

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Energilagring i hett vatten	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Energy storage in hot water	
Universitet/högskola/företag Climeon AB	Avdelning/institution Development
Adress Jan Stenbecks Torg 17	
Namn på projektledare Joachim Karthäuser	
Namn på ev övriga projektdeltagare KTH (prof. Björn Palm), RISE / SP Borås (Roger Nordman m fl)	
Nyckelord: 5-7 st Energilagring, koppling värme-el, batterier, lagring intermitterent kraft	

Förord

Energimyndigheten, Climeon och SP / RISE har finansierat detta projekt. KTH har bidragit med expertis.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Summary	2
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	4
Resultat	4
Diskussion.....	4
Publikationslista.....	5
Referenser, källor.....	5
Bilagor	6

Sammanfattning

Omställningen till ett fossilfritt energisystem kräver att intermitterent kraft såsom vind och sol kan lagras på stor skala och på ett kostnadseffektivt sätt.

Det finns många sätt att lagra elektricitet och energi, t ex i **direkt** form i superkondensatorer eller elektrokemiska batterier på basis bly eller litium, alternativt i **indirekt** form, t ex **kemiskt** som vätgas eller kolväten på basis av vätgas, eller i material för flödesbatterier, eller **mekaniskt** t ex i svänghjul, i form av komprimerad luft och i pumpkraftverk.

Alla ”batterier” har för- och nackdelar vad gäller kapacitet, möjlig laddnings- och urladdningshastighet, investerings- och driftskostnader och miljöpåverkan under tillverkning, drift och återvinning.

Pumpkraftverk är den globalt absolut dominerande energilagringstekniken, men det är svårt att hitta nya områden för utbyggnad. Dessutom har inte många länder tillgång till områden som är lämpliga för stora pumpkraftverk.

Värme har kallats "the sleeping giant of the energy system". Speciellt vatten på fjärrvärmenivå, alltså på ca. 90 °C, innehåller så mycket energi – konverterbar till elektricitet - att det kan jämföras med vatten i ett pumpkraftverk med 400 m fallhöjd.

Projektets grundhypotes var att elektricitet kan lagras i vattentankar i kombination med värmepumpar och "Climeon Heat Power" kraftverk som omvandlar värme tillbaka till elektricitet. Värmepumpen använder överskottsel från sol och vind för att producera värme och kyla, och när el behövs, används Climeon utrustning. Målet var dessutom att visa att elektricitet kan produceras till konkurrenskraftiga priser.

Projektet var mycket framgångsrikt och har väckt internationellt intresse. I nästa steg planeras det demonstrationsprojekt.

Summary

The transition to a fossil-free energy system requires that intermittent power such as wind and solar can be stored at large scale and at competitive prices.

There are many ways to store electricity and energy, e.g. **directly** in super-capacitors or electrochemical batteries on basis of lead or lithium, alternatively **indirectly**, e.g. **chemically** as hydrogen or fuel on basis of hydrogen or in redox materials for flow batteries, or **mechanically**, e.g. in flywheels, as compressed or liquefied air or in pumped hydro power stations.

All batteries have advantages and disadvantages in terms of capacity, possible charging and discharging speed, investment and operational costs and environmental or carbon footprint from production, operation and recycling.

Pumped hydro storage (PHS) is the by far dominating energy storage technique, however, it is difficult to find new areas for further development. Further, not many countries have suitable mountain areas for PHS.

Heat has been called "the sleeping giant of the energy system". Especially water at district heating level, e.g. at 90 °C, contains so much energy – convertible to electricity – that it can be compared to PHS with a 400 m height difference.

The basic project hypothesis was that electricity can be stored in hot and cold water reservoirs in combination with heat pumps and "Climeon Heat Power" modules which convert heat to electricity upon demand. Heat pumps convert surplus electricity from solar PV and wind to heat and cold, and, as soon as

electricity is needed, Climeon equipment is used. It was also a project goal to demonstrate that electricity can be stored at competitive prices.

The project was highly successful and has created international interest. In the next phase, a demonstration project is planned.

Inledning/Bakgrund

Övergången till ett fossilfritt och hållbart energisystem, dvs utan de klassiska baskraftsleverantörer kol, olja och kärnkraft, kräver lagring av energi i stor skala.

