Kunsten at lagre energi

Lagring af energi kan blive en vigtig faktor i fremtidens elsystem, der i højere grad vil være baseret på fluktuerende kilder som f.eks. vindkraft.

Af Brian Elmegaard

■ Lagret energi kan have en væsentligt større værdi for forbrugeren end energi, som ikke er lagret.

F.eks. koster en pakke Duracell AA-batterier ca. 50 kroner, og fra et sådant batteri kan man ifølge specifikationerne hente omkring 0,003 kWh. Det giver en pris på omkring 4000 kr. per kWh, hvilket kan sammenlignes med den typiske elpris på 2 kr. per kWh. Altså er forbrugeren villig til at betale en pris, der er omkring 2000 gange højere for den samme energivare for at have den til rådighed på det ønskede tid og sted.

For leverandøren af energivaren betyder det, at der er mulighed for en god betaling for energien. Økonomi er altså et vigtigt incitament for at lagre energi. Men der er også andre incitamenter for lagring af energi. Et af de væsentlige er, at lagring af energi vil gøre det muligt i langt højere grad at udnytte vedvarende – og dermed miljøvenlige – kilder som vind og sol i energisystemet, fordi overskydende produktion kan lagres og dermed gemmes til tidspunkter, hvor der ikke produceres tilstrækkeligt.

Pumpelagerkraftværk ved Kruonis i Litauen – et eksempel på lagring af energi ved hjælp af vand og en højdeforskel på ca. 100 m. De store rør leder vandet ned til eller op fra turbine/pumpehallen. Den maksimale effekt er 900 MW og reservoirsøen har et areal på 3 km^2.

El og varme som varer

Set ud fra et grundlæggende fysisk synspunkt er der ved energikonvertering forskel på kvaliteten af en given energimængde. Kvalitet af energi opgøres ved dens potentiale for anvendelse. I praksis betyder det, at varme ved relativt lav temperatur, f.eks. fjernvarme, energimæssigt er en langt dårligere vare en elektricitet, olie eller naturgas. Det er derfor også indlysende, at omsætning af varer med høj kvalitet til varme ved lav temperatur rent energimæssigt er fråds, det gælder både ved konvertering af el, olie og gas til opvarmningsformål.

Energiens kvalitet opgøres i dens "konverterbarhed" eller exergi. Jo højere exergi, jo mere konverterbar er energien, og jo højere værdi har den. Når man i daglig tale snakker om "energi" er det meget ofte i betydningen exergi og anvendelighed. Energikrisen drejede sig ikke om knaphed på energi, men snarere om exergi i form af olie.

Hvad energilagring angår er der også markant forskel på energi med højt og lavt exergiindhold. Hvis man ser bort fra lagring af fossile brændsler, som er fungerende teknologi, og i stedet ser på, hvordan energilagring kan foregå i et energisystem med fluktuerende, vedvarende energiressourcer,

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk

Behovet for ellagring

En vurdering af behovet for at lagre el i det danske elsystem, kan laves ud fra markedsdata fra det nordiske elmarked Nordpool, som kan findes på Energinet.dk. Her kan man finde data for både priser, produktion, forbrug, import og eksport for det danske elsystem. Elsystemet i Danmark er opdelt af Storebælt, så der findes to markeder: Øst og Vest. Den største mængde vindkraft er installeret i Vestsystemet.

Nedenstående vurderinger er baseret på udtræk af data for perioden 1/1-2000 til 5/11-2008.

Sammenligning af samlet vindproduktion og eleksport til Tyskland i Vest
Den samlede vindproduktion i Vestdanmark i den undersøgte periode er 39 TWh, mens der netto er eksporteret 30 TWh til Tyskland. Ud fra denne vurdering kan man altså sige, at der kun er implementeret 23 % af vindproduktionen i det danske system.

Sammenligning af samlet vindproduktion og samlet eleksport
Den samlede vindproduktion i hele Danmark i den undersøgte periode er 51 TWh. Den samlede nettoeksport til Sverige, Norge og Tyskland er 18 TWh. Ud fra denne vurdering kan man altså sige, at der er implementeret 65 % af vindproduktionen i det danske system.

Sammenligning af vindproduktion og nettoeksport på timebasis
En anden vurdering laves ved at se på de enkelte timer og opgøre, hvor meget af vinden i den enkelte time, som anvendes nationalt. Denne opgørelse giver, at 26 TWh ikke anvendes men eksporteres. Denne opgørelse betyder altså, at 49 % af vindproduktionen ikke er implementeret.

Sammenligning af vindproduktion og nettoeksport per time og elprisen i disse timer
Hvis man i sammenligningen tager hensyn til den pris som el har været handlet til i de timer, hvor eksporten har fundet sted findes et lidt andet billede. Langt de fleste MWh er eksporteret til en pris, som er meget tæt på gennemsnitsprisen i elmarkedet. Hvis man definerer elpriser under 10 % af gennemsnitsprisen som lave er det bare 3 % af vindproduktionen, som ikke er implementeret i elsystemet.

