

SolarPACES 2011

Granada, Spanje, 20-23 september 2011

Door Evert du Marchie van Voorthuysen, directeur van de Stichting GEZEN.

Inleiding

Het International Energy Agency (IEA) organiseert voor de diverse energietechnologieën samenwerkingsverbanden tussen landen, zgn. implementing agreements. Het implementing agreement voor concentrating solar power (CSP) heet SolarPACES. De belangrijkste activiteit van SolarPACES is de organisatie van de jaarlijkse wetenschappelijke conferentie over de technische, economische en politieke aspecten van CSP. In 2011 werd de SolarPACES-conferentie gehouden in Granada. Vanuit Nederland waren daar dit jaar in ieder geval aanwezig: Evert du Marchie van Voorthuysen (GEZEN, Solaq), Pepijn van Kesteren (GEZEN), Geert Timmers (KEMA) en John Franssen (NEM).

De hoofdthema's van SolarPACES 2011 betroffen de opslag van energie en het produceren van zonnestroom in de periodes van de dag waarin de vraag het grootst is.

Zonnespiegelcentrales met wamteopslag zijn in staat om zonnestroom te leveren naar behoefte. De stoomturbines die gevoed worden met de warmte uit de tanks met heet vloeibaar zout kunnen worden in- en uitgeschakeld naar behoefte. De stroomopwekkingskosten van de concurrenten van een CSP-centrale met wamteopslag zoals gasturbines en dieselgeneratoren zijn hoog, waardoor deze zonnecentrale al snel rendabel wordt. Het wereldrecord op het gebied van wamteopslag ligt nu bij de Gemasolar zonnetoren bij Écija in Spanje. Deze 140 meter hoge toren wordt beschenen door 2600 heliostaatspiegels die het vloeibare zout in de top van de toren opwarmen tot 565 °C. Na zonsondergang kunnen de 20 MWe turbines nog 15 uur op vol vermogen draaien.

Op langere termijn ligt het belang van zonnespiegelcentrales met wamteopslag in de grote bijdrage die zonne-energie kan leveren aan de basislast elektriciteitsvoorziening. Fotovoltaïsche zonnepanelen (PV) kunnen deze basislast niet leveren zolang de opslag van elektriciteit nog zo duur blijft. Als CSP de concurrentieslag tegen PV verliest, wat niet denkbeeldig is, zal zonne-energie niet de noodzakelijke hoofdrol kunnen gaan spelen in een fossiel-vrije mondiale energievoorziening.

Veel aandacht werd gegeven aan de mogelijkheden om CSP goedkoper te maken. Op vrijwel alle onderdelen van de waarde-keten zijn verbeteringen voorgesteld. Deze verbeteringen worden echter weer voor een deel teniet gedaan door de stijgende prijzen voor grondstoffen. Een ander aspect dat de vooruitgang van CSP remt is het conservatisme van de investeerders en de banken, die een heilig ontzag hebben voor “bewezen technologie” en uiterst risicomijdend optreden. Het gevolg is dat de meeste CSP-centrales die de laatste jaren zijn gebouwd nog steeds als twee druppels water lijken op de STEG-centrales die in de jaren '80 in Californië zijn gebouwd: trogspiegelcentrales met 5 meter brede spiegels en synthetische olie als transportvloeistof. Van de vele uitvindingen en innovaties die op de SolarPACES-conferenties worden gepresenteerd dringt veel te weinig door tot de schaal van de grote zonnespiegelcentrales.

Naast elektriciteitsproductie d.m.v. zonnespiegels werd ook aandacht gegeven aan productie van geconcentreerde zonnewarmte voor de procesindustrie, productie van waterstof en brandstoffen waaronder zwavel, koeling en ontzilting.

Dit verslag bevat een rapportage van de meeste voordrachten op de plenaire sessies, een aantal voordrachten uit de parallele sessie en enkele foto's.

Afkortingen:

CAPEX	Capital Expenses: Kapitaalsuitgaven (investeringen) van een centrale
CCG	Combined-Cycle Gascentrales: gas wordt verwarmd in een gasturbine, met de afvalwarmte hiervan wordt een stoomturbine gevoed. Standaard in Nederlandse gasgestookte centrales.
COP	Coefficient Of Performance: Efficiency van koelsysteem, COP = geproduceerde koude in kWh / benodigde energie (kWh thermisch of elektrisch)
DLR	Duits Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium. Doet CSP-onderzoek en gebruikt satellietgegevens om de DNI te berekenen.
DNI	Direct Normal Irradiation: De gemiddelde direct van de zon afkomstige zonnestraling op een oppervlak dat naar de zon wordt gericht, meestal in kWh per m ² per jaar.
DSG	Direct Steam Generation: In de receiver van een trogspiegel of een lineair Fresnelveld wordt water rechtstreeks in stoom omgezet, er wordt dus geen olie verwarmd.
GEZEN	Stichting ter bevordering van Grootschalige Exploitatie van Zonne-ENERgie
GHI	Global Horizontal Irradiation: De directe en diffuse gemiddelde zonnestraling op een horizontaal oppervlak, meestal in kWh per m ² per jaar.
GOR	Gain Output Ratio: Efficiency van warmte-aangedreven zeewaterontzilting. Bij enkelvoudige destilatie geldt: GOR = 1.
HTF	High Temperature Fluid: hitte-bestendige vloeistof, meestal synthetische olie, die voor warmtetransport in receivers van trogspiegels wordt gebruikt
HVDC	High Voltage Direct Current: Elektriciteitstransportleiding gebruikmakend van gelijkstroom onder hoge spanning
ICCG	Integrated Combined-Cycle Gascentrale: een CCG met extra spiegelveld
IEA	International Energy Agency (Energie-analyse bureau van de OESO-landen)
LCE	Levelized Cost of Electricity: de totale productiekosten van elektriciteit in ¢cent/kWh of \$cent/kWh
MED	Multiple-Effect Desalination: zeewaterontzilting d.m.v. van destillatie in vaten met dalende temperatuur en druk in serie, de energie wordt toegevoerd in de vorm van warmte van 80-100 °C.
PCM	Phase-Change Material: opslag van warmte (of koude) d.m.v. smelten of stollen, vloeisstof ↔ vaste stof.
PPA	Power Purchase Agreement: langdurig contract met prijs voor de geleverde elektriciteit
PR	Progress Ratio: Kostendaling per verdubbeling van de mondiale investering in een technologie
PSA	Plataforma Solar Almeria, het grote CSP-onderzoekslaboratorium in Almeria, Spanje.
PV	Photo-Voltaics: zonne-energie met foto-voltaïsche zonnepanelen.
RO	Reverse Osmosis: zeewaterontzilting door zeewater te persen door een membraan met nanogaatjes

SM Solar Multiple: Bij de hoogste zonnestand en helder weer produceert het spiegelveld een factor SM te veel warmte voor de turbine

Solar Fraction De fractie van de elektriciteit uit een ICCG die puur afkomstig is van zonnestraling.

Dinsdag 20 september 2011

Openingsessie

Diego Martinez Plaza (CIEMAT)

Er worden 1000 deelnemers verwacht.

Cristina Garmendia, (Spaanse minister van onderwijs en wetenschappen).

Zij houdt een lang verhaal in het Spaans, want dat wordt van een lid van de Spaanse regering verwacht (zeft ze op een wat verontschuldigde manier), en zegt te verwachten dat we allemaal vertaalapparaten hebben, wat op een internationale conferentie met Engels als enige voertaal helaas niet het geval was. *(Dit zegt ze in het Engels, dan schakelt ze over op Spaans. Een onfortuinlijke gang van zaken).*

Piero de Bonis (EUROPESE COMMISSIE)

In het FP7 programma is tot dusver 32 M€ toegewezen voor CSP onderzoek.