Vind, sol, biomassa och värmekraft ("Heat Power") kan ersätta de gamla energibärarna, men enbart om nya sätt att lagra energi från de intermittenta kraftslagen sol och vind i stor skala utvecklas. Lagring är tänkbar genom "PTX" eller "Power-to-X" där X står för vätgas, metan, bensen, annan kemisk energi, mekanisk energi såsom i svänghjul eller lägesenergi såsom i ett vattenkraftverk, eller i elektriska batterier.

Utmaningen ligger i storleksordningen: 100 TWh energi – storleksordningen av Sveriges årliga elkonsumention – är en energimängd som är lagrad i 17 miljon kubikmeter bensen (på basis 6 kWh el från 1 liter bensen, dvs 50% verkningsgrad). Denna mängd bensen kräver ett lager i en kub med kantens längd på 250 meter.

Vatten i ett pumpkraftverk har betydligt lägre energitäthet – att lagra 100 TWh kräver en rektangulär sjö med 35 km kantlängd på 300 m höjd. Det är enbart i vissa länder som har gynnsam geologi och alpina områden som lämpar sig för storskalig användning av hydropower för både elgenerering och lagring av överskottsel.

Grundhypotesen i projektet var att hett vatten kan användas för lagring av el, t ex i existerande fjärrvärmestankar. Med hjälp av värmepumpar kan överskottsel från vind och sol omvandlas till värme, t ex 90 °C, och vid elbehov kan värme omvandlas tillbaka till elektricitet. Tekniken kan användas i mindre skala, t ex i 1000 m³ tankar som kan "innehålla" 1-2 MWh el, eller mha storskaliga berggrum. Värme från solkollektorer lagras redan i övergivna stenbrott och liknande (Aarhus, Graz) för fjärrvärme.

Projektets mål var att demonstrera att tekniken kan bidra till lagring av el till konkurrenskraftiga priser, dvs helst under 100 €/MWh el. Med detta skulle det vara möjligt att garantera leveranssäkerhet för el även om energisystemet är uppbyggd av intermittenta energikällor såsom vind och sol. Dessutom skulle överskottsvärme från industriella och även PTX-processer kunna nyttjas.

Utöver Climeon har KTH Energiteknik bidragit bl a med kunskap om värmepumpar, och RISE / SP har bidragit med kunskap om styrsystem och kraftreglermarknaden. Projektet pågick under perioden november 2016 till december 2017.

Genomförande

Projektet delades upp i fyra arbetspaket: a) urval och test av värmepumpar, b) design och integration, c) dissemination och externa kontakter och d) utvärdering och planering av eventuella fortsättningsprojekt.

Större värmepumpar (>200 kW el input) på basis av ammoniak och koldioxid finns kommersiellt tillgängliga och klarar att producera värme på > 85 °C, även andra medier har utvecklingspotential. Tyvärr finns inte mindre värmepumpar vilket gjorde det omöjligt att bygga ett mindre demonstrationssystem med 3 kW el output. De kritiska komponenterna, däribland styrsystem för kontroll av både elproduktion och värmeproduktion beroende på externa signaler (elnätets frekvens, prissignaler etc) utvecklades i princip. System i olika storlek, t ex reservkraft för 5-100 hushåll, system kopplade till stora industriella värmekällor på t ex 60 °C och stora bergrum för säsonglagring av värme analyserades i detalj både tekniskt och kommersiellt. Externa och internationella kontakter utvecklades, i synnerhet med Tyskland där regeringen har inlett ett intensivt arbete med dekarboniseringen av energisystemet. Lagringsteknologin enligt projektets grundkoncept konkurrerar - eller snarare: kompletterar andra PTX teknologier, såsom vätgasproduktion, lagring och användning av vätgas och dess derivater såsom metan och kolväten.

Resultat

Ett kommersiellt lovande system för lagring av elektricitet i hett vatten har utvecklats. Överskottsvärme från t ex industriella källor på t ex 40-60 °C omvandlas med hjälp av överskottsel från sol och vind och värmepumpar till värme på 90-95 °C. Värmen lagras i fjärrvärmekärl eller bergrum. Vid elbehov används denna värme till att producera el med hjälp av Climeons teknologi. Tekniken kan användas ”stand-alone” i mindre anläggningar (från 150 kW el) eller i mycket stora anläggningar, t ex 50 MW el. Energilagringssystemet kan elegant kombineras med fjärrvärmeinfrastrukturen. Detta är ett exempel på den internationellt mycket eftersträfvade reversibla kopplingen mellan värme och el (på tyska ”Sektorenkopplung”).

