

Verlag van SolarPaces2017 conferentie in Santiago

Door Evert du Marchie van Voorthuysen.

Inhoud

Inleiding	blz.	1
Overzicht van gebruikte afkortingen		2
Opening Session		3
CSP Policy, Marketing and Projects: CSP-beleid		4
Linear Fresnel Systems and Dish/Engine Systems		11
Thermochemical Energy Storage		11
Water Desalination and Detoxification		12
Central Receiver Systems		13
Solar Fuels and Chemical Commodities		14
Andere onderwerpen		17
Plenary: Beyond Power		18
Emerging Concepts		21
Parabolic Trough Systems		23
Thermal Energy Storage		24
Plenary: CSP Technology Innovation		25
Closing Session		27
Gesprekken		28
Impressie van Chili		29

Inleiding:

Van 26 tot 29 september 2017 was ik aanwezig op de SolarPaces 2017 conferentie in Santiago, Chili, zie <http://www.solarpaces-conference.org/home.html>. Er wordt ieder jaar een dergelijke conferentie gehouden met als onderwerp alle aspecten van Concentrating Solar Power, CSP. Die aspecten zijn elektriciteitsopwekking, energieopslag, zowel korte termijn (thermisch) als lange termijn (chemisch), zon-aangedreven chemie, zeewaterontzilting. Dit verslag geeft een redelijk compleet beeld van de stand van zaken van CSP, de superieure vorm van zonne-energie.

Mede op mijn verzoek was er op deze conferentie meer aandacht voor beleidszaken dan op de vorige SolarPaces conferenties. Dat is nodig, want het is nog lang niet zeker dat CSP een toonaangevende technologie zal worden in de duurzame toekomst die we allemaal graag willen. De problematiek is het beste onder woorden gebracht in de bijdrage "Policies to Keep and Expand the Option of Concentrating Solar Power for Dispatchable Renewable Electricity" door Johan Lilliestam, zie blz. 7 van dit verslag.

Ik heb vrijwel alle plenaire sessies bijgewoond, en uiteraard slechts een deel van de

parallele sessies.

Vanaf 2006 heb ik aan alle conferenties deelgenomen, en van de meeste conferenties heb ik een verslag gemaakt en gepubliceerd op www.gezen.nl. Teksten van de meeste presentaties, abstracts en artikelen van SolarPaces2018 zijn op aanvraag bij mij verkrijgbaar, mail naar voorthuysen@gezen.nl.

Overzicht van gebruikte afkortingen:

Capacity Factor	Daadwerkelijk aantal uren geleverd vol vermogen per dag / 24.
CCS	Carbon Capture & Storage, vangst en ondergrondse opslag van CO ₂ .
CSP	Concentrating Solar Power: de algemene naam voor zonnespiegelcentrales, ook wel zonthermische krachtcentrales genoemd.
DE	Duurzame elektriciteit
Dispatchability	Leveringszekerheid. PV en wind beschikken niet over leveringszekerheid van de stroom die ze leveren, een waterkrachtcentrale en een CSP-centrale met warmteopslag wel.
DNI	Direct Normal Irradiation, de zoninstraling op een vlak waarvan de loodlijn (normaalvector) naar de zon is gericht, in kWh per m ² per jaar.
DOE	Department of Energy in de USA.
DSP	Dispatchable Solar Power: zonnestroom dat op ieder gewenst moment geleverd kan worden.
EPC	Engineering, Procurement and Construction, de belangrijkste activiteiten in de bouw van een centrale.
ESTELA	De Europese brancheorganisatie voor CSP.
HDH-ontzilting	Zeewaterontzilting met een circuit van afwisselend vochtige en droge lucht.
KFW	De Duitse bank voor investeringen in ontwikkelingslanden.
LCOE	Levelised Cost Of Electricity: de kosten per geleverde kilowattuur, rekening houdend met zowel alle kapitaalskosten als alle exploitatiekosten.
ORC	Organic Rankine Cycle, de stoomcyclus, maar niet met water/stoom, maar met een organische vloeistof met lager kookpunt.
PCM	Phase Change Material: een stof (meestal een zout, soms een metaal) waarin warmte wordt opgelagen door smelten en stollen, dit heet latente warmte. Bij warmteopslag door opwarmen en afkoelen spreekt men van sensible warmte.
RO-ontzilting	Zeewaterontzilting met omgekeerde osmose (Reverse Osmosis)
Solar Multiple	verhouding tussen het elektrisch vermogen dat een spiegelveld kan leveren zonder warmteopslag en het vermogen van de opgestelde turbines. Een centrale met Solar Multiple > 1 heeft warmteopslag.
STE	Solar Thermal Electricity, een andere naam voor CSP.

Opening.

Er is een openingsvideo van de president van Chili, Michelle Bachelet, in het Spaans maar Engels ondertiteld.

Luis Crespo

Voorzitter van ESTELA

In Dubai is een PPA gesloten voor een CSP-centrale met zeer lage stroomleverkosten: 7 \$cent per kWh

In Spanje staan al zoveel CSP-centrales dat onder gunstige omstandigheden 10% van alle Spaanse elektriciteit afkomstig is van CSP.

CSP wordt nu ook omarmd door de grote Europese energiemaatschappijen wegens de steeds lagere kosten.

De kosten worden vooral lokaal gemaakt, wat goed is voor de lokale economie. Bij wind en PV is dit in veel minder het geval.

Tijdens de vorige SolarPaces conferentie (Abu Dhabi, 2016) waren de CSP-kosten nog een groot probleem, maar nu niet meer. De beleidsmakers zullen zich dat gaan realiseren. CSP kan ook aan de industrie leveren: stoom, en warmte van hoge temperatuur.

Manuel Blanco

Aftredend voorzitter van SolarPaces

CSP is veelzijdig en levert:

- energie voor verwarmen en koelen
- hoge temperatuur warmte
- electriciteit, soms in combinatie met fossiele stroomopwekking in een hybride centrale
- zonnebrandstoffen en andere chemische stoffen

Bij CSP-projecten wordt een grote fractie van de kosten lokaal gemaakt, wat gunstig is voor de economie.

Er staat nu wereldwijd 5 GW aan CSP-capaciteit, in 2020 wordt 10 GW verwacht.

Egypte en Tunesië zijn nog steeds geen lid van SolarPaces, de meeste andere zonnige landen en industrielanden wel (maar Nederland niet, de Nederlandse duurzame-energie sector denkt nog steeds erg bekrompen-nationalistisch, en dat terwijl Nederland vanwege de ruimteproblemen nooit voldoende wind en PV zal kunnen installeren om volledig aan de eigen energievraag te kunnen voldoen).

SolarPaces is verdeeld in een aantal taken (zg.Tasks). Er is een Task voor water. SolarPaces heeft een document: Roadmap to Solar Fuels

CSP Policy, Marketing and Projects: CSP-beleid.

CSP Policy in Morocco

Abderrahim Jamrani
MASEN, Marokko

In Marokko groeit het energieverbruik met 6% per jaar.

In 2020 zal 42% van de elektriciteit duurzaam zijn, maar daarna stijgt het aandeel duurzame stroom vrij traag, tot ongeveer 50% in 2030. Ik stel hier een vraag over, het antwoord is, dat in absolute termen de DE in Marokko zal verdubbelen, maar de fossiele opwekking zal ook blijven groeien, vanwege de sterk groeiende economie en bevolking. MASEN is in 2010 opgericht. Het is een zelfstandig bedrijf, eigendom van de staat en van fondsen.

MASEN produceert zelf hernieuwbare elektriciteit, doet onderzoek, en stimuleert lokale duurzame ontwikkeling.

Alle duurzame technieken worden aangepakt.

Overzicht van de zonnecentrales in Marokko:

NOOR1 160 MW trogspiegels, 3 uur opslagcapaciteit , in bedrijf
NOOR 2 200 MW trogspiegels, >7 uur, in aanbouw
NOOR 3 150 MW zonnetoren, >7 uur , in aanbouw
NOOR 4 170 MW PV

In Midelt is de DNI 2400 kwh/jaar/m².

Er komen twee hybride CSP-PV centrales met 5 uur opslagcapaciteit. Het CSP-aandeel wordt 150-190 MW per centrale.

In Marokko wordt ook veel windenergie geïnstalleerd, ongeveer evenveel als in zonne-energie.