Het FP8 programma begint in 2014 met een 40% hoger budget dan FP7 en een stevig aandeel voor hernieuwbare energie.

Verdere EU programma's:

- Strategic Energy Technology Plan
- Solar European Industrial Initiative SEII voor PV en CSP.
- ERA-NET action, voor samenwerking tussen bedrijven uit verschillende landen, start in 2012.
- Innovation Flagship Initiative

Cedric Philibert (IEA)

Philibert verwelkomt de deelnemers namens Maria van der Hoeven, de nieuwe directeur van het IEA. De roadmaps van het IEA uit 2010 over CSP en PV concluderen dat beide technologieën aanvullend en niet concurrerend zijn. Naast elektriciteitsopwekking is koelen en verwarmen en productie van solar fuels (zonnebrandstof) belangrijk voor het IEA. IEA kijkt naar synergie-effecten: elektrisch vervoer, warmtepompen, co-productie van PV en verwarming. Er wordt een nieuw IEA-rapport gemaakt met bovenstaande punten. Een hoofdstuk uit dit rapport: hoe ver kan de wereld gaan met solar energy? We moeten opwekking en gebruik van elektriciteit beter matchen, en het verbruik flexibeler maken. Het belangrijkste is de energie-opslag.

Er zijn 3 soorten van gebieden op aarde:

- Zonnig en droog: hier is CSP het belangrijkste
- Zonnig en nat: hier zijn PV + waterkracht het belangrijkste
- Winderig.

De meeste vraag op de wereld komt uit de zonnige landen.

Na 2060 wordt zon het belangrijkste. Er komt dan meer PV-capaciteit, maar de stroomproductie in termen van GWh/jaar zal van CSP groter zijn dan van PV.

Alle landen moeten meedoen.

Onlangs is Marokko toegetreden als lid van SolarPACES.

SolarPaces is het meest succesvolle implementing agreement van de IEA. IEA is trots op SolarPaces, die van de implementing agreements de grootste wetenschappelijke conferentie organiseert.

Luis Crespo (ESTELA) spreekt zijn zorg uit over het te lage tempo van de kostendaling van CSP.

Begin 2014 zullen in Spanje 64 centrales in bedrijf zijn met 2500 MW totale capaciteit, de meesten met warmteopslag. Het onderzoekscentrum PSA is van groot belang.

Plenaire Sessie: Global CSP Market

Luis Crespo (ESTELA) *CSP Market in Spain*

ESTELA (de brancheorganisatie voor CSP-bedrijven in Europa en omgeving) heeft nu 60 leden. Protermosolar is de Spaanse brancheorganisatie. PV en CSP zijn complementair. PV heeft al 50 GW op de wereld en CSP nog maar 2 GW. De kostendaling van CSP gaat trager dan PV wegens de langere lead time. CSP wordt toch de belangrijkste, CSP is beter voor lokale economie dan PV. PV en wind hebben altijd backup capaciteit nodig, CSP niet.

Er zijn nu 31 CSP plants in Spanje in werking. PV + CSP levert in Spanje 5.2% van de electriciteit. Er is 100 MW met 7 uur opslag: Andasol 1 +2 in Castillia la Mancha.

De Gemasolar toren met zout als transportmedium en opslagmedium heeft een verlies-vrije energieopslag en was onlangs 3 tot 4 dagen continu in werking; dit is dus effectief een base-load zonnecentrale.

NOVATEC heeft een Fresnelcentrale van 1.5 MW in bedrijf en 30 MW in aanbouw.

Eind 2013 zal er 2423 MW aan CSP-capaciteit in werking zijn. In 2010 waren er 24000 arbeidsplaatsten in de CSP in Spanje. ESTELA verwacht dat in 2020 5 GW aan CSP in bedrijf zal zijn in Spanje. CSP-stroom uit Spanje zal worden ge-exporteerd, reëel - waarvoor uitbreiding van het hoogspanningsnet essentieel is - en virtueel. Hiervoor zijn de flexible mechanismen van de Europese Unie van belang.

Is het huidige feed-in tarief van 29 ct/kWh representatief voor de verwachte kosten? Uit de onderhandelingen voor nieuwe centrales blijkt dat de Progress Ratio (PR) (kostendaling per verdubbeling 15 tot 20%) nu 80-85% is.

Op betere DNI locaties is 30% reductie mogelijk (t.o.v. Andasol).

- 20% bij schaalvergroting t.o.v. de huidige 50 MW centrales.
- Systeem en componenten verbeteren geeft 20% kostenreductie
- van 2 naar 50 GW geeft 30% .

Kunnen we deze factoren vermenigvuldigen? Het is mogelijk, maar we moeten dan wel opschieten.

Fred Morse (SEI/ABENGOA) *CSP Market in the US*

Over CSP + grootschalig PV.

Er is een oorlog gaande tussen natuurorganisaties en de projectontwikkelaars. Belangrijkste factor voor een goede locatie voor een CSP-centrale is de aanwezigheid van een transmissieleiding.

Vergunningen worden verleend op State-niveau. De coordinatie in de vergunningverlening gaat erg moeilijk, California is een gunstige uitzondering. Stroomtransport is een lastig probleem.

Politiek: de federal loan guaranty, er was een investment federal tax credit (niet meer voor nieuwe projecten). In de USA is 500 MW aan CSP in bedrijf en 1 GW in aanbouw. 8 GW is in de planning met getekende PPA's.

Voor CSP zijn er leningsgaranties tot 5 G\$ van de federale overheid (Washington). De verwachting / hoop is dat deze voorlopig zullen blijven bestaan, ook voor nieuwe projecten. In de USA zijn er in de CSP-sector 5000 banen in de bouw en 300 permanente banen. Waar komen de onderdelen vandaan? Uit bijna de gehele USA, 73% van een CSP-centrale wordt in de USA gemaakt.

CSP heeft 4 voordelen t.o.v. PV:

- meer stabiele productie (kortstondige onderbrekingen door wolkschaduw worden uitgemiddeld)
- integratie met fossiele opwekking is mogelijk
- energieopslag is mogelijk
- veel lokale werkgelegenheid.

De wild cards (onzekerheden, gevaren, mogelijkheden):

- De gasprijs gaat zeker omhoog, maar gas is nu goedkoop, shalegas heeft echter veel milieunadelen.
- De nu goedkope PV
- kapitaalkosten, nu is de rente nog laag maar hoe is dit in de toekomst?

Problemen:

Is de Federal Loan Guaranty een blijvende situatie? Wordt CSP wel snel genoeg goedkoop?

Ashvini Kumar (MNRE Ministry of New and Renewable Energy in India) *CSP Market in India*

Er is 2.5 MW aan CSP in India in werking (een eSolar-toren). In 2022 moet er 20 GW aan solar zijn (PV + CSP). Er is een breed programma van pilotprojecten op het niveau van 1 MW per project. Er zijn ook solar cooling projecten. Er is een landelijk netwerk van weerobservatiestations inclusief DNI- en GHI-waarneming. Hij nodigt de aanwezigen uit om mee te doen aan het Indiase R&D programma.

Mathew Wright (BZE) *CSP Market in Australia*

BZE is afkorting van Beyond Zero Emissions. In Australië moet in 2020 20% van de stroom hernieuwbaar zijn: portofolio standard. Aan opslag wordt geen extra waarde toegekend.

Nu is PV goedkoper, dus er komt veel PV en weinig CSP, want opslag is niet belangrijk. De grote elektriciteitsmaatschappijen zijn tegen feed-in wetgeving. De competitie komt van Gas/wind/solar CSP. Er wordt alleen ondersteund bij innovatie, niet bij investeringen. Ze geloven in Australia wel in CO₂-handel en cap en trade. De regelgeving is verwarrend.

