



Högskolan Kristianstad
Box 59
291 88 Kristianstad

Energirapport

Solenergi i nuläge & framtid

Av:
Lennart Fajermo
Högskolan Kristianstad
Naturvårdsingenjörsprogrammet - 00

Sammanfattning

Solen är den största energikälla på jorden som ensam kan klara energibehovet flera gånger om. Problemet är att omvandla energin i tillgänglig form och få den ekonomiskt konkurrenskraftig. Termisk solenergi kan idag utnyttjas över hela jorden till nästan samma prisnivå som konventionell värmeenergi, men värmen måste utnyttjas direkt eller korttids lagras i vatten eller jord. Solfångare med dagens teknik kräver stort utrymme (m^2), men kan framöver snabbt bli effektiv intrigerad i byggnadsmaterial. Forskning och utveckling behövs!

Eftersom elkraft är den energi bärare som är bäst lämpad idag, inriktas forskning och utveckling mot solel. Materialval, verkningsgrad och kostnad bedöms framöver vara av avgörande betydelse för massproducerad solel. Lagring i alternativ energi bärare (väte) kan få stor betydelse för utveckling av solel. Forskningen på tunnfilmsceller i Sverige och utomlands har nått framgångar, men kan ännu inte konkurrera med kiselceller i serieproduktion.

Framtiden i längre perspektiv (20-år) ser ljus ut för solel. Riktat stöd till solcellsinstallationer och subventionerad eltaxa liknande Tyskland och Holland är viktigt för en snabb energiomställning.

Innehållsförteckning

INLEDNING	3
1 TERMISK SOLENERGI.....	3
1:2 SOLFÅNGARE	3
1:3 TCA ACKUMULATOR.....	3
1:4 ÅNGKRAFTSTEKNIK.	3
1:5 SOLVÄGGAR OCH UTOMHUSBASSÄNGER	3
1:6 FRAMTIDSVISION TERMISK SOLENERGI	3
2 SOLEL	4
2:1 SOLCELLER.....	4
2:2 NUVARANDE TEKNIK	4-5
3 FORSKNING OCH UTVECKLING	5
3:1 NY TEKNIK	5
3:2 ARTIFICIELL FOTOSYNTES	5-6
4 NULÄGE OCH FRAMTID	6
4:1 TILLVÄXT.....	6
4:2 KONKURRENSKRAFT	6
4:3 PRISUTVECKLING	7
4:4 KOMMERSIELLA SOLCELLSMODULER	7
4:5 KRISTALLINT KISEL	7-8
5 ANVÄNDNINGS POTENTIAL	8
5:1 KONSUMENT ANVÄNDNING	8
5:2 KOSTNADSLÄGET (2000).....	8
6 DISKUSSION OCH SLUTSATS.....	9
REFERENSER.....	10

Inledning:

Solljuset är den enda energikälla på jorden som ständigt genererar energi av ofantliga mått. På en timme får jorden så mycket energi från solen att det motsvarar hela jordens årliga behov. Sedan växternas tillkomst har jorden sakta samlat på sig ett gigantiskt lager av fossilt bränsle. Hela detta lager motsvarar tjugo dagars solinstrålning! Energi finns i överflöd, problemet är att omvandla solenergin till el eller termisk energi som kan konkurrera med dagens kärnkraft och fossila bränsle ur ekonomisk synvinkel. Ur miljösynpunkt finns inga bättre energiskapande system än naturens egna, sol, vind och vatten.

1 Termisk solenergi

1:2 Solfångare

En så kallad absorptor (solfångare) placeras på taket i söderläge med ett köldtåligt medium som cirkulerar mot en värmväxlare i en ackumulatortank med vatten som energilagringssmedium. Effekten i Sverige kan vara mellan 30% och 60% av instrålad sol. Problemet är att när energibehovet är som störst är solinstrålningen som lägst.