Diskussion

Ett förnybart energisystem utan fossil energi och utan kärnkraft måste garantera leverans av el 24/7/365. Detta kräver ny baskraft, t ex från geotermi och/eller energilagring i mycket stor skala. Elektrokemiska batterier såsom lithium-jon batterier är lämpliga för bilar och småskaliga användningar men är inte konkurrenskraftiga inom elsystemet för andra uppgifter än frekvensreglering på sekundnivå. Pumpkraftverk dominerar energilagringsmarknaden, men utbyggnadspotentialen är begränsad. Framtidens tekniker kan innehålla ”compressed air energy storage” eller CAES, flytande luft, vätgas inkl derivater och värme.

I de flesta framtidsscenarier beräknas både den absoluta mängden elektricitet och dess andel i energisystemet att växa betydligt, t ex med tanke på ersättning av kol i järnframställning genom vätgas, eller ersättning av fossila drivmedel genom vätgasbaserade derivater såsom metanol eller biomassabaserade kolväten.

Inom värmesektorn finns kandidatteknologier på hög temperaturnivå, såsom flytande salter, t ex nitrater på > 250 °C (förslag t ex från Google X-factory). Det är sannolikt att många teknologier utvecklas och implementeras samtidigt eftersom de uppfyller olika behov. Värmelagring på låg temperaturnivå, dvs på ca. 90 °C, är etablerad och beprövad teknologi och bedöms vara ekonomiskt mycket konkurrenskraftig. Elproduktion från 90 °C är också numera beprövad genom Climeon. Energilagring vid 90 °C möjliggör dessutom nyttjandet av överskottsvärme från många industriella processer och kopplingen till uppvärmning av hus och industrilokaler med nästa generations fjärrvärmesystem.

Publikationslista

Präsentation under Almedalsveckan: <http://www.almedalsveckan.info/49517>

DecarbHeat - Så når världen 100 procent förnybar energisektor

Arrangör: NIBE Energy Systems

Dag: 4/7 2017 14:00 - 15:30 **Evenemangskategori:** Seminarium

Beskrivning av samhällsfrågan

Sveriges framsteg inom energiteknik gör exportsuccé internationellt. Sol, vind, värmepumpar och energiåtervinning tränger snabbt bort fossil energiteknik. Hör om teknik i framkant och branschinitiativet DecarbHeat för att nå visionen om 100 procent fossilfri värme- och kylsektor år 2050.

Utökad beskrivning av samhällsfrågan

Svenska energi-innovatörer banar väg för nya exportframgångar. Sveriges framsteg inom energiteknik gör exportsuccé internationellt. Sol, vind, värmepumpar och energiåtervinning tränger steg för steg bort fossil energiteknik. Visionen är att nå en 100 procent förnybar och hållbar energisektor. NIBE Energy Systems presenterar energieffektivisering och teknik som ligger i framkant för utvecklingen samt initiativet DecarbHeat, det europeiska branschinitiativet, för att nå visionen om en 100 procent fossilfri värme- och kylsektor år 2050. Tillsammans med de innovativa företagen OX2 och Climeon påvisar NIBE Energy Systems hur svenska energiföretag är med och kan bli än mer drivande i att exportera en realiseringen av en fossilfri framtid.

Medverkande:

- Martin Forsén, Manager International Affairs, NIBE Energy Systems

- Elin Löfblad, Head of Distributed Energy, OX2
- Dr Joachim Karthäuser, CTO, Climeon

Patentansökan "Energy storage", WO 2017/065683 A1, publicerad 2017-04-20.

Referenser, källor

<https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-storage-2017/> (summary)

<https://www.lazard.com/media/450338/lazard-levelized-cost-of-storage-version-30.pdf> (full text)

<http://www.springer.com/gp/book/9783662488928> Prof. Michael Sterner, "Energiespeicher", Springer Verlag, ISBN 978-3-662-48893-5

Bilagor

Administrativ bilaga

Ekonomisk redovisning