Eksemplerne viser, at behovet for ellagring kan opgøres forskelligt afhængig af, hvilke forudsætninger man stiller op. Eksemplerne viser samlet, at behovet for lagring af el ligger et sted mellem 0,2 TWh og 5,6 TWh om året.

findes der ikke en teknik, som er anvendt med succes i nævneværdig udstrækning.

For varme anvendes lagring til gengæld med succes, f.eks. på kraftvarmeværkerne, da store vandtanke kan lagre det varme fjernvarmevand, således at levering af el og varme til forbrugerne kan afkobles i tid, samtidig med at produktionen kan ske, så der opnås størst mulig indtjening for den leverede el.

Udfordringen for energilagring i det moderne danske energisystem består altså i at implementere løsninger, som med lav investering og lave tab kan lagre store mængder energi af høj kvalitet – det vil sige ellagring i forbindelse med vindkraft.

Konvertering af overskydende vindkraft til varme er en mulighed, men den vil fysisk set medføre en omsætning fra høj til lav kvalitet.

Energisystemet og behovet for ellagring

At vurdere behovet for at lagre el er vanskeligt, da det i høj grad afhænger af de forudsætninger, man stiller op. Ser man på det samlede system eller bare en del af det? Ser man på systemet samlet over lang tid eller ser man mere detaljeret på det? Er det nødvendigt, at produktion bruges nationalt eller kan man acceptere eksport, hvis prisen er fornuftig?

En del af den danske elenergi stammer fra vindmøller, men noget af denne eksporteres til udlandet, fordi den ikke kan udnyttes i det danske system. Man snakker om, hvor stor en del, der er implementeret i det danske energisystem. Hvor stor denne del er, kan opgøres på flere måder (se boks). Ved at lagre energien vil den kunne udnyttes i det danske system, og i det nuværende system kan behovet for lagring opgøres til mellem 0,2 TWh og 5,6 TWh om året – afhængig af hvilke forudsætninger, man stiller op.

Man må dog forvente, at lagring i stor skala vil få en indflydelse på prisdannelsen, og vil dermed kunne ændre markedet – formentlig med en udglatning af priserne til følge. Dermed vil ellagring i sig selv fjerne noget af sit indtjeningsgrundlag. En yderligere implementering af vedvarende energi vil på den anden side medføre større behov for lagring og øge presset på forbindelserne til omgivende lande og det må derfor, forventes at der opstår et større behov for lagring.

Lagring af el som varme er ikke optimalt

Som nævnt skelnes mellem lagring af varme til almindelige opvarmningsformål og lagring af energi ved højt exergiindhold. Lagring af varme er i princippet kendt teknologi. På et kraftvarmeværk lagres varmt vand i store beholdere, og på den måde kan man lade værket producere el, når der størst behov og derved afkoble de to produkter.

En nærliggende metode for at udnytte den overskydende vindproduktion er at konvertere den til varme, enten ved at installere elpatroner, som direkte konverterer elektriciteten til varme eller ved brug af varmepumper, som kan konvertere el til varme med en effektfaktor på 2-3. Der er umiddelbart to problemstillinger ved denne løsning:

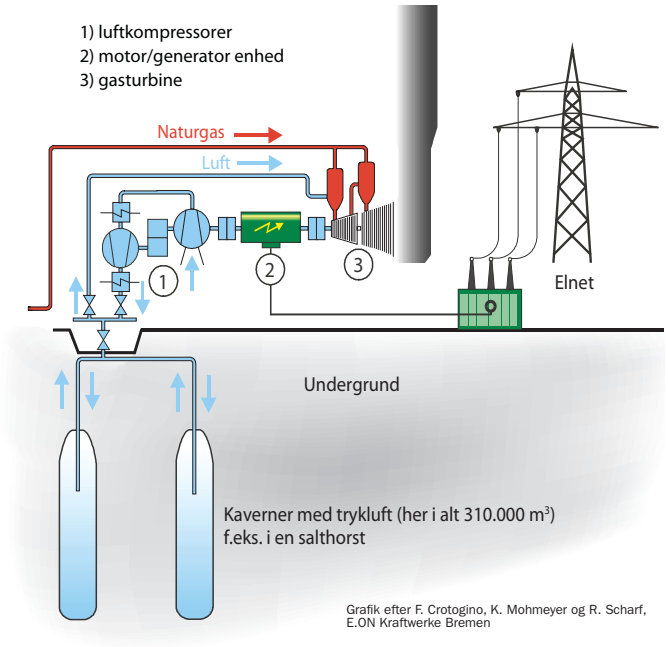
1. El konverteres irreversibelt til varme. Det bidrager derfor ikke til yderligere indpasning af vedvarende energi i elsystemet.
2. Lagervolumenet for at udnytte den overskydende vindproduktion kan blive helt uhåndterligt stort.