Views from Industry

Michael Geyer
Abengoa

Abengoa heeft een herstructurering ondergaan.

We gaan door met CSP, als contractor en als operator.

Van de Atacama 1 centrale in Chili is de financiering bijna rond.

CSP heeft een lange geschiedenis, met een militair begin, de spiegels waarmee

Archimedes de Romeinse oorlogsschepen in brand heeft gestoken.

Daarna de parabolische troggen waarmee in 1912 in Egypte kolen werden bespaard.

De CSP-centrales die in de jaren 80 in Californie zijn gebouwd zijn gefinancierd door "avoided costs" en een 80% afnamegarantie.

In de USA is (of was er) een investment tax credit. In feite neemt de overheid risico over van de banken.

Daarna kwam het feed-in systeem in Europa, het eerst in Duitsland. Later kwam er een

EU richtlijn om in ieder land feed-in tarieven in te voeren.

De stroomafnamezekerheid die het feed-in systeem biedt aan de exploitanten van duurzame energieopwekking versterkte de business case van de exploitanten waardoor hen lagere rentetarieven werden berekend door de banken.

In Spanje werd met een CSP-standaardomvang gewerkt, 50 MW, vrij klein, maar het grote aantal projecten was goed voor het ontwikkelen van een markt met concurrentie. Er zijn 10-12 bouwers, daar profiteert de wereld nu van. Op deze manier ontstonden er geen monopolies.

Na de beëindiging van de CSP-boom in Spanje werd er overgegaan naar tenderen. In Zuid-Afrika werd wel weer een feed-in systeem voor CSP ingesteld.

PV is een gamechanger geworden in de grootschalige zonne-energie, met een 50% prijsdaling in 16 maanden, resulterend in 0.0299 \$/kWh voor een grote PV-centrale in Dubai. Deze ontwikkeling zette de CSP gemeenschap onder grote druk. Maar hoe meer PV op het net is aangesloten, hoe meer CSP er nodig wordt om stabiliteit te leveren op een duurzame manier (dus ter vervanging van de gascentrales die anders voor de netstabiliteit moeten zorgen).

De volgende gamechanger is de "California Duck". Als je een grafiek maakt van het elektriciteitsverbruik gedurende de dag in een warm, zonnig gebied zoals Californië, zie je de vorm van een naar rechts kijkende eend, met een vrij hoge staart in de ochtend, een lage rug, en een hoge kop aan het eind van de middag en de avond. De PV levert de meeste stroom in de middag, en kan de rug snel vullen. CSP met warmteopslag kan dan de kop van de eend voor zijn rekening nemen, en eventueel een stuk van de staart de volgende ochtend. Op deze manier kunnen PV en CSP elkaar perfect aanvullen. Niet alleen PV, maar ook CSP is bezig met een onverwacht snelle kostendaling. Volgens de PPA's afgelopen jaar kost bv. in Dubai PV 3 \$cent/kWh en CSP 7 \$cent/kWh. Dat is de win-win situatie van Dubai. Lange-termijn PPA's zijn hierbij noodzakelijk om de hoge kapitaalslasten aan het begin te kunnen dragen.

De CSP-technologie kan nog verbeterd worden, en dit moet gebeuren. Dit schept risico's, en er blijft overheidssteun nodig om die risico's te dragen. Er blijven ook lange-termijn PPA's nodig.

Views from Industry, over Chili.

Bill Gould

Solar Reserve

De Atacamawoestijn heeft de hoogste DNI ter wereld.

Er is daar een goede infrastructuur aanwezig.

De elektriciteit wordt verhandeld in blokken van 24 uur.

Solar Reserve heeft 1000 MW aan CSP-centrales die al zijn goedgekeurd, en die in gevorderde staat van ontwikkeling zijn. Het worden torens met 13 uur opslagcapaciteit.

De PPA's hebben een looptijd van 15 tot 20 jaar.

Er bestaan geen subsidies en feed-in tarieven in Chili, en er zijn geen vooruitzichten hierop.

Hernieuwbare energie in Chili

Marcell Mena Carrasco ,
minister van milieu van Chili

Er wordt in Chili geprotesteerd tegen waterkracht en kolen.

2014 was het begin van een energierevolutie.

2025 60% hernieuwbare energie (waarschijnlijk bedoelt hij alleen elektriciteit), 2050 >90%

Er zijn of komen emissie-standaarden voor fossiele opwekking en belastingen op CO₂-uitstoot.

Er bestaat een club van landen met de naam "Carbon Pricing Leadership Coalition" waarin Chili een belangrijke rol speelt. Er nu al in 40 landen de een of ander vorm van beprijzing van CO₂.

In 2016 was de kostprijs voor wind 47.6\$ /MWh.

De prijs van zonne-energie in Chili is de helft van de kosten van kolenstroom.

Er worden geen nieuwe kolencentrales in Chili gebouwd.

All Gore heeft Chili geprezen voor al deze ontwikkelingen.

Het "Solar Mining Initiative" levert een nieuw product: Green Copper.

The Potential Contribution of STE in the Mexican Intended National Determined Contributions (INDC) in the Light of the Paris Agreement

Irene Rodríguez,
CIEMAT

De DNI in Mexico is 2500 kWh/m²jaar.

MRIO is een Multiregional input output analyse.

Het netto effect wordt berekend van de vervanging van gasgestookte combined cycle centrales door 300 MW CSP met 5 uur warmteopslag. Het effect is een totale, cumulatieve uitstootreductie van 5.8 Mton CO₂ in de jaren tot 2030.

Potential Contribution of Concentrated Solar Power in Meeting the Sustainable Development Goals (SDGs): Theoretical Framework and Case Study Application

Natalia Caldés Gómez,
CIEMAT

Hoe groot is de bijdrage van CSP aan de 17 ontwikkelingsdoelstellingen van de Verenigde Naties?

FISA = Framework for Integrated Sustainability Assessment.

Er is een positieve bijdrage van CSP aan het bereiken van een aantal doelstellingen, in detail vermeld in het artikel.

Future CSP in South Africa – a Review of Generation Mix Models, Their Assumptions, Methods, Results and Implications

Frank Duvenhage,
Stellenbosch University

In Zuid-Afrika was er in 2007/2008 een power crisis.
Er is diversificatie nodig.
Er wordt een groot aantal energiescenario's voor ZA gegeven.

Policies to Keep and Expand the Option of Concentrating Solar Power for Dispatchable Renewable Electricity

Johan Lilliestam,
ETH Zürich

Wat moeten we op de korte termijn doen?
Vorig jaar was de competitie tussen PV en CSP hard.
Nu is er een oneerlijke situatie ten gunste van PV.

Er wordt nu in 7 landen in CSP geïnvesteerd (PV in 160 landen). Toch is het al beter dan eerder. De kosten gaan de goede kant uit en dalen flink.

De aantallen centrales die er jaarlijks bijkomen en het aantal ontwikkelingsbedrijven is laag, slechts 4 stuks. Deze aantallen, en het aantal fabrikanten zijn gedaald. Er is een dunne markt. De industriebasis moet groter worden.

Beleidseisen:

Er moet een pijlprijs aan opdrachten zijn per bedrijf.

Beloon de dispatchability (dat is de leveringszekerheid, onafhankelijk van het weer), en beloon R&D.

Nog maar kort geleden was de goedkoopste CSP 12 cent/kWh, met 5 GW aan centrales wereldwijd.

Toen de goedkoopste PV 12 cent was, stond er al 75 GW aan zonnepanelen, 15 keer zo veel. In feite is het perspectief op snelle verdere kostendaling van CSP goed, mits er in een voldoende mate gebouwd wordt. Anders dreigt CSP alsnog ten onder te gaan, wat de kansen op een werkelijke CO₂-vrije energievoorziening aanzienlijk doet verminderen.

Er zijn twee risico's die de CSP bedreigen. Ten eerste, het probleem is, dat de penetratie van PV en wind in de landen waar CSP-centrales nu worden gebouwd laag is. Het maakt dan niet uit of een DE-bron dispatchable is (zoals CSP met opslag) of wispelturig. De fossiele centrales vangen de variaties van PV en wind met gemak op. Dus waarom dan investeren in relatief dure CSP in plaats van goedkopere PV? En zo dreigen de opdrachten voor CSP te verminderen, fabrikanten te verdwijnen, en tegen de tijd dat CSP keihard nodig is voor de betrouwbaarheid is de sector verdwenen, zoals in feite is gebeurd in de periode 1990 tot 2005. Toen moest de meeste kennis hoe je een CSP-centrale optimaal bedrijft vrijwel helemaal weer worden opgebouwd, met als gevolg dat de eerste Spaanse centrales veel duurdere stroom leveren dan de laatst gebouwde centrales in de jaren 80 in Californië.