1:3 TCA ackumulator

En helt ny metod att lagra värme TCA, (thermo Chemical ackumulator) håller på att utvecklas i Sverige. Tekniken, kemisk värmelagring har 5-10 gånger högre energitäthet än vatten och är betydligt effektivare energilagring än vattenackumulatörer. TCA är en kemisk värmepump där värmväxling till lagringsmediet sker med en patenterad metod. Den kemiska värmepumpen kan lagra energi över lång tid i en liten volym. Energitillförseln sker med exempelvis sol- och spillvärme. Större solvärmeanläggningar beräknas kunna fördubbla energiuttaget.

1:4 Ångkraftsteknik

I solrikare delar av världen används på försök, traditionell ångkraftverksteknik i termiska solkraftverk för att producera el. Värmeenergin som behövs för att ångan skall driva turbiner hämtas via en värmväxlare. Mediet som avger sin energi i ånggeneratoren värms antingen upp av, paraboliska eller sfäriska alternativt bågformade, speglar direkt (LUZ solelkraftverk) eller omvandlas med solinstrålning som koncentreras från många olika speglar (soltorn eller paraboliska koncentratörer). Soltorn har mest tjänat som testverksamhet, medan LUZ International Ltd har introducerat en teknik som kommersialiserats och gjorts billig (40 öre/kWh).

1:5 Sol väggar och utomhusbassänger

I nybyggnationer och äldre hus kan sol absorberande material, intrigerade i tak eller fasad användas för att värma upp luftspalter. ^{Figur: 10} Via styrd ventilation tas värme upp och avges till innermiljön eller ackumuleras. Sommartid kan bassänger i stort sett värmas med termisk solenergi, bassängen tjänstgör då som en ackumulatortank

1:6 Framtidsvision termisk solenergi

Pinnacle West överväger att bygga ett koncentrerande Solelsystem som bygger på den organiska rankinecykeln (*En irreversibel process är en process som inte kan vändas utan förluster. Exempel på irreversibla kretsprocesser är rankinecykeln*) som liknar en vanlig ångcykel men arbetar vid lägre temperatur med något organiskt ämne istället för vattenånga. Utvecklingen går mot omvandling av sol till el och eventuellt en hybridteknik där utvinning av el och termisk värme samverkar i samma element.

2 Sol el

2:1 Solcell

Solcellen består av en tunn skiva av något halvledarematerial med en kontakt till framsidan och en till baksidan. När framsidan belyses uppstår en spänning mellan fram och baksida, genom kontakten tas elström ut. Inom rymdteknologin är metoden väl beprövad och känd för stor tillförlitlighet. El utvinningen är proportionell mot solljusets intensitet och solcellens verkningsgrad. Verkningsgraden ligger på cirka 15 %. I Ångströmslaboratoriet har en solcell nyligen presterat 16,5 % i verkningsgrad. Vid klar instrålning av 1000 W/m^2 , vilket motsvarar klar sol, ger en 1 dm^2 stor solcell 1,5W. Detta värde brukar kallas topp effekt (W_t). När ljusintensiteten sjunker minskar strömmen proportionellt. Spänningen sjunker också med ökad temperatur på grund av minskad verkningsgrad, bästa arbetstemperatur är ca 25°C . En kiselcell ger ca 0,5 volt, för att öka effekten seriekopplas cellerna till en solcellsmodul.

Problemet med låg verkningsgrad beror på att solljuset innehåller ett helt spektrum av våglängder. Solcellens halvledarematerial kan bara utnyttja den våglängd som motsvarar halvledarens bandgap. Bandgapet är ett energigap där elektronerna inte kan anta energitillstånd. När en foton absorberas av –överför sin energi till–elektron, exciteras elektronen från ett tillstånd vid den undre kanten av bandgapet, till ett tillstånd ovan den övre kanten av bandgapet. Fotonen måste alltså ha en energi motsvarande minst bandgapet. En elektron som exciterats till den övre bandgapkanten lämnar en lucka efter sig vid den undre bandgapkanten. Denna lucka kallas för hål och har positiv laddning. Både hål och exciterade elektroner kan föra sig fritt i halvledarematerial. Ljusabsorption i halvledaren ger upphov till rörliga laddningsbärare i form av hål i den undre bandgapkanten (+) och elektroner i den övre kanten av bandgapet (-). Detta skapar den elektriska ström som kommer från en solcell. För att detta skall ske krävs också att det finns ett i solcellen inbyggt elektriskt fält. I solcellen byggs olika halvledare ihop för att skapa en så kallad pn-övergång.