Ausra (voortkomend uit het Australische bedrijf Solar Heat and Power, nu overgenomen door AREVA) plant een Fresnelproject van 250 MW, kosten 1.2 G\$, de financiering is nog niet rond.

Het komt ten Noorden van Brisbane in Queensland, de naam van het project is Solar Dawn.

Er is een 40 MW dish project, Wizard Power en een 80 MW (Dish?) met ammonia als transportvloeistof en ook warmteopslag. Verder Kogan Creek: CSP toegevoegd aan een kolencentrale.

ANU (Australie National University) doet onderzoek aan thermochemische opslag met ammonia.

CIRO heeft een 3 MW brayton cycle (gasturbine) zonnetoren, een demo project.

BZE is erg teleurgesteld in de regering: Australië heeft de grootste zonne-resource ter wereld, maar de regering geeft er nauwelijks prioriteit aan, vooral door de machtige positie van de kolensector. Ook andere duurzame energie wordt stelselmatig tegengewerkt: zo is er in Queensland onlangs een wet geïntroduceerd, die het elk huishouden mogelijk maakt een windmolen in een straal van 2 km om hun huis te vetoën. Hierdoor is nog slechts 3% van het oppervlak van Queensland over waar niet een enkel huishouden een windmolen kan tegenhouden. BZE heeft een plan geschreven om Australië in 10 jaar tijd 100% duurzaam te krijgen (onderzoek is uitgevoerd door honderden vrijwilligers – onderzoekers aan universiteiten die wat vrije tijd hiervoor vrijmaakten – over heel Australië); CSP is hier de belangrijkste energiebron, samen met wind. Dit plan wordt nu volop gepromoot en er is een grassroots movement ontstaan die het actief steunt. Desalniettemin blijft de Australische overheid terughoudend in haar visie.

Pancho Ndebele (SASTELA) *CSP Market in South Africa*

De Feed-in wet is onlangs afgeschaft in Zuid Afrika. SASTELA heeft ook veel buitenlandse deelnemers (Siemens, eSolar, Alstom enz.) CSP schept de meeste banen per MW, meer dan bij PV. Hij toont een kaart van Afrika met een Afrikaans-Europees transmissienetwerk met o.a. verbinding met waterkracht uit de Congo. Dit wordt geïntegreerd met Desertec. Er is een heel goede DNI in de Noord-Kaap bij de Kalahari. Droge koeling is nodig wegens watergebrek. In het huidige procurement programma van de regering is 200 MW zon gepland, met een 50/50 verdeling PV / CSP. Dit is echter gebaseerd op een relatief oude mission statement; door juiste lobby kan dit in de komende jaren wellicht een groter aandeel worden. ER geldt hetzelfde tarief voor PV en CSP.

Mustafa Bakkoury (MASEN) *CSP Market in Morocco*

In 2020 moet 14% van de elektriciteit solar zijn en 2GW aan capaciteit staan. MASEN SA is maart 2010 opgericht met als activiteit de ontwikkeling van zonnecentrales.

(Eigen commentaar: de helft van de capaciteit is geprojecteerd in de Westelijke Sahara, volgens de kaart, wordt niet expliciet gezegd, het zal ongetwijfeld politieke problemen geven).

Marokko werkt samen met het Solar Plan van de Mediterrane Unie en met Desertec.

Quarzazate complex: 500 MW per 2015 op locatie 10 km NO van de stad Quarzazate.

Bedrijven worden gevraagd om mee te doen in het biddingsproces.

Plenaire Sessie: Driving Cost Down

Nikolaus Benz (SCHOTT) *Inleiding*

Er ligt momenteel 8 GW aan PV in de magazijnen te wachten, mede daarom is PV nu zo goedkoop. Hoeveel is de vraag-gestuurde beschikbaarheid van CSP-stroom uit centrales met warmteopslag meer waard dan PV dat aanbod-gestuurd is? (Zie ook bijdrage Mark Mehos, pagina 10; die komt op een meerwaarde van 1.6 – 4 ct)

Christoph Wolff (SOLARMILLENIUM) *CSP Outlook: Cost reduction and performance improvement in global markets.*

Het 100 MW Blythe project is veranderd van CSP troggen naar PV, want een groot PV-veld vergt nu minder investering dan een CSP-centrale met trogspiegels en de rate of return is hoger (snellere cash flow terug naar het bedrijf). Totdusver waren alleen plannen van zonneshotels (dishes) en voor centrales met Fresnel-spiegelvelden omgezet naar PV. In Californië is er alleen interesse en vraag naar stroom midden overdag. Hier heeft opslag, waarmee je de levertijd kunt aanpassen aan de vraag dus geen extra waarde. In Nevada en Arizona is er wel vraag naar dispatchability (stroom leveren op afroep van de consument). De transitie van olie naar molten salt als transportvloeistof zal veel vooruitgang brengen.

Andere toepassingen van spiegelsystemen:

- Stoomopwekking
- Warmtelevering aan de oliewinning.
- Hybridisatie van kolencentrales.
- Geïsoleerde gebruikers zoals mijnen waarbij CSP diesel kan vervangen.

Troggen moeten grotere en precieser worden. Met molten salt is 30% kostenreductie mogelijk.

Miguel Domingo (SENER) *Real experience with key components and sub-systems*

Bij troggen is 40% kostenreductie mogelijk door standaardisatie en massaproductie. Maar dit wordt tegengewerkt door de kostenstijging van grondstoffen.

In Andasol-1 worden 60 parameters gevolgd om de operatie te optimaliseren.

In nieuwe centrales wordt gewerkt aan warmteopslag in één tank i.p.v. de gebruikelijke twee tanks.

In de toekomst zal de toren met opslag in gesmolten zout het beste concept worden.

T.o.v. vandaag is een kostenreductie van 30-40% mogelijk.

De zonnetoren is vandaag 15% goedkoper dan een trogspiegelcentrale.

Paul Nava (FLABEG)

What can be done from a value engineering point of view.

(er was een andere spreker die Nava verving)

Er is de laatste jaren te weinig R&D gedaan in CSP. De trogspiegelcentrales in Spanje lijken heel sterk op de in de jaren 80 gebouwde centrales in Californië. In het HTF systeem ontbreekt standaardisatie.

Er is slechte planning, turbines enz. worden te vroeg ingekocht.

Molten salt als HTF: Siemens gaat in Portugal een testproject doen.

De Chinese PV-fabrikanten draaien nu verlies en dumpen hun producten op de wereldmarkt.

De banken durven bij investeringen in CSP-centrales geen risico te nemen.

Opmerking uit de zaal: De Europese Unie moet dat risico overnemen

Plenaire Sessie: Industrial developments

Martin Selig (NOVATEC SOLAR) *NOVATEC Solar's approach towards low cost CSP*

NOVATEC produceert Fresnelspiegelcentrales. Het bedrijf ABB investeert in NOVATEC en treedt op als turnkey leverancier van de NOVAREC centrales.

De spiegels worden geheel automatisch vervaardigd uit plaatstaal en glazen spiegels, gebruikmakend van een robot uit de automobiellindustrie. Het schoonmaken van de spiegels gaat met een robot en het waterverbruik is gering. Hierdoor kan er vaak (om de 3 dagen) worden schoongemaakt. Er is een 30 MW centrale in aanbouw in de buurt van Murcia (Spanje), de PE2. De centrale is voor 85% in eigendom van Zwitserse (stedelijke) elektriciteitsmaatschappijen. DSG (Direct steam generation) met oververhitting van de stoom tot 500 C. Luchtcooling, dus geen waterverbruik voor de cooling. De solar multiple SM = 1,4 en het warmte → elektriciteitsrendement is 38%. De LCE is 15 €/kWh. De optische efficiency is 67%, na verbeteringen wordt dit 74%, waarna de LCE daalt tot 14 €/kWh. Na verdere opschaling van de productie wordt LCE = 13.5 €/kWh.