Het tweede risico is het trage tempo van innovatie in de vele subsystemen van een centrale. Innovatie betekent extra risico van falen, en dus onderprestatie van de centrale. Investeerders willen dergelijk risico niet lopen.

Het overheidsbeleid moet erop gericht zijn om beide risico's te verzachten.

Het veiligheidsysteem is 1 van de beleidsinstrumenten en wordt veel toegepast. Nu telt alleen de laagste kWh-prijs. Dat moet anders. Dispatchability moet beloond worden, (dat gebeurt

nu nog te weinig). De toegevoegde waarde voor het energiesysteem moet beloond worden. Er moet een programma van voortdurende veilingen komen in ieder (woestijn)land, zodat fabrikanten hun productielijnen kunnen organiseren. Er moet een vorm van risicodeling worden georganiseerd. Maar dan doemt het gevaar op van prijsafspraken tussen de bedrijven, waardoor het voordeel van veilingen verdwijnt. Het andere beleidsinstrument is het feed-in systeem. Hiermee zijn de risicofactoren beter te weerstaan. Met een feed-in systeem kan dispatchability beter beloond worden (tarief afhankelijk stellen van de tijd van de dag).

Om de implementatie van innovatieve systemen te stimuleren is een staatsgarantie voor projecten met nieuwe componenten en systemen nodig.

Er zijn demonstratiecentrales nodig die extra innovatief zijn, niet zozeer in Europa of USA, maar juist in de woestijnlanden waar het merendeel van de wereldwijde CSP wordt uitgerold. Dit vergt een duidelijke overheidspolitiek.

CSP leeft, maar de markt is nog steeds veel te dun.
Het Feed-in stelsel is het beste systeem om de uitrol van CSP te stimuleren.
We moeten de expansie van CSP stimuleren.

CSP Market and Perspective in China

Rui Sun,
Vice President EPPEI

In China:

2016: DE aandeel in primaire energiebronnen: 13,5%

2020: 15%

2030: 20%

2050: 50%

De hoeveelheid verstoekte steenkool blijft constant.

(Commentaar EdMvV: met China tegen die tijd de allergrootste energieverbruiker betekent deze uitspraak dat de wereld het klimaatprobleem niet gaat oplossen met alleen maar de inzet van hernieuwbare energiebronnen. Op zijn minst zal een flink deel van de fossiele 50% moet worden uitgerust met CCS)

Aandeel koolstof-vrije energie in de elektriciteitsproductie (kWh/jaar):

2016: 25%, het meest waterkracht,

2030: 50%, min of meer gelijk verdeeld tussen waterkracht, kernenergie, zon en wind.

De geplande CSP-capaciteit in 2020: 5 GW (even veel als er in 2017 op de hele wereld staat).

De 10 MW toren (Supcon) in Delingha, Qinghai is de eerste Chinese centrale.
Alle bekende CAP-technologieën worden in China toegepast.

De investering is ongeveer 30000 Yang/kW en de LCOE varieert van 1.15 tot 1.25 Yang/kWh, bij volledige afname van alle geproduceerde stroom. (1 Yuan = 0,13 euro)

1,349 GW aan CSP zal voor eind 2018 in bedrijf zijn.

Er is 950000 km² land beschikbaar met DNI > 1700 kWh/m² het grootste deel in Binnen-Mongolië, de Gobi woestijn.

De verwachting is dat in 2020 de CSP-kosten zullen zijn gedaald tot 14000 Yang per kW capaciteit en 0,7 Yang per kWh.

CSP gaat een belangrijke rol on China spelen.

Bijna alle CSP-ontwikkeling wordt in China zelf gedaan .

Het is een indrukwekkend verhaal.

CSP Market and Perspective in Morocco

Rachid Bayed,
MASEN

Het aandeel DE in Marokko:

2008: 26%

2020: 42% = 6 GW

2030: 52%.

MASEN is een bedrijf voor de bouw van alle soorten DE elektriciteit.

Er is een overeenkomst tussen MASEN en de staat voor afname van de stroom.

MASEN heeft ook andere doelstellingen zoals R&D en lokale economische ontwikkeling.

Ouarzazate heeft een hoge DNI: 2420 kWh/m² .

Er is daar 30 km² beschikbaar voor zonne-energie.

MASEN levert diensten: beveiliging (omheining, dam tegen overstromingen), levering van water, verbinding met elektriciteitsnet.

NOOR is een geïntegreerd complex, in voortdurende ontwikkeling, met een interessante architectuur met lokale materialen, en toeristisch interessant.

NOOR 1: 160 MW trog waterkoeling, in bedrijf.

NOOR 2: 200 MW trog in aanbouw, >7 uur opslag. De EPC wordt gedaan door Acwa, Sener en Sepco Power China.

Er wordt luchtkoeling toegepast.

De financiering wordt gedaan door KFW, EU, en vele anderen.

NOOR 3 wordt een 150 MW toren, is in aanbouw, heeft ook droge koeling.

NOOR 4 is een 70 MW PV-veld.

De totale capaciteit is totaal 580 MW

In de planning:

NOOR Midelt CSP + PV

NOOR Boujdour PV

NOOR Laaypune PV

Project Development Experience in Chile: The Cerro Dominador Project

F. Gonzalez,
Cerro Dominador

In aanbouw (door Abengoa):

110 MW toren met 17,5 uur opslagcapaciteit.

De hoogte is 243 meter, met net zo'n ruitvormig gat als de eerste Spaanse toren in Sevilla.

Er zijn 10.600 spiegels van 140 m² en 2 tanks met vloeibaar zout.

Daarnaast een PV-veld van 100 MW.

Vanaf 2006 zijn er in Chili levercontracten voor 15 tot 20 jaar beschikbaar, dus er is een langetermijn planning mogelijk voor de energieproducenten.

Er waren gasleverantieproblemen met Argentinië in 2007.

Vanaf 2008 zijn er problemen met watertekort bij de waterkrachtcentrales.

Het Chileense zonne-energie programma wordt gesteund door KFW en EU. De centrales staan in een vlak woestijngebied. Dichtbij lopen waterpijpleidingen. De afnemers van de stroom zijn de mijnen. Er zijn steden en dorpen in de buurt.

Het ontwerp van de centrales minimaliseert het waterverbruik.

Het terrein ligt 1600 boven de zeespiegel en heeft geen ecologische of toeristische waarde.

De DNI is uitzonderlijk hoog: 3200 kWh/m²/jaar.

De centrales leveren lokale werkverschaffing voor de assemblage van de spiegels.

De lange-termijn financiering is nog niet rond.

Dit is het eerste CSP-project in Latijns Amerika.

Ik stel privé (na afloop) de vraag hoe de koeling geregeld is. Antwoord van Gonzalez: droge koeling, dus luchtkoeling. Ik suggereer om night-sky cooling (stralingskoeling) te gaan doen, hij zal de suggestie doorgeven.

One Year Operation Experience NOOR1

Sergio Relloso,
SENER

De 160 MW NOOR 1 trogcentrale in Ouarzazate, Marokko, heeft 1,3 km² spiegeloppervlak in 400 rijen, 3 uur opslagcapaciteit en wordt met water gekoeld.

De engineering is volledig door SENER gedaan.

SENER doet 35% van de engineering voor CSP op de wereld.

Het interne stroomverbruik is flink gedaald in de laatste maanden, dus nu is de productie boven verwachting.

Het brandstofverbruik (om zonloze periodes op te vangen) is nu op 10% van de totale productie, en is flink gedaald gedurende het huidige jaar.

De warmteopslag maakt het mogelijk om de productie vooral uit te voeren in de vroege

avond na zonsondergang, want dan is de stroomprijs het hoogst.

Prioriteit wordt gegeven aan het laden van de warmteopslag overdag, bij variaties worden opgevangen door de turbine harder of zachter te draaien.

Rodrigo Mancilla Rojas

Executive Director Chilean Solar Committee

Zonne-energie wordt in Chili ontwikkeld voor de kopermijnen en voor de lithium winning in de Atacama woestijn en omgeving.