2:2 Nuvarande teknik

Kristallina kiselceller är den mest tillverkade solcellen och kan ge verkningsgraden ca 20 %, nackdelen är hög produktionskostnad och mycket högt råvaropris. Energikostnaden är på mellan 3 och 10 kr/kWh, varför konkurrenskraften gentemot nätansluten el är minimal.

Amorfa kiselceller kräver betydligt mindre materialåtgång (tunnare) ger också en lägre verkningsgrad ca 10 %. Nackdelen är att cellen tappar ca 30 % i verkningsgrad efter kort tid i solljus.

CIS-cellen är framtagen under nittioalet. Den består av en diod med n-dopad kadmiumsulfid (CdS) och Zinkoxid (ZnO), som negativ pol, ovanpå det ljusabsorberande CIS-skiktet. Koppar, indium och selen (CuInSe_2) utgör den 2,0-3,0 mikrometer tjocka filmen som gett upphov till cellens namn. Diodens pluspol bildas med ett ledande skikt av molybden bakom CIS-lagret. Solcellen, vilken ger likström, tillverkas med utgångspunkt från fönsterglas (substrat), varpå en beläggning av molybden appliceras. Verkningsgraden ligger runt 11 % och kostnaden beräknas till 400 kr m^2 . Nackdelen är att kadmium ingår och den är därför inte lämplig att serieproduceras.

Grätzel-cellen försöker efterlikna fotosyntesen där ett konstgjort rött färgämne tar upp fotonenergin. Färgämnet sitter på små korn av halvledande titanoxid. Elektronövergång sker till titanoxiden vid ljusabsorption i färgämnet. Elektronerna transporteras vidare med en elektrolyt till en ledande platta av exempelvis tennoxid. En elektrisk krets uppstår mellan denna och en kontakt placerad vid motsatt sida av elektrolytlösningen. Spänningen i Grätzel-cellen sjunker inte vid lägre ljusintensitet, till skillnad från solceller av diodtyp (CIS och kisel). Cellen används idag i klockor miniräknare och el-artiklar där effektbehovet är litet. Cellen har visat sig klara tidsaspekten bra och verkningsgraden är ca 8-9 %. Kostnaden beräknas till ca 600 kr/m².

Solcellernas effektivitet är starkt nedsatt beroende på att många våglängder av ljuset passerar förbi det absorberande halvledarmaterialet. En av lösningarna på problemet är att placera en solcell med stort bandgap och bakom denna ha en annan solcell med kortare bandgap för att fånga upp fler våglängder. Den så kallade tandemkonstruktionen tillåter i realiteten inte mer än tre celler tillsammans, eftersom ytterligare optiska förluster uppstår, främst orsakat av reflektion i de olika ytorna, när flera solceller sätts samman till en tandemcell. Materialkostnaderna stiger givetvis också ju fler lager som används. Teoretiskt kan verkningsgrader på 40-45 % uppnås och mer än 30 procent har redan erhållits vid praktiska försök.

3 Forskning och utveckling

3:1 Ny teknik

Ångström solar center Uppsala universitet bedriver intensiv och världsledande forskning. En tunnfilmssolcell som baseras på halvledarmaterialet koppar-indium-gallium-diselenid (Cu(In,Ga)Se₂ eller CIGS) har tagits fram. Förhoppningen är att de skall bli ekonomiskt bärkraftiga eftersom den lovar bra förhållande mellan prestanda och pris samtidigt som den har minimal miljöpåverkan. Den beräknas ge en verkningsgrad i färdig produkt på 15 % och en tillverkningskostnad på ca 50 euro/m². Detta motsvarar ett pris per kWh som är jämförbart med dagens storskaliga kraftproduktion.