Eli Lipman (SIEMENS) *Turning CSP into the Mainstream Trough Innovation*

De concurrentie met PV dwingt de CSP-sector om de komende 3 jaar de volgende kostendalingen te realiseren:

- Powerblock (turbine + generator): 25%
- Spiegelveld: 30%
- de HTF (hittebestendige olie): 25%
- civiele werkzaamheden: 15%
- De EPC werkzaamheden: 5%.

Het doel moet zijn om in 3-5 jaar een LCE te bereiken van 12 €/kWh = 16 \$/kWh.
Dat lukt als de CAPEX 25% daalt en de energieopbrengst (per m² spiegel) 15% stijgt.

Nikolaus Benz (Schott receivers) Innovations@Schott – *contributions to a competitive Parabolic Trough technology*

Warmteopslag in combinatie met DSG is duurder dan in combinatie met HTF. Verbeteringen: toepassing van gesmolten zout als HTF (nadeel: risico van bevrozing). Spectraal-selectieve coatings op de receiverbuizen die tegen hogere temperaturen kunnen. Een verticale spiegel bij de koppelingen tussen de receiversecties geeft 1% verbetering.

Woensdag 21 september 2011

Plenaire Sessie: Power on demand

Rainer Aringhoff (BIGSOLAR STRATEGIC COLSULTING) *Intro: Spanish CSP capacity as balancing power for Germany's phasing-out nuclear.*

In de EU moet in 2020 20% van alle energie duurzaam zijn opgewekt, en 34% van alle elektriciteit duurzaam zijn. Door de versnelde sluiting van kerncentrales in Duitsland heeft Duitsland een groot probleem. Voorstel: we lossen dit op door 4 CSP centrales van ieder 250 MW te bouwen in Spanje en de stroom naar Duitsland te transporteren. Oftewel: begin met DESERTEC in Spanje.

Cedric Philibert (IEA) *IEA perspectives on solar energy*

In Californië is de piek in het stroomverbruik midden overdag. Dit past goed bij zonne-energie zonder energieopslag zoals PV. In de andere staten van de USA is de verbruikspiek laat in de middag en begin van de avond. CSP met enkele uren opslagcapaciteit is dan de beste leverancier van duurzame elektriciteit. In de meeste andere landen is de verbruikspiek later in de avond wegens de behoefte van verlichting. CSP met grotere opslagcapaciteit is dan het beste.

Puntfocus systemen zoals zonnetorens en zonneshotels (dishes) kunnen met hogere temperaturen werken dan lijnfocussystemen zoals trogspiegels en Fresnelspiegels en zijn daarom in principe beter omdat door de hogere temperatuur een hoger rendement kan worden bereikt (door de wet van Carnot). CSP met opslag kan de variabele productie van PV (en wind) goed compenseren, CSP en PV vullen elkaar aan.

Francisco González Hierro (COBRA ENERGIA) *Andasol storage operation experience*

Er is nu ervaring opgebouwd met de werkende 50 MW centrales met 7,5 uur warmteopslagcapaciteit Andasol 1 + 2 en Extrasol 1. Als opslagmedium wordt gebruikt een mengsel van 60% NaNO₃ en 40% KNO₃. Iedere centrale heeft 2 opslagtanks, voor warm vloeibaar zout (ongeveer 400 C) en voor "koud" vloeibaar zout, ongeveer 300 C. De tanks hebben een diameter van 38 meter en hoogte van 14 m en kunnen 28000 ton zout bevatten. Het is in de vergunning toegestaan om maximaal 15% (op jaarbasis) van de elektriciteit te betrekken uit de verbranding van gas. De belangrijkste functie van het gas is om te voorkomen dat het zout bevriest, want dit leidt tot grote schade aan het systeem. Verder wordt het gas gebruikt om 's winters bij bewolkt weer te kunnen leveren. In de maanden december en januari is de productie van pure zonne-energie ongeveer 25% van die in de maanden juni en juli. Door aanloopproblemen is de werkelijke stroomproductie in het eerste jaar 30% lager geweest dan gepland.

José Luis Fernández González (REE) *REE transport capacity planning*

De stroomtransportcapaciteit tussen Spanje en Frankrijk is nu ongeveer 1 GW. In 2014 komt er 2 GW aan HVDC bij. Voor 2020 is gepland 4-5 GW, voor een belangrijk deel in de vorm van onderzeekabels. Naar het voorbeeld van de NorNed kabel tussen Nederland en Noorwegen (700 km) is een 900 km lange kabel tussen Spanje en Engeland gepland. Er moet in Europa een supergrid komen met hoofdcorridors van ieder 2 tot 10 GW, waarbij de capaciteit tussen Spanje en Frankrijk 8 tot 40 GW wordt. Hiermee kan Spanje grote hoeveelheden zonnestroom uitvoeren naar centraal-Europa.

Kan CSP de problemen (van het steeds meer varieërende aanbod van wind en PV) oplossen?

Antwoord: ja, mits de betrouwbaarheid van de CSP-opslagcentrales verbeterd wordt. De wisselende vraag moet binnen 15 minuten gevolgd kunnen worden. Door het wisselende aanbod van PV en wind is behoefte aan load-matching technologie; base-load is eigenlijk al achterhaald: er is een technologie nodig die ondanks de schommelingen van PV en wind toch een stabiele basis kan maken van alle duurzame bronnen. CSP kan daar de oplossing voor zijn. In de zomer lukt dit goed, maar in de winter maar voor slechts 30%. De oplossing van dit winterprobleem:

- bijstoken met gas (niet erg duurzaam)
- seizoensopslag (*dit zou kunnen met zwavel, zie bijdrage van Wong later vandaag*)

In Spanje worden alle centrales >10 MW centraal aangestuurd, dus ook de grotere windparken en vrijwel alle CSP-centrales.

Mark Mehos (NREL) *Value of storage: A US analysis*

De elektriciteitsprijs schommelt heftig, bijna van minuut tot minuut. Dit wordt sterker naarmate de penetratie van onbetrouwbare en slecht voorspelbare bronnen als wind en PV toeneemt. Elektriciteit die op afroep beschikbaar is, zoals CCG centrales (combined-cycle gascentrales), heeft daarom een grotere economische waarde per geleverde kiloWattuur dan andere elektriciteit. In de USA is deze waardeverhoging 1,6 tot 4 \$ct/kWh. De integratiekosten van het gehele systeem gaan omhoog als de PV-penetratie >10% wordt.

Volgend Philibert krijgen de STEG centrales in Californië (de in de jaren '80 gebouwde CSP-centrales) soms 30 \$ct/kWh, omdat ze kunnen leveren tijdens de grootste piek in de stroomvraag.

Parallele Sessie: Emerging Concepts (1)

woensdag 11-13 uur.

Travis Coleman (vervangt Robin Bedilion) (EPRI) *Solar augment potential of U.S. Fossil-Fired Power Plants*

Inventarisatie van fossiele centrales in 16 zuidelijke staten van de USA voor hun geschiktheid om uit te breiden met een spiegelveld. In zo'n spiegelveld is het rendement in de omzetting van zonnestralingsenergie naar elektriciteit hoger dan in een stand-alone CSP-centrale. Gekeken is naar bestaande en geplande kolencentrales in gebieden die redelijk, goed, en zeer goed zouden zijn om CSP bij te voegen. Alleen in de VS is de potentiële augment-capaciteit al 20 GW. De kosten van de CSP stroom worden op deze manier met 30% verlaagd, omdat essentiële onderdelen (als turbine e.d.) al voor de kolencentrale gebouwd zijn.

