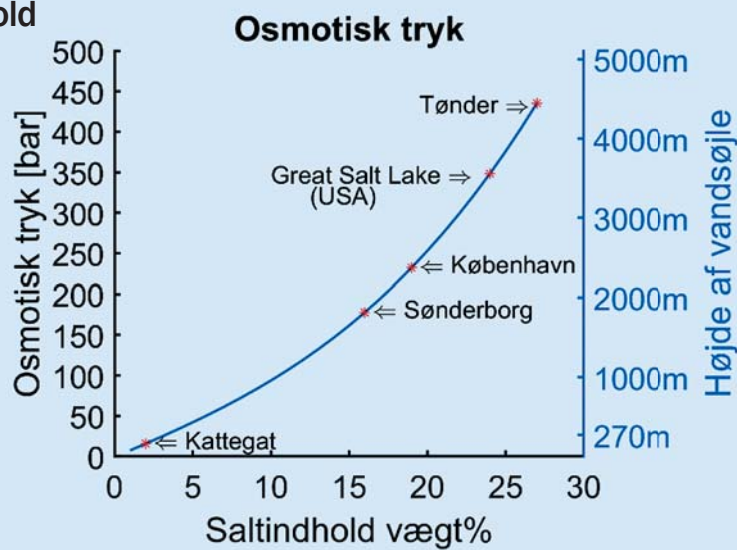


Her ses den grønne membran monteret på container-væggen og i denne 1 m høje rulle er der hele 60 m² membranoverflade. Under membranen ses pumpen og turbinen fastgjort på gulvet, som dels tryksætter væskestrømmen og efterfølgende omdanner energi til elektricitet igen.



Osmotisk tryk og saltindhold

Sammenhængen mellem osmotisk tryk og saltindhold ved 25 °C. Sønderborg, København og Tønder er geotermivand fra forskellige steder i Danmark og sammenlignes med havvand (Kattegat) og saltvandsøer (Great Salt Lakes). Den højre akse viser, hvor høj en vandsøjle, der skal til for at danne samme tryk. Man kan forestille sig det som et vandfald eller en dæmning med samme højde. Geotermivandet fra Tønder svarer derfor til et en dæmning med en højde på næsten 4,5 km. Til sammenligning er Hoover Dam i USA 221 m.



Laboratorieundersøgelser af brugen af brines i et osmotisk energisystem. Energidensiteten øges i takt med at vandets saltindhold øges.

Lang vej fra ide til praksis

Ideen med at udvinde energi ved blanding af saltvand og ferskvand er første gang nævnt i en artikel i tidsskriftet *Nature* i 1954 af R.E. Pattle. Frem til midten af 1970'erne blev der forsket meget lidt i emnet, men herefter skabte oliekrisen igen interesse for mere forskning i denne energikilde. Efter nogle år med stor forskningsaktivitet ebbede interessen dog ud. Men fra 1997 har vi set en støt stigende interesse fra både universitetsforskere og private virksomheders side. I 2009 tog det norske energiselskab Statkraft de første skridt på vejen til at få et system op at køre, hvor

havvand og ferskvand skulle drive energiproduktionen. Fire år senere blev projektet dog lagt på hylden, da Statkraft konstaterede, at der var lange udsigter til, at teknologien blev moden nok til at være rentabel.

Interessen for teknologien blev dog ikke dermed lagt på hylden og meget forskning har været fokuseret på at udvikle bedre membraner, som skulle bruges til at gøre havvand til en brugbar saltvandskilde, inden man tog hul på kilder med højere saltindhold. Men på Aalborg Universitet og SaltPower vendte vi

denne tankegang på hovedet. Vi havde identificeret geotermivand som en udbredt kilde af vand med højt saltindhold og ville forsøge at bruge sådanne kilder til at skabe en rentabel platform for teknologien. I 2015 afprøvede vi konceptet i laboratoriet, og i 2016 stod et pilotanlæg klar, som blev brugt til at undersøge teknologien i stor skala. Resultaterne herfra har været meget lovende, og håbet er, at dette kan lede til en kommerciel platform for anlæg baseret på bremset osmose, som kan give grobund for en videreudvikling af teknologien, så vi en dag kan udnytte selv havvand.

koncentreret saltopløsning kaldes på fagsprog en brine. En brine kan opbygge væsentligt højere osmotiske tryk end almindeligt havvand, hvilket kan øge den energidensitet, der kan opnås med eksisterende membraner.

For at undersøge dette nærmere har vi i laboratoriet testet de samme membraner, som blev anvendt af Statkraft og udsat dem for vand med forskellige saltkoncentrationer. Og vi har fundet, at det er muligt at komme over de 5 W/m² – helt op til cirka 14 W/m², hvis saltkoncentrationen er så høj som 25 vægtprocent. Hvis processen skal være effektiv, skal de osmotiske membraner kunne klare høje tryk. Tidligere forsøg har indikeret, at membraner kun kan klare cirka 20 bar, men vi viste, at de var i stand til at klare minimum 70 bar. Samtidig fandt vi, at den seneste generation af osmotiske membraner allerede er tre gange så effektiv som membraner fra Statkraft-projektet.

Koncentreret saltvand fra undergrunden

Spørgsmålet er så, hvor man kan finde vand med høje saltkoncentrationer i tilstrækkelige mængder. For at osmotisk energi skal blive

interessant, kræver det i sagens natur en saltvandskilde med stor udbredelse. En mulig løsning er geotermivand. Det er vand, som hentes flere kilometer nede i undergrunden, og som man allerede i dag udnytter til at producere CO₂-fri fjernvarme (geotermisk energi).

Det viser sig, at saltkoncentrationen i geotermivand mange steder er meget høj – nogle steder mættet saltvand.

I dag pumpes geotermivand op fra undergrunden, man udvinder varme, og pumper det retur til undergrunden. Med et saltkraft-anlæg kan der i tillæg til varmen også produceres elektricitet fra vandet, inden det sendes retur til undergrunden. Det giver en kombineret varme- og el-produktion, der både er stabil og fri for CO₂-udledning. Sammen med projektpartnerne har SaltPower testet teknologien i et mobilt pilotskala-anlæg. I dette anlæg er membranarealet cirka 10.000 gange så stort som i den opstilling, vi brugte til at teste saltopløsninger i laboratoriet.

Fremtiden for osmotisk energi

Ud over saltsøer og geotermivand findes der vand med høj saltkoncentration flere steder i verden,

for eksempel vand fra salthorste og afsaltningsanlæg. Der er således masser af muligheder for at udbrede teknologien og lade osmotisk energi bidrage til overgangen til en CO₂-fri energiforsyning.

Men potentialet ender ikke her. Ved at lede store mængder havvand ind på saltsletter, for eksempel i Nordafrika eller Australien, vil solen langsomt fordampe vandet og skabe en koncentreret saltopløsning. Denne kan bruges til at producere elektricitet, mens afdampningen af vand vil bringe fugt til tørre ørkenområder. Endelig vil den store vandmængde fungere som en varmebuffer, der sænker den lokale temperatur. En vild vision, men absolut ikke uopnåelig.

Når teknologien først er udbredt til koncentrerede saltopløsninger, vil den uundgåelige forbedring af teknologien gøre det muligt at anvende vand med stadig lavere saltkoncentration, indtil det bliver muligt at anvende selv havvand. Når det sker, vil enhver flod, der løber ud i havet, være et CO₂-frit kraftværk, og så vil de usynlige vandfald for alvor bidrage til en ren energiforsyning. ■

Arbejdet med et saltkraft-system baseret på "bremset osmose" er sket med støtte fra Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) under Energistyrelsen.