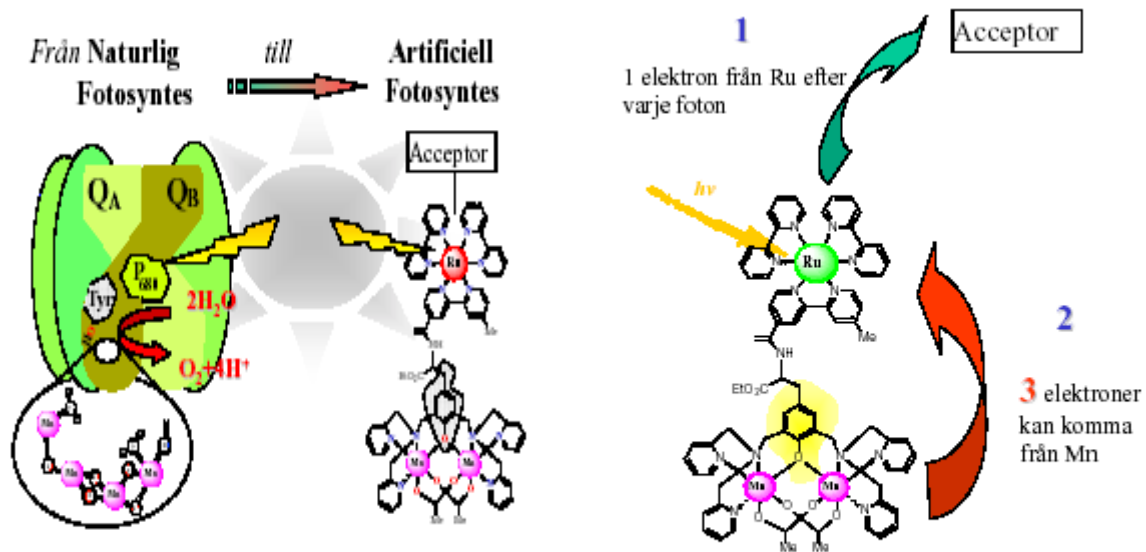
Ångströms laboratoriet forskar även kring en utveckling av Grätzel –cellen med nanoteknik NSC. Målet är att öka verkningsgraden till högre än 12 % förlänga hållbarheten och kraftigt reducera priset. Genom att använda plastmaterial till bärare av cellen, förväntas användningsområdet ökas och framställningskostnaden minska.

Ett tredje område är så kallade smarta fönster, cirka 50 % av Europas energiförbrukning åtgår till uppvärmning, kylning och belysning av byggnader, fönster står för en stor del av energiförlusten. Forskningen koncentreras på att kunna variera ljustransmittansen och solenergitransmittansen efter behov genom fönster. Stora energivinster kan göras på att styra ljus in eller ut och värme på att släppas in eller hållas ute.

3:2 Artificiell fotosyntes.

Att härma växternas fotosyntes för framställning av bränsle låter som hämtat ur science fiction men kan i framtiden vara en möjlighet. Ett forskarkonsortium bildades 1994 bestående av Björn Åkermarks och Licheng Suns syntesgrupp på Stockholmsuniversitet; Leif Hammarströms fysikalisk-kemiska grupp i Uppsala och Villy Sundströms femtosekundgrupp i Lund. Tanken är att framställa en superkemikalie som kan fånga in solljuset och omvandla den till kemisk energi för att bilda ett bränsle. Som utgångsämne används vatten. Iden är att använda naturens egna biokemiska processer, för att tillämpa de principer som utvecklats i de

naturliga reaktionerna i våra syntetiska ämnen. Att härma nyckelsteg i den naturliga fotosyntesen. Detta kallas med ett modernt ord för biomimetisk forskning.



