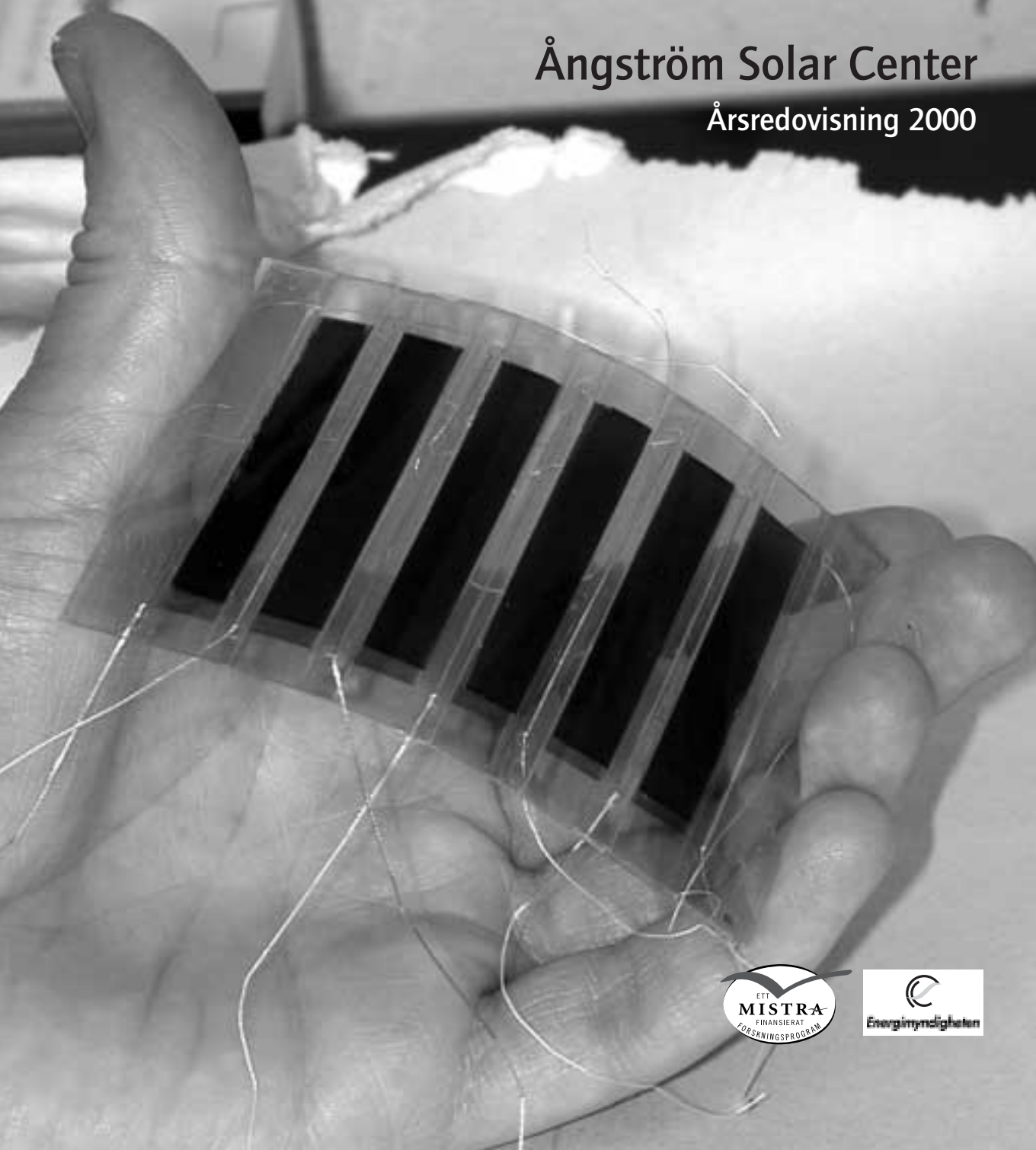


Ångström Solar Center

Årsredovisning 2000



KONTAKTPERSONER

Programdirektör

Lenhart Malmqvist
tel 0431-727 23 fax 0431-752 19
e-post: lenhart.malmqvist@mail.bjp.net

Programsekreterare

Anders Hagfeldt
tel 018-471 36 42 fax 018-50 85 42
e-post: anders.hagfeldt@fki.uu.se

Smarta Fönster

Claes-Göran Granqvist
tel 018-471 30 67 fax 018-50 01 31
e-post: claes-goran.granqvist@angstrom.uu.se