Er zijn 6 torens gepland, en PV-velden.

Ik stel na afloop privé een vraag over de watervoorziening aan de mijnen in Atacama.

Antwoord: ontzilting aan de kust, en het water met pijpleidingen omhoog pompen naar de mijnen.

C05 Open Data for Concentrating Solar Power: www.csp.guru (poster)

Johan Lilliestam,

ETH Zürich

Beschrijving van een nieuwe, openbare database website van alle CSP-centrales op de wereld die groter zijn dan 10 MW: www.csp.guru

Van iedere centrale (in werking, of in aanbouw) wordt gegeven:

bouwjaar, CSP-technologie, capaciteit (MW), opslagcapaciteit (uur), load factor = capacity factor, investering per MW capaciteit, en de LCOE.

Centrales die nog in de planning zijn hebben een grote onzekerheid, en zijn daarom niet meegenomen in dit overzicht.

Van de centrales die functioneren of in aanbouw zijn staan/komen de goedkoopste (laagste LCOE) in China en India, met stroomprijzen van 6,6 tot 12,8 \$/kWh.

De goedkoopste centrale die reeds in bedrijf is is de SupCon1 toren in China die stroom levert voor 8,9 \$/kWh.

Linear Fresnel Systems and Dish/Engine Systems

Development and Lifecycle Testing of a Low Cost Waterborne Linear Fresnel Reflector (LFR) Collector Assembly for CSP Applications

Greg Mungas,

Hyperlight Energy

Plastic buizen 10 of 20 cm (niet gemeld) met een gedeeltelijk vlakke spiegel drijven op het water van een vijver, roteren gezamenlijk om de stralen te concentreren op de receiver.

Heel goedkoop. De paper beschrijft alle mogelijke onnauwkeurigheden en optische metingen.

A New Type of Giant Dish Concentration System-SUNSAIL System

Xiaobing Liu,

Focusing Solar Science and Technology (Beijing) Co., Ltd

Grootste dish ter wereld, spiegeloppervlak 786 m². Brandpunt op het maaiveld.

Thermochemical Energy Storage

Bij thermo-chemische energieopslag wordt het overschot aan geconcentreerde zonnewarmte overdag benut om een endothermische chemische reactie te laten lopen. Bij de omgekeerde reactie, die dus exothermisch is, komt de warmte weer vrij, met deze reactie wordt na zonsondergang de warmte aan de stoomketel geleverd. Een noodzakelijke voorwaarde voor een zinnige toepassing in CSP-centrales is, dat er geen achteruitgang is van het warmteopslagvermogen in de toegepaste chemicaliën, ook niet na duizenden cycli. In de praktijk blijkt dat er wel sprake is van achteruitgang, vaak al na enkele tientallen cycli. Ik heb daarom weinig fiducia in deze technologie.

Encapsulated Nitrates PCM to Improve TES in CSP Plants

Karina Fullenkamp, Universidad Adolfo Ibáñez naar greatroom 1

Holle kogels van ijzer, koper of nikkel worden gevuld met een mengsel van alkalinitraten. Voordeel: door geringe afstanden een snel proces van smelten/stollen.

Toepassing in een cascade systeem met verschillende zouten op verschillende hoogte in een thermocline opslagvat.

Techno-Economic Analysis of Molten Salt Tower Plants with Integrated Thermochemical Energy Storage Systems Based on CaO Hydration (poster)

Katerine Antil Martini,

KTH Royal Institute of Technology

De reactie $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 1140 \text{ kJ/mol}$

De reactie is reversibel en loopt tussen 300 en 600 °C.

Water Desalination and Detoxification

Experimental and Numerical Evaluation of a Humidification Dehumidification Desalination Unit Driven by Solar Energy

Rodrigo Barraza Vicencio,

Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Chili

In een Humidification Dehumidification Desalination (HDH) Unit circuleert lucht. Zeewater wordt door via een warmtewisselaar verwarmd door een vlakke, niet-concentrerende zonnecollector. In het verdamper-deel worden druppels warm zeewater gesproeid, die

gedeeltelijk verdampen. De lucht wordt vochtiger en warmer, en langs een condensor gevoerd, die wordt gekoeld door het binnenstromende zeewater. Tegen de condensor condenseert gedestilleerd water, de opbrengst van het proces.

Het warmte → water rendement, meestal Gain Output Ratio (GOR) genoemd, is vrij laag, nl. 0,54 (54%).

Thermodynamic Analysis of Hybrid Humidification-Dehumidification (HDH) - Reverse Osmosis (RO) Desalination System Powered by Concentrating Photovoltaic/thermal Solar Collector

Todd Otanicar,

The University of Tulsa, USA

Golflengte-afhankelijke scheiding van het geconcentreerde zonlicht in de receiver van een trogspiegel, d.m.v nanodeeltjes in de transportvloeistof en een doorzichtige receiverbuis.

Belichting van PV-cellen met optimaal spectrum, opvang van de andere spectrale component in de transportvloeistof, dus winning van warmte + elektriciteit uit zonlicht.

Met de warmte wordt een HDH-ontzilter bedreven.

Met de elektriciteit wordt een RO-ontzilter gevoed.

Yearly Simulations of the Electricity and Fresh Water Productions in PT-CSP+MED-TVC Plants: Case Study in Almería (Spain)

Bartolomé Ortega Delgado,

CIEMAT-PSA

Analyse van een 50 MW trogcentrale waarbij een deel van de stoom wordt gebruikt om een Multiple-Effect Desalination aan te drijven in combinatie met thermal vapor compression.

Maximizing Thermal Efficiency with Integrated Energy Systems: the Case of Sundrop Farms

Jens Taggart Pelle,

Aalborg CSP

Bij Port Augusta (5 km vanaf de Zuid-Australische kust) functioneert sinds oktober 2016 een zonnetoren met een stoomketel in de toren (232 °C stoom) en een 1,5 MWe turbine.

De afvalwarmte van de turbine gaat via een warmteopslag naar een thermische zeewaterontzilter. Het water en de restwarmte gaat naar de tomatenkas van 20 ha.

Productie: 17000 ton tomaten/jaar. Elektriciteit wordt via het net afgevoerd.

Central Receiver Systems

Preliminary Tests of an Integrated Gas Turbine-Solar Particle Heating and Energy Storage System

Hany Al-Ansary, King Saud University

De toepassing wordt vooral gezien voor geïsoleerde nederzettingen in de Saoedische

woestijn, die nu afhankelijk zijn van dieselgeneratoren.

Er wordt een 2MW systeem beschreven. De motivatie (uit de presentatie):

- The national utility in Saudi Arabia (SEC) sees an opportunity in off-grid locations
- Current cost of power generation with diesel generators in these areas is too high
Transportation costs and fuel availability are the main issues.
- Large amounts of diesel are consumed due to the use of low-efficiency diesel generators
- Roughly 1000 MW is generated off-grid
- An ideal niche market where thermal energy storage and 100% backup is needed

Deze opmerkingen zijn relevant voor het Siwa CSP-project.

Identification of Required Cost Reductions for CSP to Retain Its Competitive Advantage as Most Economically Viable Solar-Dispatchable Technology

Albert Payaro,

KTH Royal Institute of Technology

Een kostenvergelijking tussen CSP en PV+batterijen voor twee situaties, met capacity factor 50% en 85%, vanaf heden tot 2030.

In 2017 is CSP het goedkoopst.

In het 85% geval blijft CSP in 2030 het goedkoopst, maar in het 50% geval wordt PV+batterijen het goedkoopst, behalve als CSP een extra sterke kostendaling weet te bewerkstelligen.

Dispatchable Solar Power Plant

Hank Price,

Solar Dynamics LLC

Een toren met relatief klein solar field en flinke warmteopslag en grote turbine, en snelle schakeltijd. Het verdienmodel is: alleen draaien op de tijden dat de prijs het hoogst is (de kop van de "California Duck").

Solar Fuels and Chemical Commodities

Dynamic Modelling of a Continuous Hydrogen Production Plant Based on CeO₂ Thermochemical Cycle

Alicia Bayon,

CSIRO

De cerium cyclus voor waterstofproductie gaat als volgt:

$\text{CeO}_2 + \text{warmte van } 1000 \text{ tot } 1500 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{CeO}_{2-\delta} + \frac{1}{2} \delta\text{O}_2$

en daarna:



Er wordt een uitgebreid literatuuroverzicht gegeven.