Ud fra fysikken må konvertering af el til varme ses som sidste udvej. Lagring af el som højværdig energi for genanvendelse som el er principielt bedre. Med hensyn til lagring af el er der et væld af teknologier og lagringsmedier i spil, enten i drift eller i forsknings- og udviklingsøjemed. Da det er svært at give en fuldstændig oversigt nævnes i det følgende kun de mest aktuelle for implementering inden for en overskuelig fremtid.

Teknologier for lagring af energi

Det mest nærliggende er at lade kraftværker regulere produktionen efter de vedvarende energikilders ydelse. Dermed

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk



Principskitse over tryklufttlagringen i Huntorf, Tyskland. Anlægget rummer også en gasturbine til naturgas, hvilket forbedrer den samlede effektivitet. Turbinen kører typisk ved akutte spidsbelastninger på elnettet.

kan man udnytte værkernes brændselslagre som ellager. En anden nærliggende mulighed er at bruge større industriforbrugere eller klynger af privatforbrugere som fleksible forbrugere. Dette bør udnyttes i størst mulig grad, da det for en mindre indsats kan give de samme muligheder som dedikerede energilagre.

Batterier anvendes ikke i udbredt grad som lager i stor skala, men med den udvikling som finder sted for nuværende, er batterier en meget konkurrencedygtig teknologi set ud fra en lagervirkningsgrad. Fra el-input tilbage til el kan man forvente en virkningsgrad på omkring 65-75 %. Levetid og lagerstørrelse er nogle af de problemer som større integration må imødese. En spændende mulighed for anvendelse af batterier til ellagring er at integrere transport i elsystemet i form af elbiler. DONG energy er en af de danske interessenter i dette potentielle marked.

Vandkraftværker kan udstyres med en pumpe, som ved behov for lagring kan anvende el til at pumpe vand til et højtliggende reservoir. Denne teknik anvendes verden over. I sig selv har denne teknik en høj virkningsgrad på 80-85 %. For danske forhold skal man tage hensyn til at geografien kræver, at man transporterer el over lange afstande for at lagre det. Dette vil indebære yderligere tab, så man kan forvente en virkningsgrad fra el til el på omkring 60-65 %.

Tryklufttlagring er i drift i Huntorf, Tyskland og McIntosh, Alabama, USA. Man anvender overskydende el til at drive en kompressor, som leverer 50-100 atm tryksat luft til underjordiske lagre, som kan gå flere hundrede meter ned i undergrunden.

Når der er behov for elektricitet anvendes den tryksatte luft til at drive gasturbiner. Teknikken er i dag baseret på anvendelse af konventionelle gasturbiner og kræver derfor en stor andel naturgas for at fungere. Dette komplicerer analyse af virkningsgrad, men den ligger omkring 45-55 %. Med udvikling af nye anlæg, som lagrer kompressorernes varmeoverskud, sigter man mod at kunne opnå endnu højere virkningsgrad (70 %).

Fremtidige teknologier

At konvertere el til brint (eller andre kemiske lagermedier) ved elektrolyse er en spændende mulighed, som er en af grundstenene i ideen om "brintsamfundet" og anvendelse af brændselsceller i stor udstrækning. Dermed ville man kunne anvende brint som primær energibærer for både el, varme og transport. Der findes ikke for nuværende gode metoder for at opnå tilstrækkelig høj virkningsgrad i et sådant system. Forventeligt kan man opnå virkningsgrader på 30-40 % for et ellager baseret på brint og brændselsceller.

Flowbatterier er populært sagt en mellemting mellem batteri og brændselscelle. Et kemisk lager opnås ved at have beholdere med medier, som kan adskilles ved tilførsel af elektricitet og omsættes for igen at producere el. Et flowbatterisystem kan opnå virkningsgrader i samme størrelsesorden som de ovenfor nævnte. Andre, mere eksotiske, teknologier som f.eks. superledere og supermagneter er under udvikling på et indledende forskningsstade.

Energilagring giver højere priser

Der findes en lang række af spændende teknologier med stort potentiale, som er eller kan blive anvendelige til lagring af elektricitet i stor skala. Hvis vi vælger at implementere sådanne teknologier, må man se i øjnene, at lagring af energi i stor skala vil medføre:

- store investeringer
- betydelige tab
- store behov for lagerkapacitet i form af geografisk areal og/eller volumen

Det betyder i sidste ende, at energilagring som metode for at implementere yderligere vedvarende energi i energisystemet, vil kræve højere priser for at kompensere for investering og tab. Der er formentlig ingen tvivl om, at energi fremover vil stige i pris, og hvis man kan få mere vedvarendeenergi mod at betale for investering i lagre, åbner der sig nye muligheder for både markeder, forskning og udvikling. ■

Om forfatteren

Brian Elmegaard er lektor og sektionsleder ved DTU Mekanik
Tlf.: 45254169
E-mail: be@mek.dtu.dk

Læs videre:

Marc A. Rosen. Should we educate the public about exergy? Exergy, an International Journal, 2:21113, 2002.

Jay Mariyappan et al., 2004: Pushing a least cost integration of green electricity into the european grid. Technical Report ITP/788, IT Power ltd, July 2004.

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk