

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Fluidkompressorn - demonstration av en ny princip för effektiv energilagring	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Demonstration of a New Principle for Energy Storage	
Universitet/högskola/företag Chalmers Tekniska Högskola	Avdelning/institution Inst. för fysik
Adress Att: Magnus Karlsteen Chalmers Tekniska högskola AB Inst. för fysik 412 96 Göteborg	
Namn på projektledare Magnus Karlsteen	
Namn på ev övriga projektdeltagare Daniel Ehrnberg	
Nyckelord: 5-7 st Ny princip för effektiv energilagring	

Förord

Detta projekt har kunnat genomföras tack vara finansiellt stöd från Energimyndigheten. Till projektet har också Göteborg Energi, Leva i Lysekil, Varberg Energi, bidragit med viktig kunskap och frågeställningar. Detta framförallt kring vilka egenskaper som ett framtida energilagringssystem bör ha för att möjliggöra mer varierande förnybar energi på världens elnät. Projektet har också stöttats med expertråd och reflexioner från: Ingvar Albinsson, Göteborgs universitet, termodynamik, Bengt-Erik Mellander, Chalmers, termodynamik, Lars Larsson, SSPA, flödesdynamik, Anton Lindahl, Qamcom Research & Technology AB, granskning av teoretisk modell. Konsulten Lovisa Mellgren på ProDigma har medverkat i kontaktskapande med energibolag. Tre studentgrupper (8 st studenter) på Chalmers har medverkat genom att skriva examensarbeten kopplade till projektet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning/Bakgrund	5
Genomförande	5
Resultat	6
Diskussion.....	6
Publikationslista.....	7
Referenser, källor.....	7
Bilagor	7

Sammanfattning

Sverige har målet att ha 100 % förnybar energiproduktion redan år 2040 [1]. Det återstår mycket arbete för att nå det målet, 2016 var andelen ca 54 % [2]. En stor del av den framtida förnybara energiproduktionen förväntas komma från sol- och vindkraft. En svårighet är att inmatningen från sol- och vindkraft är helt väderberoende. Ibland produceras för mycket energi, ibland produceras för lite energi, i förhållande till samhällets fluktuerande behov. Om elnätet ska förbli stabilt, behöver fluktuationerna balanseras upp. Mängden producerad el och konsumerad el behöver hållas i balans konstant. Idag används bland annat värmekraftverk och kärnkraft för att balansera upp systemet. Den möjligen kommer att minska eller försvinna helt i ett system med helt förnybar energiproduktion.

Energilagring kommer att behövas för att lyckas nå målet. Lagring av energi kommer att bli den stora ”gamechangern” konstaterar Ibrahim Baylan i NyTeknik i november 2016 [3]. Förutom den väsentliga funktionen att hålla samhällets produktion och konsumtion av energi i balans, så är det potentiellt en bra affär att lagra in vid låga elpriser och ta ut vid högre elpriser, och därmed även kapa effekttoppar. Andra möjligheter med energilager är att skapa självförsörjande stadsdelar eller enheter med koncept: förnybar energi och energilager. Ett lager kan även fungera som exempelvis reservkraft vid ett sjukhus, serverhallar eller andra samhällskritiska anläggningar och ersätta dieseldrivna aggregat.

En intressant realisering av ett energilager är havsbaserade ballonger med tryckluft. Ett kanadensiskt forskarlag fick 2016 en utmärkelse för att ha skapat ett miljövänligt och effektivt energisystem [4], vilket inbegriper ett havsbaserat energilager med tryckluft, ”The Next Generation Under Water Energy Storage”. Tyvärr har man dock bara nått en verkningsgrad på ca 40 %. I den tillämpningen skulle fluidkompressor som utvecklas i detta projekt med stor sannolikhet kunna fördubbla verkningsgraden.

I projektet har teoretiska modeller som bekräftar fluidkompressorns funktion skapats. Modellerna har också verifierats mot mätningar på en första prototyp. Det arbetet har skapat ny kunskap som har resulterat ibland annat en förbättrad design som är under konstruktion. Se bilaga A, 2 för mer text.

I ett nära samarbete med energibolaget LEVA i Lysekil och Lysekils kommun planeras förverkligandet av ett energilager baserat på fluidkompressorn. I vattnen utanför Lysekil finns anläggningar och djup som är väl lämpade för detta framtida steg. Detta kan resultera i en viktig komponent i det nya energisystemet som ska förverkliga målet att Sverige ska ha en helt förnybar energiproduktion 2040.