Abraham Kribus (Tel Aviv) *Water consumption of the solar STIG cycle*

Stoom van 200 °C en 20 bar (opgewekt met spiegels) injecteren in de gasturbine van een CCG centrale. De solar fraction kan bijna 50% worden. Het zon → stroomrendement is 20%, wat relatief gunstig is. Het watergebruik is gering, want je condenseert ook de waterdamp uit de verbrandingsgassen van het gas (zoals in een HR-ketel). Het grootste probleem is het maken van een gasturbine die veel stoom kan verwerken.

Parallele Sessie: Central Receiver System (1)

woensdag 11-13 uur

William Bender *Suspension Heliostat Material Efficiency*

Heliostaten bestaan uit spiegels die ondersteund worden door een dragende staalconstructie. Staal vormt 63% van de heliostaatkosten. Bender stelt voor om de dragende “brug” te vervangen door een “hangbrug” bestaande uit een centrale paal met tuidraden. De paal en de draden onderscheppen 1% van het licht, maar de voordelen overwegen, want er is veel minder staal nodig.

Denis Bonnelle *Rotating a Heliostats Field Around a Tower to Track the Sun*

Rondom de toren lopen cirkelvormige rails waarom de heliostaten op wielen rijden. De heliostaten draaien om slechts 1 as en hebben nu minder last van elkaars schaduw. De spiegels staan nu gemiddeld gunstiger t.o.v. de zon waardoor er minder cosinusverliezen zijn. De receiver roteert niet mee, maar secundaire spiegels achter de receiver wel.

Parallele Sessie: Optical Characterization (1)

Woensdag 14:30 – 16:30 uur

Cheryl Kennedy (NREL) *The Performance and Durability of Glass Mirrors for Concentrating Solar Power*

Een spiegel bestaat uit de volgende lagen:

glas: 1 tot 4 mm

Zilver: 80 tot 100 nm

Koper: wordt tegenwoordig weggelaten

Verf met 2.5% lood

Verf met 1% lood

Beschermlaag.

(In een gesprek met haar op vrijdag vertelt Cheryl mij dat het weggelaten van de koperlaag een achteruitgang van de levensduur van de spiegels betekent, dus het tegendeel van een verbetering is)

De tegenwoordige kosten van parabolische trogspiegels (waarschijnlijk inclusief de ophanging) zijn 300 \$/m². Dun glas wordt geleverd door AGC en Flabeg. Glas moet vrij vers gemaakt zijn, want chemisch aangebracht zilver hecht niet aan een glasoppervlak dat ouder is dan een half jaar.

Parallele Sessie Thermal Energy Storage (1)

Woensdag 17:30 – 20:00 uur.

Doerte Laing (DLR) *Test and Evaluation of a Thermal Energy Storage System for Direct Steam Generation*

Toepassing van NaNO₃ als phase-change materiaal, de smelttemperatuur is 306 °C. De lage warmtegeleiding van het zout in de vaste fase wordt gecompenseerd door aluminium vinnen. Dit legt wel druk en temperatuur van de stoom tijdens het verdampen vast. Beton is te duur om te kunnen

benutten voor het oververhitten van de stoom. Maar gesmolten zout (Na/KNO₃) is wel betaalbaar voor dit doel.

Michael Epstein *Coupling Solar Tower System and Molten Salt Storage for the Generation of Electricity Using the Beam Down Optics.*

Bij een zonnetoren met beam-down optica is in de top van toren de receiver vervangen door een secundaire spiegel die het licht afkomstig van de heliostaten kaatst naar een receiver op de begane grond. De zouttank wordt rechtstreeks bestraald via een holte in het zoutvat.

Nils Gathmann, *Analysis of Novel Thermal Energy Storage System Design with 3 Tanks.*

Bij gebruik van 3 of 4 tanks i.p.v. het gebruikelijkie 2-tank systeem (1 voor het hete zout, 1 voor het "koude" zout kan er relatief met minder tankcapaciteit volstaan worden, sommige tanks worden afwisselend voor heet of koud vloeibaar zout gebruikt. Er zijn wel meer pompen en pijpen nodig.

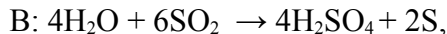
Bunsen Wong (General Atomics) *Sulfur Based Thermochemical Energy Storage for Concentrated Solar Power.*

In een central receiver (zonnetoren) zonnewarmte benutten voor de chemische reactie:



reactie loopt bij 600 – 1000 °C, reactie-enthalpie $\Delta H = 560$ kJ/mol

Een deel van de warmte komt direct terug in de reactie



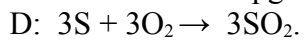
de reactie loopt bij 50 – 200 °C en levert warmte met $\Delta H = -260$ kJ/mol.

De netto reactie in de zomer, wanneer er een overschot aan zonnewarmte is:



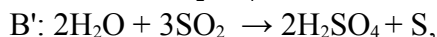
(Eigen opmerking: de in reactie B geleverde warmte heeft wegens de lage temperatuur weinig waarde voor stroomopwekking, maar zou goed gebruikt kunnen worden voor zeewaterontzilting)

De zwavel wordt opgeslagen, en (veel) later, bv. in de winter, verbrand:



de reactie loopt bij 500 – 1200 °C en levert warmte met $\Delta H = -300$ kJ/mol.

Met behulp van reactie B wordt de zwavel in het gasvormige SO₂ voor 2/3 deel omgezet in vloeibare zwavelzuur H₂SO₄ en voor 1/3 deel in vaste zwavel S:



De netto reactie in de winter, wanneer het tekort aan zonnewarmte wordt aangevuld met verbrandingswarmte van zwavel:



Dit is de tegengestelde reactie van die in de zomer.

In een van de reacties wordt jodium als katalysator gebruikt.

Dit schema van chemische reacties maakt gebruik van een zeer goedkope elementen (zwavel) en verbindingen (zwavelzuur) en is daarom in principe geschikt voor de seizoensopslag van energie in de vorm van chemische energie.

Donderdag 22 september 2011

Plenaire Sessie: BEYOND POWER: PROCESS HEAT, FUELS

Donderdag 9-10:30

Werner Platzer. (FRAUNHOFER-ISE) *Solar air conditioning and refrigeration-status and perspectives.*

Het onderwerp betreft warmtepompen die niet worden aangedreven met mechanische (elektrische) energie, maar met warmte. De prestatie wordt gemeten met de COP (Coefficient Of Performance), $COP = \text{geproduceerde koude in kWh} / \text{benodigde energie (kWh thermisch of elektrisch)}$. Bij de gebruikelijke elektrisch aangedreven warmtepompen in airconditioning is $COP=3$, bij enkelvoudige warmte-aangedreven systemen $COP = 0,5 - 0,8$. Dit lage rendement wordt gecompenseerd door het feit dat warmte van vrij lage temperatuur veel goedkoper is dan elektriciteit. Er zijn dubbele systemen die bestaan uit twee enkelvoudige systemen in serie, en zelfs drievoudige systemen.

Dubbele systemen hebben $COP = 1,1 - 1,4$ en drievoudige systemen $CP = 1,6 - 1,8$.

Voorbeelden van enkelvoudige systemen:

Ammonia-water

Lithiumbromide-water

Silicagel-water

Zeoliet-water.

Er bestaan systemen met transport van oppervlakken (desiccant wheels).

Dubbele systemen hebben een hogere temperatuur nodig dan enkelvoudige systemen; dus voor dubbele systemen is concentratie van zonnestraling een noodzaak.

Voorbeelden van producenten: Punk, Invensor, Sortech.