4 Nuläge och framtid

4:1 Tillväxt

Tillväxten för solcellsområdet har varit 27 % per år de senaste fem åren och nu talar man allmänt om en fortsatt tillväxt under lång tid på mer än 20 %. Ett affärsområde spås med en årlig modul försäljning på 100 miljarder euro år 2030 och skapandet av miljontals nya jobb. Tunnsfilmsmoduler med 8-9 % verkningsgrad, CIGS från Würth Solar och amorft/mikrokristallint kisel. Sanyo i Japan säljer nu de hittills bästa kristallint kisel modulerna, med den så kallade HIT-tekniken blir modulverkningsgraden 15 %. På några års sikt blir tillgången på renat kisel till solcellsindustrin ett verkligt problem som stimulerar utveckling av tunnare kiselskivor och tunnsfilmsteknik. Överhuvudtaget så ser man en mognad och breddning av industri och forskning. Utvecklingen är emellertid av evolutionär karaktär och inga tecken på något dramatiskt genombrott inom snar framtid kan ses.

När ljus träffar det nya superämnet kan tre elektroner tas, en efter en, från de två manganerna. En tyrosin har använts för att koppla ihop mangan med rutenium.

Tabell. Solcells försäljningens fördelning på marknadssegment.

Marknadssegment	1996	2000
Konsumenttillämpningar	22 MW	35MW
Fristående professionella system	43MW	62MW
Användning i utvecklingsländer	15MW	33MW
Nätanslutna system	10MW	120MW

4:2 Konkurrenskraft

När det gäller nätanslutna system gör bedömningen att solcellsel kan börja konkurrera med annan toppkraft år 2010 i Sydeuropa och 2020 i Tyskland. Baskraftproduktion blir inte konkurrenskraftig förrän 2030 i Sydeuropa. Marknaden för nätanslutna solcellssystem ges intervallet 25-100 GW årligen år 2030.

4:3 Prisutveckling

Prisutvecklingen analyseras med en *learning curve*^(Bilaga 1) analys. Bedömningen görs att Modulkostnaden 1 €/W nås vid en kumulativ produktion av 100-300 GW solceller, vilket innebär i mitten på 2020-talet med den tillväxt som antages. Flera solcellstekniker kommer att finnas parallellt, var och en med sin balans mellan pris och prestanda. Solcellsbidraget till den globala elkraftproduktionen kommer att vara ca 1 % år 2030 vid 22,5 % årlig tillväxt av solcellsmarknaden. Tio år senare kan solesandelen komma att uppgå till 10 %. Med denna tillväxttakt kommer solcellsmodulerna ensamma att svara för en försäljning på 100 miljarder Euro 2030 och miljontals nya arbetstillfällen.

4:4 Kommersiella solcellsmoduler

Fortfarande dominerar moduler baserade på kristallina kiselceller. Faktiskt är det så att dominansen snarast förstärks trots alla förhoppningar om ny tunnfilmsteknologi. Det beror framför allt på att den snabba tillväxten som drivs av de tyska och japanska subventionsprogrammen har inneburit att nya investeringar har gjorts i existerande produktionsteknik. Flera industriella tunnfilmsprojekt är under genomförande men innan den nya produktionstekniken är beprövad och produkterna etablerade så sker huvuddelen av investeringarna inom det som anses säkert. De radikala kostnadssänkningar som är förknippade med tunnfilmsteknik slår inte igenom förrän produktionsvolymerna är tillräckligt stora och barnsjukdomarna i produktionen botats.