Gunnar Niklasson

tel 018-471 31 01 fax 018-50 01 31
e-post: gunnar.niklasson@angstrom.uu.se

Tunnsfilmsolceller

Lars Stolt
tel 018-471 30 39 fax 018-55 50 95
e-post: lars.stolt@angstrom.uu.se

John Kessler

tel 018-471 31 17 fax 018-55 50 95
e-post: john.kessler@angstrom.uu.se

Nanokristallina solceller

Anders Hagfeldt
tel 018-471 36 42 fax 018-50 85 42
e-post: anders.hagfeldt@fki.uu.se

Sten-Erik Lindquist

tel 018-471 36 56 fax 018-50 85 42
e-post: sten-erik.lindquist@fki.uu.se

Associerat till programmet

Solvärme

Ewa Wäckelgård
tel 018-471 63 83 fax 018-50 01 31
e-post: eva.wackelgard@angstrom.uu.se

Ansvarig utgivare: Henrik Lindström

Grafisk formgivning: Rebecca Rikner

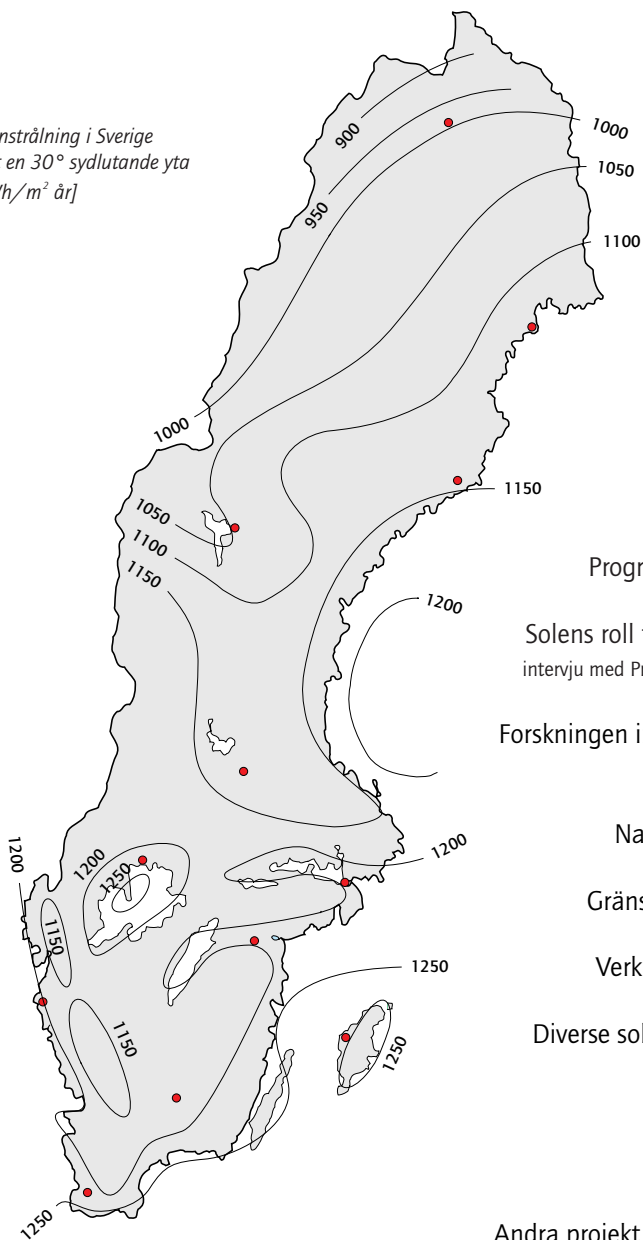
Tryck: Wikströms, 1010880

Upplaga: 3000 ex

Omslagsbild:

En nanostrukturerad solcellsmodul
innehållande fem stycken elektriskt
parallellkopplade solceller.

Solinstrålning i Sverige
mot en 30° sydlutande yta
[kWh/m² år]



Innehåll

Programdirektören har ordet	4
Solens roll för uthållig utveckling intervju med Professor Thomas B Johansson	6
Forskningen inom projektområdena	
Smarta fönster	10
Tunntilmssolceller	12
Nanokristallina solceller	15
Gränsöverskridande projekt	17
Verksamhetsrapport 2000	18
Diverse solrelaterad information	22
Tekniska arbetsplaner	22
Personal 2000	27
Andra projekt, patent och rapporter	28

Programdirektören har ordet

År 2000 blev ett intensivt år. Året var det fjärde i programmet, - ett år då resultaten skulle summeras och värderas. Programmet utvärderades såväl vetenskapligt som med hänsyn till nyttan i en så kallad nytto-utvärdering. Programmet fick med beröm godkänt och arbetet med att utforma ett förslag för en ny 4-årsperiod – utifrån programmets resultat, programstyrelsens krav och finansierarnas önskemål – tog vid.