Een probleem is het gebrek aan gekwalificeerd personeel voor de installatie en de bediening.

Kosten: €2000-5000 per kW koude, inclusief het zonne-warmte deel.

De verwachting is in 2012 €3000/kW voor kleine systemen en €1500/kW voor grote systemen. De pay-back tijd is > 7 jaar, wat meestal te lang wordt gevonden.

Er is een IEA-taak gekomen voor koeling, bedrijven en organisaties worden uitgenodigd om hieraan deel te nemen.

Christian Zahler. (INDUSTRIAL SOLAR GmbH, Freiburg) *Solar process heat and polygeneration.*

De voedsel- en papierindustrie heeft grote behoefte aan warmte van 100 tot 400 °C. Er zijn nog maar weinig CSP-projecten die deze warmte leveren. Co-generatie van elektriciteit en warmte is veelbelovend. De volgende bedrijven maken PV/T installaties: Absolicon, Greeninventions,

Een andere toepassing van zonnewarmte is warmtelevering aan MED ontzilting. Hierbij is een GOR van 5 goed haalbaar.

Litteratuur: www.iea-shc.org/task33/ of task44

www.solar-process.org, www.polygeneration.org, www.polygeneration.net

Julián Blanco. (PSA) *Introduction of desalination into CSP plants-feasible configurations and combined efficiencies.*

Bij CSP-aangedreven zeewaterontzilting zijn er twee mogelijkheden:

1. De CSP-centrale aan de kust bouwen (minder dan 5 km vanaf de kust), en de warmte uit de stoomcondensator benutten om in een meerstapsproces zeewater te destilleren, bv. met MED.
2. De CSP-centrale in het binnenland bouwen, en een deel van de elektriciteit benutten in een RO ontziltingsfabriek aan de kust.

Voordelen van 2:

- in het binnenland is de DNI meestal groter.
- In het binnenland is het gemakkelijker om een terrein te vinden

Nadeel: in het binnenland is er vaak geen koelwater, en moet dus duurdere luchtkoeling worden toegepast.

Analyse van optie 1 (CSP+MED) aan de Middellandsezeekust van Egypte: 25% van de kust is geschikt met $DNI > 2300 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$

Bij CSP+MED hebben de pompen en de koeling 2,1 kWh per geproduceerde m^3 water aan elektriciteit nodig.

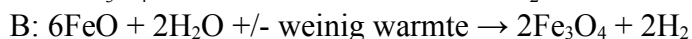
Een 50 MW CSP+MED centrale met 14 uur warmteopslag (*die volgens mij nog nergens is gebouwd, EdMvV*) produceert 35000 m^3 water per dag.

De investering in beide ontziltingsopties bedraagt per ontziltingscapaciteit van 1 m^3 zoet water per dag voor RO €850 en voor MED €1000. Alles bijelkaar is CSP + RO (optie 2) iets gunstiger dan CSP + MED.

Jonathan Scheffe (ETH-Zürich) *Solar thermochemical fuel production.*

Waterstofproductie door ontleding van water met geconcentreerde zonnewarmte, meestal in een zonnetoren. Rechtstreeks water ontleden vergt temperaturen die in principe haalbaar zijn, maar er zijn geen materialen waarmee het reactievat gebouwd kan worden.

Tweestaps proces:



De reacties lopen beter als een deel van de ijzeratomen wordt vervangen door Co, Ni of Zn.

Een andere mogelijkheid is in reactie A zinkoxyde reduceren. Om de recombinitie van de zinkdamp en het geproduceerde zuurstof te voorkomen moet er gequenched worden, wat ten koste van het rendement gaat.

De chemische reactor in de zonnetoren kan ook roterend worden uitgevoerd om de reacties A en B uit te voeren.

Bij gebruikmaking van CeO_2 en het Ce te dopen met Ca, zijn 500 cycles mogelijk (*dat lijkt mij zeer onvoldoende, EdMvV*).

De efficiency van de processen is laag, 1-3%, (*er is in dit vak dus nog een lange weg te gaan*).

Uit de geproduceerde waterstof en CO_2 kan d.m.v. Fischer-Triopf reactie koolwaterstoffen worden gemaakt, dus een vloeibare brandstof, bv. methanol.

In een gesprek achteraf vertelt Jonathan Scheffe aan Pepijn van Kesteren dat Shell een van de voornaamste grote partijen is die deze ontwikkelingen op de voet volgt.

Parallele Sessie: Linear Fresnel (2)

donderdag 11-12 uur

Martin Selig, (NOVATEC) *Commercial CSP Plants Based on Fresnel Collector Technology.*

NOVATEC produceert lineaire Fresnelspiegels in een geautomatiseerde productielijn, gebruikmakend van in de automobiellindustrie ontwikkelde productiemethodes. NOVATEC heeft een 1,5 MW testcentrale in bedrijf in de buurt van Murcia (Spanje). Op dezelfde locatie wordt nu een 30 MW Fresnelspiegelcentrale gebouwd, de naam: Puerto Errado-2. De opstarttijd van de centrale is 30 minuten in de zomer tot 90 minuten in de winter. De optische efficiency (omzetting zonnestraling in warmte) is 67%. De formule om dit te berekenen wordt gegeven. Er wordt DSG (direct steam generation) toegepast met oververhitting van de stoom.

Selig laat het ingewikkelde organisatiediagram zien van de bouw van de 30 MW centrale, waarin alle relevante partijen worden genoemd. Er is eigen vermogen van Zwitserse elektriciteitsmaatschappijen. De RABObank is een van de banken die geld aan dit project lenen.

Bij de vervolgc centrales van NOVATEC gaat het bedrijf ABB als (turnkey) leverancier optreden.

Christian Zahler, (Industrial Solar, vroeger Mirroxx, nog eerder PSE Freiburg) *Fresnel Collectors Powering the Largest Solar Cooling System in the Middle East for a Showcase Football Stadium in Qatar.*

Dubbel-effect absorption koeler met opslag van de overdag opgewekte koude in een PCM (Phase-Change Material) opslagsysteem. De aandrijfwarmte komt uit een veld van lineaire Fresnelspiegels: 1408 m² spiegeloppervlak, het warmtetransport gebeurt met water onder druk (16 bar). Er is warmteopslag 140 ↔ 200 °C in een druktank met 40 m³ water, en koudeopslag bij 15 °C in een tank met PCM van 100 m³.

Het project wordt gebruikt voor de koeling van een voetbalstadium voor de komende wereldkampioenschappen in Qatar.

William Conlon (Areva Solar, vroeger AUSRA, nog eerder Solar Heat and Power) *Superheated Steam from CLFR Solar Steam Generators.*

Levering van oververhitte stoom uit een Fresnelspiegelveld aan een bestaande stoomcentrale bij Kogan Creek in Australië, om kolen te besparen. Er bestaat een internationale ASME-code voor stoominstallaties. Het Fresnelspiegelveld is in korte tijd opgebouwd.

Waqar Bokhari (Pakistan) *Application of Fresnel's Concentrators for Domestic Cooking Using Heat Stored in Therminol 72.*

De hittebestendige olie Therminol 72 wordt in een Fresnelspiegelveld verwarmd en in de keuken van een hotel benut.

Parallele Sessie: COMMERCIAL PROJECTS IN THE WORLD

12:20 – 13 uur

Juan Ignacio Burgaleta (Torresol Energy) *Gemasolar the First Tower Thermosolar Commercial Plant with Molten Salt Storage System.*

Zie verslag van de excursie op zaterdag.