Summary

Sweden aims to have 100% renewable energy production already in 2040 [1]. A lot of work remains to be achieved, in 2016 the proportion was about 54% [2]. A large part of future renewable energy production is expected to come from solar and wind power. One difficulty is that the input from solar and wind power is completely weather-dependent. Sometimes, too much energy is produced, sometimes too little energy is produced, relative to society's fluctuating needs. If the power should remain stable, the fluctuations need to be balanced. The amount of electricity produced and consumed need to be kept in constant balance. Today, among other things, thermal power plants and nuclear power are used to balance the system. It will decrease or possibly disappear completely in a system of fully renewable energy production.

Energy storage will be needed to succeed in reaching the target. Energy storage will be the big "game changer", Ibrahim Baylan noted in NyTeknik in November 2016 [3]. In addition to the essential function of keeping society's production and consumption of energy in balance, it is potentially a good deal to store at low electricity prices and charge at higher electricity prices, and thus also cut power peaks. Other possibilities with energy storage is to create self-sufficient neighborhoods or units with the concept: renewable energy and energy storage. Energy storages can also serve as reserve power at hospitals, server halls or other community-critical facilities and replace diesel-powered units.

An interesting realization of an energy storage is sea-based balloons with compressed air. A Canadian research team received an award in 2016 for the creation of an environmentally friendly and efficient energy system [4], which includes an offshore energy storage facility with compressed air, "The Next Generation Under Water Energy Storage". Unfortunately, however, only an efficiency of about 40% has been achieved. In such application, the fluid compressors developed in this project are likely to double the efficiency.

In the project, theoretical models that confirm the fluid compressor function have been created. The models have also been verified against measurements on a first prototype. That work has created new knowledge that has resulted in, among other things, an improved design under construction. See Appendix A, 2 for more text.

In close cooperation with the energy company LEVA in Lysekil and Lysekils municipality, the implementation of an energy storage based on the fluid compressor is planned. In the waters outside Lysekil there are facilities and depths that are well suited for this future step. This can result in an important component for the new energy system that will realize the goal that Sweden will have a fully renewable energy production in 2040.

Inledning/Bakgrund

Användandet av förnybara energikällor, såsom sol- och vindkraft, ökar över hela världen. I samhället finns det ett behov av att hantera variationen för att kontinuerligt erbjuda en energiförsörjning som möter den varierande tillgången och efterfrågan. Idag är tekniken för att lagra energi förknippad med höga kostnader och höga energiförluster. För att helt kunna driva världens i framtiden från enbart förnybara energikällor behöver vi ett tillräckligt effektivt och kostnadseffektivt sätt att lagra stora mängder energi. Projektet har undersökt förutsättningarna för en ny princip för att komprimera luft som är anpassad för energilagerapplikationer. För kustnära placeringar kan stora mängder tryckluft lagras i ballonger vid havets botten för att i stor skala, på ett kostnadseffektivt sätt, lagra energi. Fördelen är då att trycket från vattnet håller luften komprimerad och en mycket bra kostnadseffektivitet kan därmed nås. I andra fall kan hål i marken, grottor eller tryckkärl användas för att lagra tryckluften. Om vi effektivt kan lagra energi så kan samhället utnyttja energi från olika förnyelsebara energikällor som sol och vind, vilket gör det möjligt för världen att endast förlita sig på förnybar energi.

Tekniken bygger på en ny princip för komprimering av luft vilket skapar unika möjligheter för hög effektivitet. En teknik som möjliggör ett kostnadseffektivt sätt att lagra stora mängder energi. Maskinen är speciellt lämpad för storskalig kostnadseffektiv energilagring i MW-storlek och uppåt. Allteftersom mer variabel förnybar energi byggs in i våra energisystem, behöver vi bygga mer energilagring. Energilagringensmarknaden förväntas öka 10 gånger fram till 2022 relativt dagens behov. Spira Energy, företaget som skapats i anslutning till projektet, planerar att börja installera de första maskinerna 2019.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten och bedrivits på institutionen för Fysik på Chalmers från 20170401 till 20180430.

Genomförande

Projektet har grovt sett genomförts i fyra olika steg från förberedande kunskapsinhämtning expertgranskning av föreslagna teoretiska modell till avslutande sökande efter samarbetspartner i energibranschen och lämplig installationsplats. Detta sker enligt följande:

Arbetspaket 1: Inhämta generell kunskap om CAES teknik, termodynamik, flöde, mekanik som är nödvändig för att kunna bygga upp den teoretiska modellen.

- Detta genomfördes tillsammans med Chalmersforskare från den 1 april 2017 till den 30 november 2017. Dels genom inläsning av ämneslitteratur, rapporter samt tidigare projekt och dels genom utbildningsmöten med experter på olika områden.

Arbetspaket 2: Realisera kunskap från arbetspaket 1 i en matematisk termodynamisk och mekanisk modell, samt bygga den teoretiska modellen och utsätta den för kritisk granskning av termodynamiska/fluidodynamiska forskare/konsulter. Eventuella reflektioner från oberoende experter skall i första

hand ha implementerats i modellen, eller om inte möjligt, medfölja modellens beskrivning.

- Detta genomfördes under december 2017 och januari månad 2018 av framförallt Anton Lindahl på Qamcom Research & Technology AB. En del mindre fel kunde hittas och korrigeras. En granskad modell som kan användas i olika skala finns sedan 2018-01-31. Ändringarna finns dokumenterade i en separat rapport.

Arbetspaket 3: Lokalisera en lämplig demonstrationsplats genom kontakter med industrin, t ex en befintlig solcellsinstallation och att undersöka möjligheten till samarbete med en framtida användare av tekniken.

- Under projektets gång har vi haft kontakt med flera energibolag och experter på marknaden. Vi har under våren 2018 mer i detalj diskuterat lämpliga demonstrationsplatser och möjligheter till fortsatt samarbete med Göteborg energi, Leva i Lysekil samt Varberg Energi. De har alla uttryckt sig vara positiva till tekniken och vilka ha en försatt dialog kring ett möjligt gemensamt projekt för att testa principen i verklig miljö. Detta moment har genomförts i samverkan med Lovisa Mellgren på ProDigma.

Resultat

Projektet har lyckats med sina uppsatta mål och en teoretisk modell som kan visa på prestandan och fluidkompressornas geometri i energilagringssystemet har utvecklats. Med hjälp av den teoretiska modellen har maskinen vidareutvecklats och olika storleksförslag för en verklig installation har tagits fram. En installation har sedan diskuterats med Varberg Energi, Göteborg Energi och LEVA i Lysekil. Ett samarbete med LEVA i Lysekil och Lysekils kommun har upprättats där lämpliga platser för både kompressor och lager har lokaliserats. Detta samarbete planeras att utvecklas vidare i nästa fas av projektet.

Diskussion

Den teoretiska modellen visar att en mycket hög ”round trip efficiency” kan erhållas med hjälp av systemet. Genom att lagra luften under vattentrycket från sjöar och hav tros en mycket låg kostnad per kWh kunna nås.

Denna diskussion vidareutvecklas på en separat bilaga A med namn: Bilaga A till Slutrapport Fluidkompressorn SEKRETESS EJ SPRIDNING.pdf.

Publikationslista

1. *Utveckling av Fluidkompressor - Analys av fluidkompressorn och dess framtida potential inom energilagring, Axel Lindbäck, Elias Heinz, Kandidatarbete inom Fysik och Maskinteknik, Institutionen för Fysik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, maj 2017*

Här utvecklades en första teoretisk modell av den dåvarande konstruktionen. Modellen i samverkan med praktiska tester på prototypen resulterade i ett flertal insikter som medförde att fluidkompressorn kunde utvecklas för att uppnå bättre prestanda.

2. *Vidareutvecklande av Fluidmaskin -Teoretisk och praktisk undersökning av verkningsgrad vid uppskalning av effekt, Sofia Lundborg, Daniel Persson, Norea Bjerde, Olof Lennartsson, kandidatarbete i fysik maj 2018*

En andra teoretisk modell skapades som tar hänsyn till den utvecklade fluidkompressorn och större effekter. Designförslag för kompressorer både för energilagertillämpningar och produktion av industriell tryckluft togs fram. En andra kompressorprototyp är under tillverkning för att verifiera denna teoretiska modellens resultat.

3. *Business model development and go-to-market strategy for Spira Energy AB, Luis Kai och Theo Wiman Ohlson, Mastersarbete Chalmers, juni 2018*

I detta examensarbete utvecklas affärsmodeller och strategier för att ta fluidkompressorn till marknaden.

Referenser, källor

[1] <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/04/nya-energi-politiska-mal-skapar-langsiktighet/>, avläst 20180427

[2] <https://www.aktuellhallbarhet.se/sprid-sveriges-mal-om-fornybar-el-till-hela-eu/>, avläst 20180427

[3] <https://www.nyteknik.se/energi/baylan-globalt-kravs-det-energilager-6804666>, avläst 20180425

[4] <http://www.uwindsor.ca/dailynews/2016-03-23/engineering-professors-receive-112k-underwater-energy-storage-research>, avläst 20180526

Bilagor

Administrativ bilaga till SLUTRAPPORT Proj nr 42908-1

Bilaga A SEKRETESS EJ SPRIDNING Slutrapport Fluidkompressorn proj.nr 42908-1