Programmet fick av MISTRA och Energimyndigheten en förnyad finansiering i 4 år. Huvudmålet är att vidareutveckla de mest lovande resultaten och säkra att dessa resultat överlämnas till ett industriellt förverkligande. Vårt arbetssätt har varit att fokusera de olika delprogrammets aktiviteter, detta baserat på en analys av våra positioner och möjligheter att finna vägar till samverkan med näringslivet. Finansieringen för 4-årsperioden är 80 miljoner kronor. För varje programdel har finansierarna fastställt särskilda kontrollstationer som skall uppfyllas under programmet gång.

Vi är naturligtvis mycket glada för det förtroende som finansierare och styrelse visat genom sitt stöd för ett nytt program som vi nu kallar Ångström Solar Center II. Samtidigt är vi medvetna om det stora ansvar det innebär att förvalta detta förtroende och att effektivt använda varje krona till god framåtriktad forskning och utveckling som också skall föras vidare till ett industriellt förverkligande.

I den plan som blivit resultatet av detta arbete samsas väldigt grundläggande frågeställningar som kräver fördjupad forskning med mer tekniskt utvecklingsarbete för att säkerställa att forskningsresultaten i ett nästa industriellt utvecklingssteg kan leda till rationella uppskalningsbara tillverkningsprocesser.

Den centrala frågan är att utveckla material och processer som kan leda till sänkta kostnader för att till exempel framställa el direkt från solljuset. En ny generation teknik måste leda till väsentligt sänkta tillverkningskostnader. Sänkta

tillverkningskostnader leder till större volymer, vilket i sin tur oftast innebär sänkta kostnader! Utvecklingen av solenergin måste komma in i sådana banor för att i ett längre perspektiv bli det komplement till andra energikällor som världen behöver. Både tillverkning och användning måste bli lönsam i sina respektive nischer. Då ser vi också början till en stor global industri för att bygga upp denna infrastruktur.

Professor Thomas B Johansson tar också upp nödvändigheten av att finna billigare teknik i den intervju vi valt att avrunda 4-års perioden med, se sidan 6. Vi har bett vetenskapsjournalisten Annika Nilsson att intervjua Thomas B Johansson om hans syn på solenergin och dess roll i ett globalt energiförsörjningssammanhang. Thomas B Johansson är professor i Lund men sedan 6 år direktör vid Förenta Nationernas Byrå för Utvecklingsprogram och särskilt ansvarig för energi och atmosfärsfrågor. Organisationen har just publicerat en global energistudie, "World Energy Assesment". Thomas B

Johanssons perspektiv från FN skrapan är självfallet annorlunda än ÅSC-programmets tekniska vardag. Men det är i spannet mellan hans värld av enorma behov och vår tekniska vardag, som ett verkligt resultat skall förverkligas.

Ett omvänt men lika relevant perspektiv är att spara elenergi. Inom byggnadssektorn finns till exempel en stor potential för besparingar om man kan kontrollera solinstrålningen genom fönstret. Så kallade smarta fönster baserade på elektrokroma material kan bli en viktig teknik för att ta tillvara denna besparingsmöjlighet. Programmets tredje grupp "Smarta fönster" fokuserar mot att utveckla flexibla smarta fönster på plastsubstrat. Detta skulle kunna öppna möjligheten att också uppgradera befintliga fönster till rimliga kostnader.

Under 2000 har programmet ytterligare befast sin position i ett internationellt perspektiv. I tunnfilmsolcellgruppen har vårt eget världsrekord i verkningsgrad för små solmoduler

fått en rejäl putsning uppåt från 14,7% till 16,6%. Forskningen inom gruppen för nanokristallina solceller har lett fram till helt nya principer för hur man skulle kunna tillverka de s.k. Grätzelcellerna vid rumstemperatur och gruppen för utveckling av s.k. Smarta fönster har visat att det går att tillverka dessa på plastunderlag. Den vetenskapliga produktiviteten har varit hög och vi har kunnat glädjas åt ett alltmer växande intresse från näringsliv och allmänhet för vårt program.