Olaf Goebel (Masdar) *Shams One 100 MW Parabolic Trough Plant in UAE.*

In de Verenigde Emiraten in Madinat Zayed wordt momenteel de grootste trogcentrale ter wereld gebouwd met 100 MW vermogen, productie 210 GWh per jaar. Het project heet SHAMS-1. 18% van het vermogen komt uit gas. Er wordt droge koeling toegepast (alternatief: koeling met ontzilt zeewater, niet erg zinvol). De DNI van 1925 kWh/m²/jaar is 12 % lager dan de satelliet data en dat heeft het project vertraagd. De oorzaak: stof in de woestijn. De gasgestookte boosterheater wordt gebruikt om de stoom te oververhitten van 380 → 540 °C.

Het eigen vermogen is slechts 20%, wat aangeeft dat de banken veel vertrouwen hebben in dit project. De financial closure vond plaats in maart 2011. Een consortium van Abengoa en Total kreeg het contract.

Om het terrein te egaliseren moet 3 miljoen ton zand verplaatst worden, wat 4% van het totale budget vergt. Om het terrein komt een windscherm. De turbine wordt geleverd door MAN. Er wordt luchtkoeling toegepast met $\Delta t = 10$ K.

Frank Dinter *Solar-thermal Power Plant Andasol-3 From an Investor's Point of View.*

In Spanje is nu 1000 MW aan CSP-centrales in bedrijf.

De Andasol-3 centrale wordt gebouwd door Marquesado Solar, een consortium van Duitse bedrijven waarin o.a. deelnemen RWE, Ferrostaal, Solarmillennium. De EPC-contractor is UTE. Het terrein van de Andasol centrales ligt 1100 meter boven de zeespiegel met DNI = 2136 kWh/m²/jaar.

Het totale spiegeloppervlak van de 49,9 MW centrale is 474040 m². Er is warmteopslag met vloeibaar zout met een capaciteit van 7,5 uur vol vermogen. De gemiddelde productie wordt 200 GWh/jaar. De verwachte levensduur van de centrale is 40 jaar.

Aan de uiteinden van de trogspiegels hebben de reivers veerbalgen i.p.v. ball joints wat een flinke verbetering is.

De door MAN geleverde turbine heeft een rendement van meer dan 40%.

Vrijdag 23 september 2011

Plenaire Sessie: REGULATORY AFFAIRS

vrijdag 9 – 10:30

Carlos Montoya (IDEA-MITyC) *Current situation and prospectives in Spain.*

CSP wordt in Spanje gestimuleerd met feed-in tarieven en feed-in premies, geregeld in de volgende opeenvolgende Koninklijke Besluiten of wetten:

in 2004 RD 436, in 2007 RD 661 en in 2009 ACT 6.

De eerste CSP centrale in Spanje, de PS10 zonnetooren bij Sevilla, krijgt 22 cent/kWh volgens het tarief van RD 436.

Onder RD 661 is 2471 MW goedgekeurd.

Eind 2011 zal er 1378 MW aan CSP in Spanje in bedrijf zijn.

Het huidige feed-in tarief voor CSP is 29 eurocent/kh.

Men kan ook kiezen voor verkoop op de vrije markt en krijgt dan een premie van 27 cent/kWh.

Volgens de planning is er in 2020 4,8 GW aan CSP in Spanje waarmee dankzij de warmteopslag meer kWh/jaar worden geproduceerd dan met de PV in Spanje.

María Sánchez Llorente. (RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA) *CSP plants dispatchability.*

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA beheert de hoogspanningsleidingen in Spanje. Er zijn weinig hoogspanningsverbindingen met Europa.

Grootschalige opwekking die de vraag gemakkelijk kan volgen: CCG, waterkracht en CSP+opslag.

In Spanje zijn alle centrales >10 MW aangesloten op een centrale regelkamer. CSP werkt stabiliserend omdat het synchroon is met het 50 Hz net en conventioneel is (stoomturbines), dus CSP wordt verwelkomd door de netregelaars. In Spanje is nu 350 MW aan CSP aanstuurbaar (wegens de opslag).

Een centrale moet aan bepaalde eisen voldoen om extra betaling te krijgen voor het feit dat de stroom op afroep beschikbaar is, de huidige CSP+opslagcentrales voldoen nog niet aan die eisen.

Cedric Philibert (IEA) *Optimizing CSP deployment conditions.*

Er komt nog dit jaar een nieuw rapport van het IEA: Deploying Renewables. Op de S-curve van de economische ontwikkeling van een nieuwe technologie ligt CSP net als wind-op-zee in de take-off positie. Er zijn bij CSP drie knelpunten: de matige groei, de moeizame financiering en de te geringe ondersteuning uit de maatschappij (public support).

Kleine (0,1 – 10 MW) projecten in ontwikkelingslanden hebben grote waarde wanneer zij dieselagregaten kunnen ontlasten of vervangen. De CSP-sector hoeft niet te concurreren met PV op kosten.

In Californië is de stroom midden overdag een factor 3 meer waard dan gemiddeld. CSP kan dus de olie besparen die wordt gebruikt voor de pieklevering midden overdag.

De leercurve voor CSP gaat het snelst als spiegelvelden worden gekoppeld aan bestaande fossiele centrales. Ook toevoeging van 1-as systemen (trggen, lineaire Fresnel) aan de duurdere heliostaatspiegelvelden maakt het systeem goedkoper.

Parallel Sessie PARABOLIC TROUGH COLLECTOR (4)

Vrijdag 11:00 - 13:00

Craig Turchi *Gas Turbine / Solar Parabolic Trough Hybrid Designs using Molten Salt Heat Transfer Fluid.*

Gas bijstoken in een trogcentrale in een gasturbine met generator, de afvalwarmte wordt benut om de stoom te oververhitten. Veel voordelen:

- efficiënt gebruik van het gas
- het spiegeloppervlak kan verkleind worden van een solar multiple SM 1,4 naar 1,1, dus
- goedkoper

De solar fraction blijft vrij hoog: 57%.

De solar → elektriciteit efficiency gaat van 14,5% → 16,1%.

Alternatief in geval van CSP + opslag in gesmolten zout: de afvalwarmte van de gasturbine wordt benut om zout op te warmen. De solar fraction is dan 42% en de SM daalt van 2,0 naar 1,5.

Plenaire Sessie: TRENDS IN CSP TECHNOLOGY, rapportage van belangwekkend nieuws op de SolarPACES 2011 conferentie.

Vrijdag 14:30 - 16:00

Eduardo Zarza (CIEMAT)

Trends in line focus systems.

Nieuwe warmtetransportvloeistoffen: zouten van Li, Na, K, Ca met NO₃, NO₂, Cl en CO₂ onder hoge (70 bar) druk.

Bij warmteopslag hangt de LCE erg af van de gekozen aanpak.

Bij de trogspiegels werd een 7,5 meter brede trog met verspringing (soort van Fresnel) gemeld.

De Trough Trough is een self-supporting trog met een sandwich constructie.

Bij receivers werd een oplossing gegeven voor het verzadigd raken van de waterstofgetter, nl. de toevoeging van een container met xenon gas die van buiten te openen is.

Flexibele verbindingen voor het transportmedium werken nu bij 120 bar en 500 °C.

Onderzoek is nodig voor de volgende onderwerpen:

- zoutmengsels die bestand zijn tegen temperaturen boven 600 °C en die stollen bij temperaturen lager dan 75 °C.
- Direct Steam Generation DSG.
- Koeling met zo laag mogelijk waterverbruik

Bij Fresnelspiegels is de oververhitting van de stoom geslaagd. Er zijn innovatieve ontwerpen van NOVATEC en AREVA

Doerte Laing (DLR) *Trends in thermal storage systems.*

Materialen die gebruikt worden: vloeibaar zout, zand, rondgepompt zand, Phase Change Materials, vloeibaar natrium of kalium.