Tabell. Kommersiella solcellsmoduler

Tillverkare	Teknik	Toppeffekt	Verkningsgrad
Solarfabrik	Monokristallint kisel	115 W	12 %
Kyocera	Monokristallint kisel	120 W	13 %
BP Solar	Monokristallint kisel	85 W	13,5 %
Sanyo	Monokristallint kisel (HIT)	180 W	15 %
Sanyo	Amorft kisel	18 W	4 %
Kaneka	Amorft/mikrokristallint kisel	39 W	9 %
Antec Solar	Kadmiumtellurid	36 W	5 %
Würth Solar	CIGS	57 W	8 %

4:5 Kristallint kisel

När det gäller solcellsmoduler av kristallint kisel så är huvudfrågan liksom tidigare tillgången på renat kisel som utgångsmaterial för cellproduktionen. Denna blir allt hetare nu när världproduktionen av solcellsmoduler växer så kraftigt. Idag använder solcellsindustrin 3000 ton kisel per år. Baserat på 25 % årlig tillväxt blir bilden enligt tabellen nedan.

Tabell. Förbrukning av renat kisel till solcellsindustrin.

År	Kiselåtgång per MW moduler	Total konsumtion av solcellskisel
2001	17 ton/MW	3000 ton
2001	13 ton/MW	8000 ton
2010	10 ton/MW	18000 ton

Idag finns det 4000 ton kisel att tillgå årligen i form av kasserat material från elektronikindustrin som totalt producerar 26 000 ton per år. Elektronikindustrin växer långsammare än solcellsindustrin och använder själv en ökande del av det sekunda materialet. Det kommer inom kort att skapa en bristsituation. År 2005 kommer det att behövas 4000 ton kisel från andra källor.

5 Användningspotential

5:1 Konsumentanvändning

Liksom varje bil idag har ett batteri kan man tänka sig att om 20-30 år varje bil också har en solcellsmodul för ventilering när bilen är parkerad. Den håller kupén betydligt svalare om bilen står i sol och minskar toppeffektbehovet för luftkonditioneringen. Idag säljs 60 miljoner bilar per år och med 60-80 miljoner bilar i framtiden blir det en solcellsmarknad på 3-4 GW/år. Som exempel på fristående professionella system valdes basstationer för mobil telefoni på platser utan elnät. En miljon sådana stationer med 0,5-1 kW vardera ger en årlig marknad på 0,5-1 GW. För utvecklingsländer antogs 20-40 miljoner hem system om vardera 50 W, vilket tillsammans med by system och hybridsystem ger 30 GW årligen år 2030.

5:2 Kostnadsläge (2000)

Några förutsättningar för solet (i Sverige):

1m² solcell med en verkningsgrad på 12procent ger 120 Wp toppeffekt och ett årligt utbyte på:

horisontell yta 0°: 95 kWh/m²

lutande yta 45°: 105 kWh/m²

vertikal yta 90°: 80 kWh/m²

1 m² ger maximal 125 Wp eller 100 kWh/år. 1 m² kostar 4500 kr. Det krävs alltså en investering av 45 kr per årligt levererad kWh för själva modulen och systemkostnader tillkommer

Samband area « toppeffekt « årsutbyte

1 dm² ↔ 1.2 Wt ↔ 1 kWh/m²,år

1dm² solcell har toppeffekten 1.2Wt och årsutbytet 1kWh i Sverige.

Årsproduktion och energikostnad för nya energitekniker i Sverige

	Årsproduktion	produktionspris
Biobränsle	90 TWh	58 öre/kWh
Vind	0,5 TWh	41 öre/kWh
Solvärme	0,1 TWh	75 öre/kWh
Solel	-	8 kr/kWh

9 Diskussion och slutsats

För svenskt vidkommande syns ingen stor potential att utnyttja solex kommersiellt, dock i mindre anläggningar, husvagnar, fordon, teknisk apparatur, och i otillgängliga område. Termisk solvärme skulle intrigerad i byggnads^(Bilaga 2) konstruktioner generera åtskilliga kW/h och en satsning liknande den i Tyskland och Holland efterlyses på termisk solvärme.