De bereikte efficiency is 20%.

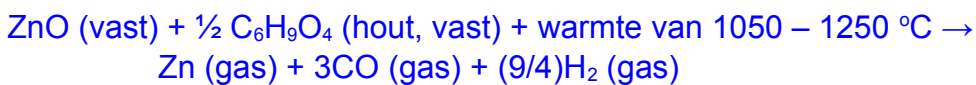
Co-Production of Syngas and Zinc via Combined Solar-Driven Biomass Gasification and ZnO Carbo-Thermal Reduction in a Continuously-Operated Solar Reactor

Srirat Chuayboon,

KMITL

Dit is een voorbeeld van verbetering van de energieopbrengst van biomassa m.b.v. geconcentreerde zonne-energie. Er wordt een experiment op laboratoriumschaal beschreven,

Meng houtpellets met korrels zinkoxide, verhitten in een zonnetoren. De reactie:



In het oxidatieproces van zink naar zinkoxide wordt extra waterstof en koolmonoxide geproduceerd. De productie van syngas ($\text{H}_2 + \text{CO}$) is nu hoger dan wanneer de biomassa zonder zinkbijmenging in de toren wordt bestraald.

Hydrogen Production by Water Splitting Via Modified Sulphur-Iodine Thermochemical Cycles (poster)

Alberto Giaconia,

ENEA

De bekende zwavel-jodium cyclus waarmee je met hoge-temperatuur warmte water kunt ontleden is uitgebreid met stappen waarbij metaalzouten (M_xI_y) en $\text{M}_x(\text{SO}_4)_y$ worden toegepast ($\text{M} = \text{Ni}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{enz.}$). Voordelen: geen katalysatoren en membranen nodig.

Nadeel: complexer proces.

Hydrogen Production by Molten Carbonate Steam Electrolysis: Process Flowsheet and Integration with a CSP Plant (poster)

Luca Turchetti, ENEA

Electrolyse van stoom met een gesmolten carbonaatzout als Kathode. Het carbonaat wordt opgewarmd in de receiver van een trog. Er moet ook CO_2 circuleren om het carbonaatzout te stabiliseren. Bij de toegepaste hoge temperatuur (500°C) komt een aanzienlijk deel van de chemische energie van het gevormde waterstof uit warmte, dus rechtstreeks uit geconcentreerd zonnestralen.

Commercial Development of Bio-Combustible Fuels from Hydrothermal Liquefaction of Waste using Solar Collectors

Matthew Pearce,

Phycofeeds Ltd

Dit bedrijf heeft patenten voor algen in een solar thermal reactor.
Bij 320 C en hoger en 20 Mpa en hoger is water igeen polaire molecuul meer, en de hydrofobiteit van allerlei stoffen verdwijnt.
Afvalwater door de receiver van een trog sturen, er komt dan zg. biocrude uit.
Toepassing in India, bij de Kota University Rayanstan.

A Novel High-Temperature Solar Chemical Reactor for Syngas Production from Solar-Driven Thermochemical Gasification of Wood Biomass

Srirat Chuayboon,
CNRS-PROMES

Experimenten 1100 -1400 C in de zonne-oven in Odeillo.
Injectie van CO₂ en/of waterdamp bij de houtmassa in de reactor. .
Weinig teervorming.
21% energie toegevoegd aan de biomassa, 60% van het geproduceerde gas is H₂.

Experimental and Numerical Analysis of a Solar Rotary Kiln for Continuous Treatment of Particle Material

Stefania Tescari,
German Aerospace Center (DLR)

Het cilindervormige reactorvat draait om een horizontale as en wordt van de zijkant beschenen door de geconcentreerde zonnestrallen. Temperaturen 800-1000 °C, 24/7 operatie voor cement, fosfaat, enz.productie.

Design, Fabrication, and Experimental Testing of a 5 kWth Windowless Packed-Bed Reactor for High-Temperature Solar Thermochemical Processing

Christian Wieckert,
Paul Scherrer Institute

Separatieplaat van SiC met koolstofdraad versterkt.

Dus de volgorde is: instraling, kwarts venster, tussen-cavity, separatieplaat, reactievat.
1 keer per etmaal laden en ontladen.
Maar het nieuwe is dat de kwartsvenster weggelaten kan worden. (window-less)
Door hot sealing van de separatieplaat. SOLSYN. WEISZMANN INST.

Solar Thermochemical Splitting of CO₂ Into Separate Streams of CO and O₂ with High Selectivity, Stability, Conversion, and Efficiency

Philipp Furler,
ETH Zürich

De CeO cycle is state of the art in CO₂-plitsing, eerste stap gebeurt bij 1300 C, de volgende stap bij 700 C.

www.solar-jet.aero/page/media-center

Verbeterde opbrengst door bedrijf onder vacuum.

conversie CO₂ → CO: 70%

Het totaal rendement 5.25% zon → brandstof , factor 3 vooruitgang.

Dit is het rendement: warmte in de reactor, chemische energie uit de reactor.

Grootste verlies is het traject 1300 ↔ 700, dit is 60% van de verliezen, door de warmtecapaciteit van het ceriumoxide (en de wand van het reactievat)

Nu met thermocline vaten voor de levering van de warmte, en recovering van een deel van de warmte.

Energy and Exergy Analysis of a Solar Thermo-Electro-Chemical Power Plant Based on Fuel Cells

Elena Díaz,

IMDEA Energy

Methode om elektriciteit te produceren uit aardgas waarbij de CO₂ in geconcentreerde vorm beschikbaar is om opgeslagen te kunnen worden, met toevoeging van geconcentreerde zonnestrallen. Het methaan wordt in de receiver van de toren gekraakt. De gevormde waterstof en koolstof wordt gevoed naar afzonderlijke brandstofcellen.

Andere onderwerpen

Concentrating Solar Power and the Energy-Water Nexus: Radiative Cooling (poster)

Ana Dyreson,

University of Wisconsin – Madison

Argumentatie om 's nachts stralingskoeling toe te passen in CSP-centrales.

Radiation Cooling Resource Assessment for Concentrating Solar Power (poster)

Ana Dyreson,

University of Wisconsin – Madison

Voorstel om stralingskoeling toe te passen als alternatief voor of aanvulling op de luchtkoeling die nu meestal wordt toegepast.

Heel belangrijk is de effectieve hemeltemperatuur. De poster meldt een effectieve hemeltemperatuur van 10 tot 20 K beneden de luchttemperatuur. Dat is weinig, met de infrarood thermometer meet je in Nederland 25 graden en in Las Vegas 40 graden beneden de luchttemperatuur. Eigen (EdMvV) metingen in Nederland lijken overeen te komen met 20 tot 25 K. Er zullen nieuwe, nauwkeurige metingen nodig zijn voor het WaterWin project.

Dyreson meldt ook een website met weergegevens inclusief hemelstralingsgegevens:

www.bsrn.awi.de

Er is een Nederlands station, in Cabauw (bij Lopik), die wordt bediend door Wouter Knap (knap@knmi.nl).

High-Temperature Solar Electrochemistry Using Liquid Sodium

Nerea Diez de los Rios Ramos,
Karlsruhe Institute of Technology

Batterij met vloeibaar en gasvormig natrium, die gevoed wordt met thermische energie, 600 tot 1000 °C. De methode heet Alkali Metal Thermal to Electric Converter (AMTEC) . De efficiency is hoog, bijna gelijk aan de Carnot-efficiency (45%), maar in de praktijk nog veel lager.

Acceptance Tests of CSP Projects – A Review of Current Practices and Market Requirements

Juan Manuel Saenz Caballos,
Mott MacDonald

Van meer dan 3 GW aan recente CSP-projecten is een analyse gemaakt van de acceptatie-procedure, die bij het gereedkomen van de centrale wordt doorlopen tussen de EPC en de eigenaar/exploitant van de centrale. Dit overzicht kan gebruikt worden als handleiding bij toekomstige CSP-projecten.

Combined with Flat Solar Panels: A District Heating Case in Denmark

Andreas Zourellis,
Aalborg CSP

Dit is een veld bestaand uit 6000 m² vlakke zonnecollectoren en 4000 m² trogspiegels in Denemarken. Hiermee wordt een warmtenet naar 850 huishoudens en enkele kleine fabrieken bedreven en aan 30% van de totale warmtevraag voldaan. De troggen zijn vooral 's ochtends en aan het eind van de middag effectief.

Plenary: Beyond Power

Towards the Productive Transformation of Chile based on Solar and Mining Industries

Eduardo Bitran,
CORFO

In de Atacama woestijn is de DNI >3500 kwh/m² en schijnt de zon 4000 uur per jaar. Chili is de grootste producent ter wereld van lithium en van natuurlijke nitraten. 15% van de wereld koperproductie komt uit Chili.

Het Chileense zonne-energie programma omvat tot 2025 800 miljoen dollar aan investeringen.

Zonnecentrales leveren elektriciteit voor de laagste prijs, PV-centrales 30 \$/Mwh en CSP-centrales 63 \$/Mwh.

Chili produceert 600.000 ton lithium per jaar met 80% extractie-efficiency, waarmee aan 40% van de wereldbehoefte in 2030 wordt voldaan.

Er is ook cobaltwinning.

Er is een waterstofstrategie om diesel te vervangen.
De mijnen verbruiken 50% van hun energie in de vorm van vloeibare brandstoffen.

Desert Farming and District Heating with CSP

Jens Taggart Pelle,
Aalborg CSP

De stad Aalborg in Denemarken is een belangrijke ontwikkelaar voor hernieuwbare energie technieken.

Desert farming in Australië: kassen die d.m.v. zonne-energie van water en energie worden voorzien.

Het bedrijf staat bij Port Augusta, 3 km van de kust, en is nu in bedrijf.

Het CSP deel bestaat uit een zonnetoren beschenen door 51000 m² aan heliostaatspiegels. Het vermogen aan geproduceerde warmte is 36,6 MW thermisch. Op de toren staat de stoomketel, die rechtstreeks door het geconcentreerde zonlicht wordt bestraald, deze aanpak heet direct steam generation.

Er is warmteopslag, met watertanks en waterbasins. .

De kassen omvatten 20 ha.

De turbines produceren 20.000 Mwh/jaar.

Er wordt water geproduceerd d.m.v. ontzilting, de waterproductie is 250.000 m³ water/jaar. Daarnaast is er 1700 MWh/jaar aan elektriciteit beschikbaar.

Een ander project betreft CSP voor warmte-krachtopwekking. Met 27000 m² aan parabolische trogspiegels met 16,6 Mwth aan thermisch vermogen. De locatie is Brønderslev, Noord-Denemarken.

Er wordt gewerkt met ORC-turbines.

Er is ook een biomassaoven om warmte te kunnen leveren als de zon niet schijnt. Dit project komt in 2018 in bedrijf.

Weer een ander project staat in Tars, Noord-Denemarken.

Een warmtenet wordt gevoed met 4000 m² troggen en 5900 m² vlakke collectoren, gezamenlijk thermisch vermogen 6,8 Mwth bij een temperatuur van 98 °C.

Fostering Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) in Spain

Diego Crespo,
Solar Concentra

SOLAR CONCENTRA is een samenwerking tussen 120 bedrijven en organisaties voor CSP in Spanje.

High-Temperature Solar Thermal Energy Recovery and Utilization System Development for Energy Carrier Productions

Yukitaka Kato,
Tokyo Institute of Technology

Nadruk op waterstof.

Hiermee kan ammonia worden gemaakt (met stikstof uit de lucht) waarop gasturbines kunnen draaien.

Waterstofproductie uit hitte mag niet hoger zijn dan 650 °C zijn als er staal wordt gebruikt in de reactievaten.

Er is een nieuw transportmedium nodig hiervoor.

Voor een 650 °C systeem met >70% efficiency is een nieuw transportvloeistof nodig, die moet ontwikkeld worden.

Er is een verbetering van de warmteopslagdichtheid tot 500 kJ/liter nodig. Onze keus valt op Fresnel met zout en een secundaire spiegel.

FeSi₂ is een goede spectraal-selectieve coating.

We passen chemische warmteopslag toe met met lithiumcarbonaat en zeoliet met CO₂ in en uit, dus CO₂-opslag in zeoliet.

Er is een heatpump functie, hiermee kan de temperatuur nog 50K omhoog tot 700 °C worden gebracht.

Er zijn berekeningen gedaan voor de situatie in Uppington, Zuid-Afrika.

Abdulaziz Alobaidli

general manager van SHAMS

In de UAE zal in 2050 de uitstoot van CO₂ met 70% zijn verminderd.

(EdMvV: waarom niet met 100% ?)

Het DE aandeel in 2050 zal 75% zijn.

In 2017 is de PV-prijs al gedaald tot 3 cent/kWh, en in 2018 tot 2,42 cent/kWh (in Marubeni)

Het DEWA4 project is een 100 MW toren met 15 uur opslagcapaciteit die gaat leveren voor 7.3 cent/kWh.

Erich Schnake

Vice-minister voor Mijnbouw in Chili

Chili behoort tot de drie grootste producenten ter wereld van Rhenium, Molybdeen, Koper, Zilver, Goud, Yttrium en Lithium.

Voor koper staat Chili op de eerste plaats, voor lithium op de tweede plaats.

De verwachte groei in de vraag naar lithium voor batterijen is 15-18% per jaar.

In 2016 en 2017 zijn er flinke prijsstijgingen geweest voor Lithium.

Emerging Concepts

Nanoparticle Based Concentrating Photovoltaic/Thermal Hybrid Collector

John Dale,

Absorptie in receiverbuis die doorzichtig is, dus in de vloeistof.
Heeft voordelen.

De vloeistof bevat nanodeeltjes.

De optische eigenschappen hangen zeer sterk af van de grootte van de deeltjes, dus de spectraalselectieve eigenschappen zijn in principe te regelen.

Achter de receiver een koellaag, en daarachter PV.

Vrij lage temperaturen, lijkt op het Texel-project van Solaq.

De nanodeeltjes laten de lage golven door naar de silicium PV.

AMADEUS: Next Generation Materials and Solid State Devices for Ultra High Temperature Energy Storage and Conversion

Alejandro Datas,

Instituto de Energía Solar - Universidad Politécnica de Madrid

De normale opslag in vloeibaar kalium/natriumnitrat is beperkt tot temperaturen $<565\text{ }^{\circ}\text{C}$ wegens de beperkte chemische stabiliteit van het zout.

Wij streven naar veel hogere temperaturen, $1000 - 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$; Ultra-hoge temperatuur. De warmteoverdracht wordt dan gedomineerd door stralingskoppeling, wegens de T^4 afhankelijkheid van de warmtestraling.

Opslag met PCM met meer dan een factor 10 grotere energiedichtheid dan zouten is dan mogelijk.

De conversie warmte \rightarrow elektriciteit gaat thermionisch en met PV bij een energiedichtheid van 50 kWe/m^2 , het gebeurt bij een intensiteit van 200 keer de zon. Dit is onderzoek dat door de EU met een Horizon 2020 project is gefinancierd, er zijn 6 deelnemende landen.

Het PCM met hoogste dichtheid aan latente warmte (=smeltwarmte) : vloeibaar waterstof 2700 kWh/m^3 (verdamping/condensatie)

silicium bevat 1200 kWh/m^3 bij een smelttemperatuur van $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, de kosten zijn $4\text{ \$/kWh}$ opslagvermogen, dat is 5 keer goedkoper dan de nitraatzouten (NaNO_3).

Si-B binaire legeringen PCM: 1400 C smeltpunt. Si dominant, B in de minderheid.

Deze manier van energieconversie is weinig bekend. Thermo-voltaiisch belooft een rendement van 35% bij $1500\text{-}1700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Thermo-ionisch tussen een anode en kathode, de electronen ontsnappen uit de hete emitter en worden opgevangen in een positieve collector, die is nog steeds zeer heet, infrarood fotonen lopen naar de PV.

De receiver is veel kleiner dan normaal, de leercurve zal snel gaan. Er is geen turbine en geen transportvloeistof nodig, en 10 keer minder opslagmateriaal.

De naam hiervan is AMADEUS-project.

Zie ook: **Molten Silicon Storage of Concentrated Solar Power with Integrated**

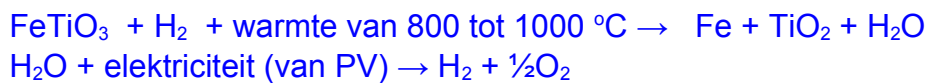
Thermophotovoltaic Energy Conversion (poster

Alejandro Datas, Instituto de Energía Solar -
Universidad Politécnica de Madrid

Design and Test of a Concentrated Solar Powered Fluidized Bed Reactor for Ilmenite Reduction

Thorsten Denk,
PSA-CIEMAT

Op de Maan is zuurstof het meest voorkomende element.
Productie van zuurstof op de maan met CSP, belangrijk voor een kolonie op de maan. De chemische reacties zijn:



Bak met deeltjes Ilmeniet zwevend in hete lucht.

Alleen de eerste reactie wordt getest in dit werk: waterproductie op maan met behulp van geconcentreerd zonlicht.

Er zijn proeven gedaan en gaande, de waterproductie is gedemonstreerd.

Design of a Solar Linear Particle Receiver Placed At the Ground Level

Jesús Gómez-Hernández,
University Carlos III of Madrid

Fresnel spiegelveld met secundaire spiegel en brandlijn op de grond.

Op de brandlijn een complex van seriegeschakelde wervelbedvaten. (fluidised bed).

Er is al een temperatuur van 800 °C bereikt in een receiver met 100 meter veldlengte, midden op dag om 12 uur.

Er straalt 61 kW/m² op de receiver.

Hybrid CSP/PV Receivers: Converting Optical Spillage to Electricity

Clifford Ho,
Sandia National Laboratories

Er is bij torens een optische verspilling:

Een deel van de stralen valt op de randen van de receiver.

Die kunnen bedekt worden met PV om het strooilicht op te vangen.

Verder PV-oppervlak beschijnen met heliostaten die even niet nodig zijn.

Je kunt een aparte LCOE berekenen voor deze extra investering, die gaat sterk omlaag naarmate de cellen sterker gekoeld worden.

5 cent/kWh kan bereikt worden.

Parabolic Trough Systems

Economics of Solar Cogeneration

Justin Raade,
GlassPoint Solar

Analyse van de economie van solar enhanced oil recovery, zoals dat nu wordt toegepast on Oman (GlassPoint project). Voor allerlei configuraties wordt het trogveld (in afgesloten glazen kassen) vergeleken met de conventionele aanpak: gasturbine met gebruik van de afvalwarmte van de gasturbine. Steeds wordt het break-even point berend, d.w.z. de gasprijs waarboven CSP goedkoper is dan fossiel.

Deploying Enclosed Trough for Thermal EOR at Commercial Scale

Benjamin Bierman,
GlassPoint Solar

Het succes van de eerste GlassPoint project heeft geleid tot een vervolgproject met 200000 m² trogspiegel in een kas. Het is zeer goedkoop, de kosten naderen 10 \$/m².

Identification of Optimum Molten Salts for Use as Heat Transfer Fluids in Parabolic Trough Plants. A Techno-Economic Comparative Optimization

Christoph Adrian Pan,
Stellenbosch University

Als gesmolten zout ook als transport medium wordt toegepast is de centrale goedkoper dan met olie als transportmedium.
Laagste LCOE in Chili, vooral dankzij de hoge DNI. Spanje duurder, en ZA nog duurder.

The Design of Dust Barriers to Reduce Collector Mirror Soiling in CSP Plants

Christopher Sansom,
Cranfield University

Er valt 200 tot 4 ton/km²/jaar stof neer (in de zonnige landen). Mali is extreem stoffig. Het grootste probleem vormen de kleine stofdeeltjes van 10 micrometer en minder die bij 10 m/sec op de spiegels zijn gekomen.
Een schoonmaakbeurt kost 0,2 tot 1 liter water per m² spiegel

Er worden diverse modellen van windschermen (barriers) met elkaar vergeleken die in het veld met parabolische trogspiegels staan.
CFD-modelling van luchtstromen boven barriers.
Poreuze barriers zijn better
Windtunnelmetingen en veldmetingen met een verkleind model.

Achievement of the \$100/m² Parabolic Trough

Nathan Schuknecht,
SkyFuel

Toepassing van Chinese materialen.
Gesmolten zout,
Reflectec spiegels,
geen afregeling in het veld nodig
Lage kosten: 100 \$/m²
Lange ervaring in samenwerking met NREL

Thermal Energy Storage

Phase Change Material Thermal Storage with Constant Heat Discharge

Christoph Lang,
Dow Chemical

De benodigde hoeveelheid zout voor de warmteopslag is
27000 Mton/GWh = 27 kg/kWh bij troggen, torens een stuk lager.

Er is slechts 8.7 kg/kWh nodig bij alleen latent warmte.

Bij PCM is er last van steeds dikkere vaste laag die als warmteweerstand werkt vooral door het vacuüm tussen de wand en de vaste PCM (door de krimp). Nieuw: de koppeling verbeteren door met een elektrische verwarming plaatselijk te smelten en de holtes weer op te vullen.

Het wordt dan ook mogelijk om de vaste stof weg te schuiven of naar beneden laten vallen. Een groot dichtheidsverschil tussen vloeistof en vaste stof is bevordelijk.

Commissioning and Experimental Testing of a Cost Effective Prototype Rock Bed Thermal Energy Storage

Hendrik Frederik Laubscher,
Stellenbosch University

Rotsstenen, met lucht als transportmedium, thermocline principe.
40% verlies, dat is groot. Kan verbeterd worden.

Demonstration of a Thermosyphon Thermal Valve for Controlled Extraction of Stored Solar Thermal Energy

Christopher Oshman,
Colorado School of Mines

PCM tank in de toren met een thermal valve er boven.

De thermische klep bestaat uit een heat pipe.

In gesloten toestand wordt de retourvloeistofstroom tegen gehouden met een klep.

Natrium als werkvloeistof in de thermal valve. Werkt goed.

Plenary: CSP Technology Innovation

Dispatchable Solar Power DSP: Adapting CSP to Modern Grid Needs

Hank Price,
Solar Dynamics LLC

Solar Dynamics is afkomstig van Abengoa in 2016, de R&D afdeling van Abengoa gaat op deze manier door, met contracten van het Amerikaanse Sunshot programma..

Er zijn 3 gescheiden netten in de USA. West bedient 20% van de Amerikaanse bevolking, 50% hiervan woont in Californie.

De grafiek van het dagelijkse stroomverbruik wordt de "California Duck Curve" genoemd: 's morgens een vrij hoge staart, en 's avonds een nog hogere kop.

Er is 's avonds een 13 GW stijging in de stroombehoefte in 3 uur . Dit wordt steeds erger naarmate het aandeel van PV en wind toeneemt..

Het wordt kritiek als hun bijdrage >33% is geworden.

De Amerikaanse staten hebben ambitieuze doelstellingen:

In Californië moet in 2045 het aandeel duurzame elektriciteit 100% zijn, voor 2030 moet meer dan 10 GW aan fossiele centrales vervangen worden door DE.

In Nevada en New Mexico is de doelstelling 80% aan DE in 2040.

DSP moet oplossing geven voor het Duck Problem.

Er wordt momenteel verschoven van kolen naar gas, wegens de grotere flexibiliteit van gascentrales.

De waarde van baseload levering is lager dan van dispatchable stroom.

Er wordt een DSP-centrale beschreven met de volgende eigenschappen:

De stoomgenerator is van AalborgCSP

De turbine is een Siemens 700, die kan snel schakelen.

De Solar Multiple is 0,65, dit is vrij ongebruikelijk. De Capacity Factor is dus laag: 16,5%.

De stroomleverprijs is vrij hoog: 18 \$/kWh, maar piekcentrales op gas leveren ook dure stroom.

In de koffiepauze praat ik hierover met Johan Lillienstam, hij vindt het een goede aanpak, maar vraagt zich af wanneer PV+batterijen zo goedkoop worden dat de DSP-aanpak kansloos wordt.

The Power of Particles: Overview of Worldwide Research Efforts on Developing Particle-based CSP Systems

Hany Al-Ansary,
King Saud University

Dit is een volledig overzicht van de toepassing van korrels vaste stof (zand, bauxiet, enz.) in de CSP. Vrijwel alle CSP-functies kunnen met deeltjes worden gedaan: warmteopvang

in de receiver van de toren, het transport van warmte, de opslag van warmte.