Ook thermo-chemische opslag zoals productie en verbranding van zwavel.

Er is over dit onderwerp meer research en development nodig.

Chris Gueymard (SOLAR CONSULTING SERVICE) *Trends in solar resource assessment.*

De werkelijke DNI kan tot 15% afwijken van de modellen op basis van satelietdata. Buiten de bekende gebieden zijn zelfs afwijkingen van 40% mogelijk. Gedurende de laatste decennia is op alle continenten behalve Azië de atmosfeer helderder geworden, dus is de gemiddelde DNI groter geworden. Maar in India en het Arabisch schiereiland neemt door stofvorming de DNI met 10% per decennium af. Een belangrijke fout in de DNI-modellering wordt veroorzaakt door aerosols.

Het DLR beschikt over veel DNI-gegevens die opgevraagd kunnen worden.

Lokale meteorologische instituten beschikken ook over zon-gegevens.

De shadow-band stralingsmeter heeft een correctie nodig voor het zonnespectrum.

Er is nog research nodig over de invloed van aerosols en waterdamp op de DNI.

Marcelino Sánchez (CENER) *Trends in point focus systems.*

Wereldwijd functioneren 2,5 MW aan zonneshotels met Stirlinggeneratoren en 62,5 MW aan zonnetorens.

Warmteopslag is bij een toren goedkoper dan bij trogspiegels omdat er een groter temperatuurtraject Δt mogelijk is. Een nadeel van de zonnetoren zijn de zwaardere eisen aan de materialen wegens de hogere temperaturen.

Innovatieve ontwikkelingen die op de conferentie zijn gerapporteerd:

- Roterende heliostaatspiegels op rails
- Drijvend veld van toren + spiegels
- Radiografische aansturing van heliostaatspiegels
- Nieuwe materialen: legeringen met nikkel, selectieve coatings, absorbers van siliciumcarbide.

De eerste toren met opslag is nu in bedrijf: Gemasolar.

Anton Meier (PSI) *Trends in solar chemistry systems.*

Dit betreft productie van waterstof m.b.v. geconcentreerde zonnearmte:

- met behulp van redoxreacties met metaaloxiden
- met behulp van de hybride zwavel cyclus
- vanuit methaan met extra toevoeging van zonne-energie
- vanuit biomassa met extra toevoeging van zonne-energie

Vanuit de zaal werd voorgesteld om CSP-centrales niet meer te kwalificeren naar hun piekvermogen, maar naar hun jaarproductie: hoeveelheid GWh/jaar. Hiermee komt het voordeel van CSP+opslag t.o.v. wind en PV beter tot uitdrukking.

Slotsessie:

Julián Blanco (voorzitter van SolarPACES)

Op deze conferentie waren 1046 deelnemers uit 44 landen (8 uit Nederland).
Er zijn 212 voordrachten gehouden en 119 posters gepresenteerd.

Uitreiking van de “Technical Achievement Award”.

Voorwaarde voor toekenning: het idee moet werken en het moet gepubliceerd zijn.

De winnaar is dit jaar NOVATEC, zie eerdere presentaties van NOVATEC deze conferentie. De nieuwe 30 MW Fresnelcentrale van NOVATEC komt maart 2012 in bedrijf.

De volgende SolarPACES conferentie zal worden gehouden in september 2012 in Marakesh, Marokko.

Opvallende posters:

Tim Gnädig (Schott Solar) *Shield Reflectors to Enhance Parabolic Trough Receiver Performance.*

De receiver van een parabolische trogspiegel bestaat uit secties van ongeveer 4 meter. De straling die op de koppelingen valt gaat verloren. De poster beschrijft het toepassen van een verticale spiegel bij de koppelingen, zodat een groter deel van de stralen uiteindelijk op de juiste plaats wordt geabsorbeerd en de totale opbrengst hoger wordt. Het effect is een vergroting van de productie met 1%.

Carsten Holze (MachtTechnik AG, Bremen) *Toughtrough – Light-Weight Optimized Parabolic Trough and Heliostat Mirror Systems.*

Sandwich trogspiegels met dunne glazen spiegel. Gewicht van de sandwich: 7,6 kg/m². Het productiesysteem is geautomatiseerd.

Carsten Hoyer (DLR) *Solar Atlas for the Mediterranean.*

DNI en GHI gegevens komen beschikbaar op de website van het DLR.

Ragini Kalapatapu (Masdar Institute of Science and Technology) *Rotating Shadowband for the Measurement of Sunshape.*

Als de cirkelvormige band van een rotating shadowband radiation meter wordt vervangen door een bol met een spleet kan de vorm van de zon gemeten worden (de werkelijke hoekverdeling van de zonnestalen). Deze vorm is van belang van CSP-systemen met een hoge concentratie.

Matthew Orosz (MIT) *A Theoretical and Experimental Approach to Optimized Medium Temperature Hybrid Solar PV-Thermal Collectors using a Small Scale Organic Rankine Cycle.*

Trogspiegels concentreren op dunne-film zonnecellen die door de koelvloeistof op 200°C worden gehouden. Met de warmte wordt een Organic Rankine Cycle turbine bedreven.

De dunne-film cellen hebben een rendement van 6% bij omgevingstemperatuur en 5% bij 200°C. Het is een eigenschap van dunne-film siliciumcellen dat het rendement maar weinig afneemt bij stijgende temperatuur. Leverancier van de cellen: Unisolar en Power Film. Er staat een demo in St.Petersburg, Florida.

Stone *Rotating Disk Solar Concentrator*

Rond gewapend betonnen vlot dat drijft in een vijver waarop een zonnetoren en een spiegelveld staat.

Zaterdag 24 september

Technische excursie naar de zonnetoren van Gemasolar.

We maken een busrit van 2½ uur naar Fuentes de Andalucía ten Westen van Écija, halverwege Sevilla en Córdoba, dichtbij de snelweg A4/E5. De helder verlichte top van de Gemasolar zonnetoren is al van tientallen kilometers afstand te zien, een spectaculair gezicht. Op de terugweg zien we de verlichte toren nog iets ZW vanaf afrit 103 op de snelweg A92 (Sevilla-Almería) bij Estepa, een afstand van 50 km. We krijgen vooraf uitleg door de directeur van Gemasolar, waarna we in 3 groepen naar de centrale worden gereden foto's mogen maken (behalve van sommige delen van de centrale).

Gemasolar is de eerste zonnetoren ter wereld met warmteopslag >½ uur, en de CSP-centrale met de grootste warmteopslagcapaciteit, nl. 15 uur.

Specificaties:

2600 heliostaatspiegels met een gezamenlijk spiegeloppervlak van 300000 m².

Afmetingen van het terrein: cirkelvormig met diameter 1.5 km.

Afmetingen van de spiegels: ongeveer 10.7 x 10.7 meter.

Hoogte toren: 140 m.

Receiver: verhitting van vloeibaar zout (K₂NaNO₃) tijdens het pompen van de “koude” tank naar de hete tank die een temperatuur van 565 °C heeft.

De stoomketel wordt verwarmd door vloeibaar zout dat van de warme tank naar de koude tank wordt gepompt.

Totale massa van het zout: 8700 ton.

Piekvermogen Turbine + generator: 19.9 Mwe

Warmteopslagvermogen: voldoende om de turbine 15 uur op vol vermogen te laten draaien.

Jaarproductie: 190 Gwh/jaar.

Alle contracten waren in januari 2009 gereed waarna met de bouw werd begonnen. De productie is voorjaar 2011 begonnen.

Gemasolar is gebouwd en wordt ge-exploiteerd door Torresol Energy, een joint venture van SENER (60%) en Masdar (40%).



Evert van Voorthuysen tussen de heliostaatspiegels van Gemasolar

