

**Dato:**

Tonne Kjærsvvej 65  
7000 Fredericia  
Tel. +45 70 10 22 44  
Fax +45 76 24 51 80

info@energinet.dk  
www.energinet.dk  
cvr-nr. 28 98 06 71

## Afslutningsskema

<b>1. Projekttitle</b>	Muligheder for anvendelse af Compressed Air Energy Storage for el-lagring i fremtidens elsystem
<b>2. Projektidentifikation</b>	Energinet.dk projektnr. 6567
<b>3. Projektperiode (dato, år)</b>	1/12-2005-31/12-2010
<b>4. Projektansvarlig virksomhed</b>	Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion
<b>5. Øvrige deltagere</b>	Aalborg Universitet DONG Energy

<p><b>6. Den underskriftsansvarliges underskrift</b></p> <p>Dato: 27-01-2011</p> <p>Navn: Brian Elmegaard</p> <p>Underskrift: .....</p>
---

## **7. Sammenfatning af projektets formål og de opnåede resultater**

*(Resumeeet må højst fylde 2.000 karakterer. Indhøstede erfaringer og evt. betydelige afvigelser fra de oprindelige projektforventninger kommenteres)*

Projektet undersøger om Compressed Air Energy Storage vil være et økonomisk og energimæssigt godt alternativ til andre typer af ellagring og reguleringsmetoder i forbindelse med eloverløb og andre reguleringsbehov i fremtidens elsystem.

Projektet tager udgangspunkt i analyser af udviklingen i eloverløb samt realiseret produktion og forbrug og deraf følgende behov for regulering af produceret og forbrugt eleffekt. I projektet undersøges muligheden for at lagre el og dermed flytte produktionen i tid ved anvendelse af Compressed Air Energy Storage, CAES.

Projektet angribes fra to vinkler af henholdsvis AAU og MEK-DTU:

En samfundsøkonomisk vinkel, hvor ellagring ved hjælp af CAES sammenlignes med alternativer som fx brintlagring, drift af varmepumper ved overløbs-el og eksport af el. Resultaterne af analyserne viser at CAES i sit nuværende tekniske stade ikke vil være en samfundsøkonomisk fordelagtig investering.

En procesmæssig vinkel. Hvor de nuværende anlægskonfigurationer for CAES primært er baseret på anvendelse af naturgas og udjævning af effekt over længere tid, har projektet primært afsøgt mulighederne for at udvikle anlæg der kan indgå i reguleringsreserven og derved nedbringe eloverløb og eliminere dyrere lagringsmetoder. Resultatet af denne undersøgelse er at CAES i sin nuværende udformning ikke giver en lagervirkningsgrad som er tilstrækkeligt god.

De negative resultater skyldes i høj grad tab ved køling af komprimeret luft til det underjordiske lager og følgende forbrug af naturgas for genopvarmning af gassen. Adiabatiske CAES-typer vil kunne nå væsentligt bedre virkningsgrad og økonomi.

Projektet har nået en væsentlig del af de forventede mål, dog desværre med et for teknologien negativt resultat. Det er dog vist at andre typer CAES kan anvendes og opnå bedre løsninger.

Projektet ikke nået en dybdegående gennemgang af CAES i regulerkraftmarkedet. Dette skyldes primært de fundne lave virkningsgrader som er en væsentlig begrænsning for potentialet for CAES.

**8. Abstract på dansk** (Skal fylde ca. 600 karakterer. Der lægges vægt på resultater, der har international interesse)

Compressed Air Energy Storage er en af de ellagrings teknologier som har været i anvendelse gennem længere tid på store anlæg idet to anlæg har været i drift i 20-30 år. Dette betyder at CAES er interessant med henblik på anvendelse i Danmark som implementerer større mængder fluktuerende vindkraft. Projektet indeholder en gennemgang af litteraturen på området samt analyser af CAES i det nuværende danske system. Projektet konkluderer at nuværende diabatisk CAES har store exergitab ved køling af komprimeret luft og følgende genopvarmning af luft til turbinen. Dette giver en lav lagervirkningsgrad som det vises kan kompenseres ved udvikling af adiabatisk CAES typer. Det vises ligeledes at diabatisk CAES ikke er økonomisk fordelagtigt sammenlignet med andre teknologier for håndtering af overløbsel.

**9. Abstract på engelsk** (Skal fylde ca. 600 karakterer. Der lægges vægt på resultater, der har international interesse)

Compressed Air Energy Storage is one of the electricity storage technologies that have been in operation through a longer period of time, as two plants have been working for 20-30 years. This means that CAES is interesting for application in Denmark, which is introducing more fluctuating wind power. The project contains a literature review of the CAES field as well as analyses of CAES in the current Danish system. The project concludes that current diabatic CAES has large exergy losses due to cooling of compressed air and reheating of air to the turbine. This results in low storage efficiency, which is shown to be possible to compensate by development of adiabatic CAES types. It is also shown that diabatic CAES is not economically viable compared to other technologies for handling electricity surplus.