Central receivers:

Er zijn al temperaturen van 800 °C bereikt, met deze hoge temperaturen kunnen deeltjes de warmte transporteren naar gasturbines, die dus niet werken op brandend gas, maar op zonnewarmte.

Deeltjes maken de Rankine cyclus met CO₂ in plaats van stoom mogelijk.

Toegepast wordt wit zand, rood zand en gesinterde bauxiet deeltjes.

De doelstellingen zijn nog niet bereikt.

Er zijn nog veel problemen bij opslag en warmtewisselaars die opgelost moeten worden.

Receivers:

In de vrije-val receiver beschijnt de bundel geconcentreerd zonlicht een vrij vallende stroom van deeltjes.

De deeltjes in de receiver kunnen zich ook een vortex van circulerende lucht bevinden.

Of in een snel roterende receiver, de deeltjes zitten dan tegen de binnenwand gedrukt door de middelpuntvliedende kracht.

In warmtewisselaars met deeltjes wordt een wervelbed toegepast.

Het DOE ondersteunt het CSP-deeltjes onderzoek met 62M\$,

er is een sterke groei, en er zijn veel veel papers over deeltjes op deze conferentie.

High Efficiency Phase Change Thermal Energy Storage with Chloride Salts – Perspectives on Current Status and Future Directions

Dileep Singh,

Argonne National Laboratory

De doelstelling van het Amerikaanse Sunshot R&D programma is een CSP-prijs van 6 \$cent/kWh in 2020. Een hoge efficiency tijdens de opslag is essentieel om dit te bereiken.

Een cascade van verschillende materialen met verschillende smeltpunten heeft voordelen.

De nadelen van PCM zijn:

Een zeer lage thermische geleiding in de vaste fase, de aangroeiende koek van vast stof remt het warmteontladingsproces sterk.

Corrosie, vooral een probleem bij chlorides.

De lage warmtegeleiding compenseren wij door een composiet te maken met grafiet schuim met porositeit 85 tot 95%. De holtes worden compleet gevuld met zout, in ons geval MgCl₂ zout.

Hiermee hebben we experimenteel onderzoek gedaan met een prototype die 4,5 inch groot is.

Closing Session

Trends in Point Focussing Systems

Reiner Buck,
German Aerospace Center (DLR)

Er is sprake van records in de LCOE van CSP:
De DEWA centrale in de Emiraten: 7.3 \$/kWh
SolarReserve in Port Augusta (Australië) 6.1 \$/kWh
Solar Reserve Chili: een bod van 6.4 \$/kWh.

China gaat vooral torens bouwen, en veel minder troggen.

Doorslaggevend argument ten gunste van de toren:
De hoogste! Er wordt een plaatje getoond met zonnetorens in aanbouw, samen met de 800 meter hoge wolkenkrabber van Dubai.

Heliostaten:

Er zijn veel papers over de calibratie van heliostaatspiegels en van het schoonmaken van spiegels met zuinig waterverbruik.

Receiver:

De gesmolten-zout receiver is nu state of the art.
Toepassing van deeltjes maakt hogere temperaturen en lagere kosten mogelijk.
Bij vloeibaar metalen is er een duidelijke kandidaat, nl. natrium.
Er zijn betere coatings gekomen met betere spectraal-selectieve eigenschappen en langere houdbaarheid.

Bij proces heat worden de Sundrop farms in Port Augusta (Australië) van Aalborg CSP genoemd.

Verdere toepassingen van torens: thermochemische processen, waterstof productie, behandeling van materialen, zoals bij de koperproductie.

Line Focussing Systems

Charles Kutscher,
National Renewable Energy Laboratory

Gesmolten zout wordt steeds meer toegepast bij troggen en soms ook bij Fresnelspiegelvelden.
Een optie om bestaande troggen te upgraden is het plaatsen van een dichroic filter tussen de spiegel en de receiver. Deze kaatst een fractie van het licht met optimale golflengte naar een rij van PV-cellen.
Bij Fresnelvelden is een mooie ontwikkeling:
Hyperlicht drijvend frame van plastic pijpen.
Verder het aanpassen aan de sunshape via de secundaire reflector en diverse vormen van secundaire reflector.

Technology Innovation Award

Deze is verleend aan de mensen van Royal Tech Wacker, een Chinees-Duitse ontwikkelaar en productiefabriek voor trog-receivers en troggen.

Gesmolten zout receivers geleverd o.a. aan de Novatec Fresnell centrales in Spanje.

Samenwerking met Heliovis troggen (binnen doorzichtige buizen)

Levering aan het koelsysteem van het Qatar stadion.

250 MW aan trogprojecten binnengehaald tijdens biddingprocessen.

Helisol R 5A olie wordt toegepast in de 50 MW trogcentrale in Yumen, Gansu, China.

Helisol olie heeft een groter temperatuurbereik: -40 tot 425 C, en dus geen vriesbescherming nodig. Het heeft een lagere viscositeit, en er is minder degradatie en minder H₂-vorming.

Wacker Chemie AG heeft een omzet van 4.6 Geuro en een R&D budget van 150 Meuro.

Locatie van SolarPaces2018 conferentie.

In 2018 wordt de SolarPaces in Marokko gehouden, de stad is nog niet bekend.

Gesprekken.

26 september.

Tijdens de lunch hoor ik van een tafelgenote die bij DLR werkt dat Flabeg complete centrales levert, ook kleinere.

Ik hoor van Johann Lillienstam dat de lage PPA-prijs van de nieuwe CSP-projecten in Australië waarschijnlijk het gevolg is van het feit dat de exploitanten geheel of grotendeels staatseigendom zijn, en daarom een lage rente op hun lening hoeven te betalen. Ik praat kort met Robert Pitz-Paal, hij is ook sceptisch over het realiteitsgehalte van deze lage kWh-prijzen.

27 september

Ik praat met Skyfuel, ze hebben een stand, en een stuk of 5 mensen op de conferentie. Ik praat over Siwa, we spreken af dat ik eerst DNI-gegevens naar de Afrika-man waar ik een kaartje van heb zend.

Ze doen alles, maar geen PV. Ze doen ook aan luchtkoeling en aan ontzilting.

Leuk gesprek met Alvaro Jesam.

Daarna lang gesprek met Andreas Zourellis en Jens Taggart Pelle van Aalborg CSP (Aalborg, Denemarken).

Ze zijn zeer geïnteresseerd om een 10MW CSP-project in Siwa te gaan doen, met opslag en PV voor overdag. Een medewerker komt uit Egypte, Egypte is een van hun voorkeurslanden. Er is ook financiële hulp beschikbaar vanuit Denemarken voor dit soort

projecten. Het lijkt verstandig om het bedrijf/de mensen van de huidige dieselgeneratoren erbij te betrekken, anders gaan die tegenwerken. Ik zal hun op korte termijn de temperaturen toesturen. Idee: project definiëren op het land van Kees.

Tijdens het conferentiediner heb ik een kort gesprek met Nat Schuknecht, directeur R&D van Skyfuel. Ik vertel van Siwa, en verzoek om offerte voor een 10 MW CSP+storage, gedaan aan Skyfuel en AalborgCSP. Zijn reactie: wij zijn goedkoper.

28 september

Gesprek met radio/TV journalist, hij laat mij een uitzending zien, de naam is Bodio o.i.d.

Impressie van Chili.

Een vrij modern land, met een even grote bevolking als Nederland, even breed, maar absurd lang, 4200 kilometer. Er zijn flinke verschillen tussen arm en rijk met nog al wat bedelaars op straat. Het openbaar vervoer is efficiënt en snel, alleen de spoorwegen zijn achterop geraakt, net als in de meeste niet-westerse landen.

Op straat zie je bijna geen zwarte mensen, alleen blanke mensen, maar als je goed kijkt zitten daar veel indianen tussen, hoewel de meeste Chilenen behoorlijk gemengd Europees-Indiaans zijn.

De kennis van het Engels is over het algemeen erbarmelijk, vergelijkbaar met Peking. Er bestaat de bekende arrogantie van sprekers van een wereldtaal: de rest van de wereld moet onze taal maar spreken, anders hebben ze bij ons niets te zoeken.

De nationale geschiedenis wordt op straat breed uitgemeten, met talloze standbeelden van beroemdheden uit het verleden, ook van Engelse militairen die hebben geholpen in de onafhankelijkheidsstrijd tegen Spanje.