Svensk grundforskning banar väg för internationell utbyggnad av solex och inom en 20-årsperiod kan solex förhoppningsvis konkurrera ut fossilförbränning. Väte som lagringsdepå för energi, tillverkad av solex är redan tekniskt möjlig. En 10-del av Saharas öken skulle med dagens låga verkningsgrader på solceller generera hela jordens elbehov. En utbyggnad av solex i större solcellskonstruktioner^(Bilaga 2) på sol rika område skulle nästan bli lönsamma idag i jämförelse med nybyggnad av ordinära kraftverk.

Störst utbyte av solex har utvecklingsländerna i sol rika världsdelar, där infrastruktur för el transport inte finns. Miljövinster globalt blir stora om dessa område kan växla från vedeldning till solex. Man bör arbeta för att få till stånd lika stora subventioner för solceller i utvecklingsländer som i de nationella programmen i Tyskland och Japan.

I ett första steg görs alternativa miljövänliga energisystem konkurrenskraftiga på nischmarknader. Genom tillfälliga stöd skapas utrymme för forskning utveckling och i förlängningen incitament för marknaden att konkurrera med ny teknik. Det främsta argumentet att förkasta solenergi är inte teknisk utan förmågan att konkurrera om priset per kilowatt. Att få många aktörer engagerade i projekten öppnar potentialen att lyckas.

En annan förutsättning är att förändra infrastrukturen för elanvändning, en elmätare som kan räkna förbrukad och genererad kW/h. Spänningsomvandlare för el i olika former och ett synsätt som inser värdet av varje tillverkad och förbrukad kW/h.

Den globala fossilförbränningen skapar idag enorma miljöproblem över hela jorden och förväntas ge framtida generationer än större. Då äganderätten till hav och atmosfär saknas finns inga incitament till bevarande av våra gemensamma livs förutsättningar. Ett större utbyte av forskning resultat över landsgränser för att snabbt lösa energiproblemet är ett självklart mål. Ett inrättande av en internationell fond som finansieras med en avgift på miljöstörande energigenerering, skulle skapa förutsättningar för en snabb omställning till ett hållbart miljövänligt energisystem.

Referenser

Litteratur

Solar Energy Materials.....*Claes G. Granqvist*

Internet

CIT Energy Management AB

Effektiv

Elforsk

Energimagasinet

Energi myndigheten

Formas miljöforskning

Mistra

Ångströms Solar Center

29th IEE Photovoltaic specialist's conference

17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

Artificiell fotosyntes. Att härma växterna för framtida energiförsörjning

Solceller och dess framtida potential Umeå Universitet

Solceller i Tyskland och Holland Miljödelegationen

Solceller – nya förutsättningar Referat från ett seminarium i riksdagen 11 maj 2000

[/www.hvac.chalmers.se/info-s.htm](http://www.hvac.chalmers.se/info-s.htm)

Specialarbete-Solenergi direkt. htm

4 Figurer



Figur 1: 20 kW_p 25x demonstrationssystem i Rockingham, Australien.



Figur 2: Närbild av de luftkylda solcellerna i det koncentrerande systemet i Rockingham.



Figur 3: Solel-solvärmehybridmodul som består av enkristallina kiselceller laminerade på en solfångarabsorbator. Kylvatten cirkulerar på i ett kopparrör på baksidan av absorbatorn.



Figur 4: Koncentrerande, vattenkylt solel-solvärmehybridssystem för fasadintegrering. Systemet inkluderar stationära paraboliska aluminiumreflektorer med geometrisk koncentrationsfaktor 3, hybridmoduler och EPS-isolering.



Figur 5: Kort prototyp av solel-solvärmehybrid-MaReCo som utvärderas i Älvkarleby.



Figur 6: Euclides-kraftverket på Teneriffa.



Figur 8: ENTECH's 100-kilowattsystem med fresnellinser i Fort Davis, Texas.



Figur 10: Nästan "osynliga" takpannor i amorft kisel från Unisolar.



Figur 7: 18-kW_p Amonix Megamodule med fresnellinser som ägs av Nevada Power Company i Las Vegas, USA.



Figur 9: Koncentrerande solfångaranläggning som förvärmer varmvatten till ett fängelse i Arizona.