## **10. Resultatanvendelse, forretningsstrategi, offentliggørelse og formidling**

*(Realiserede og mulige resultatanvendelser omtales, sammen med en kort beskrivelse af forretningsstrategien. Publikationer, rapporter, artikler samt indlæg om projektet ved møder og konferencer oplyses)*

Projektets resultater har primært været analyser af teknologiens nuværende stade og potentiale i Danmark. Projektet har dermed påvist muligheder videre udvikling for CAES med henblik på bedre virkningsgrad og økonomi samt reguleringsevne.

### **Artikler i internationale tidsskrifter**

Optimal operation strategies of compressed air energy storage (CAES) on electricity spot markets with fluctuating prices. Lund, H., Salgi, G. G., Elmegaard, B. & Andersen, A. N. 2009 I : Applied Thermal Engineering. 29, 5-6, s. 799-806.

The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems Lund. H. & Salgi, G. G. 2009 I : Energy Conversion and Management. 50, 5, s. 1172-1179.

System behaviour of compressed-air energy-storage in Denmark with a high penetration of renewable energy sources, Salgi, G. G. & Lund, H. 2008 I : Applied Energy. 85, 4, s. 182-189.

### **Artikler ved internationale konferencer**

Energy system analysis of CAES technologies in the Danish energy system with high penetration of fluctuating renewable energy sources, Salgi, G. G. & Lund, H. 2006 Energex 2006: The 11th international energy conference & exhibition. Elsevier 5 s.

Compressed air energy storage in Denmark: a feasibility study and an overall energy system analysis, Salgi, G. G. & Lund, H. 2006 World renewable energy congress IX: full proceedings. 6 s.

Efficiency of Compressed Air Energy Storage (CAES), Brian Elmegaard, abstract accepteret til ECOS 2011.

### **Artikler i bøger**

Energy storage, Krog Ekman, Claus ; Pedersen, Allan Schrøder ; Cronin, Tom ; Elmegaard, Brian, part of: Risø Energy Report 8, The intelligent energy system infrastructure for the future (ISBN: 978-87-550-3755-7) , pages: 43-46 pages: 72, 2009, Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Roskilde

Catalogue of energy technologies, Frandsen, Flemming ; Dam-Johansen, Kim ; Carlsen, Henrik ; Elmegaard, Brian ; Larsen, Hans Hvidtfeldt ; Sønderberg Petersen, Leif, part of: Risø energy report 7, Future low carbon energy systems (ISBN: 978-87-550-3689-5) , pages: 17-31 pages: 79, 2008, Forskningscenter Risø, Roskilde

### **Artikler i nationale tidsskrifter**

Elmegaard, B. (2009). Ellagring med Compressed Air Electricity Storage - CAES. Dansk Kemi, Vol.90, nr. 12, p. 32-33

Elmegaard, B. (2009). Ellagring med Compressed Air Electricity Storage - CAES. HVAC Magasinet, Vol.45, nr. 9, p. 44-49

### **Kandidatspecialer**

Lagring af El, Andersen, Marie Katrine Bech 2009, 01, Technical University of Denmark (DTU)

Optimering af Compressed Air Energy Storage, Vester, Jacob, 2008, 06, Technical University of Denmark (DTU)

Systemanalyse af Compressed Air Energy Storage : Optimering, drift og implementering i det danske energimarked, Rud, Jakob, 2009, 01, Technical University of Denmark (DTU)

**Præsentationer ved konferencer**

CAES – Compressed Air Electricity storage indlæg ved “Workshop on Sustainable Energy” – Technical University of Denmark, 14.-15. January 2009

<b>11. Finansieringsoversigt</b>		
<i>Oversigten er <b>ikke</b> et projektregnskab. Projektregnskabet udformes (og revisorpåtegnes for private) i overensstemmelse med gældende Regler for ForskEL, ForskNG og ForskVE projekter og indsendes separat.</i>	<b>Totale projektomkostninger</b>	<b>Heraf tilskud</b>
Lønoms-kostninger	761.627,19	740.227,19
Overhead	197.665,07	165.565,07
Apparater, udstyr, materialer	26.554,68	26.554,68
Eksterne ydelser	25.000,00	25.000,00
Rejser og ophold	27.562,95	27.562,95
Elproduktion (kun for ForskVE-projekter)		
Andet	8.480,79	8.480,79
<b>Samlede faktiske omkostninger og tilskud</b>	<b>1.046.890,68</b>	<b>993.390,68</b>
Eventuelle indtægter og restanlægs-værdi		
<b>Projektets reelle udgifter og tilskud</b>	<b>1.046.890,68</b>	<b>993.390,68</b>

### Udfyldes kun for ForskVE projekter

<b>12. Opgørelse af el leveret til elnettet i hele projektperioden</b>	
År	kWh eksporteret til elnettet
<b>Total</b>	