Lennart Malmqvist
Programdirektör
Ångström Solar Center
April 2001

Solens roll för uthållig utveckling

intervjuad

Professor Thomas B Johansson,
direktör vid Förenta Nationernas Byrå
för Utvecklingsprogram

intervjuare

Annika Nilsson vetenskapsjournalist

- Jag tror att man ska ta ett steg tillbaka och se på utmaningarna på energiområdet. En tredjedel av jordens befolkning har inte tillgång till någon elektricitet och en tredjedel lagar mat på konventionella bränslen som ved och kodynga. De utsätts för luftföroreningar inomhus som leder till ett par miljoner förtida dödsfall plus alla sjukdomar. Ett par hundra miljoner kvinnor spenderar flera timmar om dagen med att bära ved och vatten.

När Thomas B Johansson, energiexpert vid FNs utvecklingsorganisation UNDP, får frågan om solcellernas kommersiella framtid målar han upp en bild som är långt ifrån den tekniska vardagen på Ångström Solar Center. Han nämner också miljöproblemen, men i en annan ordning än vad som är vanligt i i-världen: luftföroreningar inomhus, tätorters luftföroreningar, försurning och klimatet. Till

detta kommer frågan om vi har tillräckligt med energi för en framtida ekonomisk utveckling.

Att fortsätta med dagens teknik är uteslutet enligt Thomas B Johansson. Med hänvisning till den nyutkomna UNDP-rapporten World Energy Assessment. Energy and the Challenge of Sustainability betonar han behovet av förnybara energikällor och ny teknik.

- Man kan ju tänka sig flera olika kombinationer av tekniska möjligheter som leder till en framtida långsiktigt hållbar utveckling. Solceller är en av möjligheterna. En annan är vindkraft. Ytterligare en är bioenergi. De kommer att på ett eller annat sätt konkurrera med varandra. Hur loppet kommer att utveckla sig vet vi inte.

Thomas B Johansson betonar att man måste se det större sammanhanget, där marknaden för vindenergi idag är ungefär 20 gånger större än solcellsmarknaden. Potentialen för bioenergi är mycket stor, även om bioenergi inte främst används för elproduktion. Både

vind- och solenergimarknaderna har vuxit med ungefär 30 % om året ett antal år nu, och det finns alla förutsättningar för att de båda ska kunna fortsätta göra det ett bra tag, säger han. I vissa fall har solcellstekniken tydliga fördelar, men också begränsningar.

– Man kan få en väldigt lokal elproduktion genom att integrera solceller med byggnadselement. Man kan hjälpa till med att nå ut till de två miljoner människor som inte har någon el alls. Å andra sidan är det mycket dyrare än vind, vilket är en nackdel när man kommer till de stora marknaderna.

Det höga priset på solceller är också en nackdel om man ska göra mer än att skaffa lite belysning på landsbygden i utvecklingsländer, om man till exempel ska ha ström till ett svetsaggregat. Thomas B Johansson tror att solceller under lång tid framöver kommer att ha svårt att konkurrera för inkomstgenererande verksamheter. Samtidigt är behoven av energi stora eftersom

U-ländernas landsbygd måste industrialiseras för att ge dess människor en chans att komma ur fattigdomen. Solcellernas pris måste framför allt ses i förhållande till bioenergi, som U-ländernas redan idag använder i stor skala men på ett otroligt ineffektivt sätt. Ett annat problem är att solenergin inte alltid kan leva upp till användarnas krav om att systemet som helhet ska fungera.

– Den svaga punkten idag är ofta batterierna och reglerutrustningen. Själva solcellsmodulen uppfattar jag som relativt driftsäker och slagtålig, men systemet är inte lika utvecklat och det är vad som räknas i slutändan, säger Thomas B Johansson.

SYSTEMLÖSNINGAR SKAPAR MÖJLIGHETER

Ett sätt att vidga solcellernas marknad vore att satsa på energieffektivitet. Till exempel borde en byggnad och dess apparater ses som ett system som i sin helhet ska försörjas med el. Enligt Thomas B Johansson är detta en förbisedd möjlighet i både i- och U-länder.

- Man pekar på att det är så dyrt och räknar på att ett hushåll i Sverige behöver 4000 kilowattimmar om året för hushållsmaskiner och sådant. Om man ska ha solceller blir det mycket pengar. Om man å andra sidan har väldigt effektiva hushållsapparater behöver man mycket mindre energi, och behöver också investera mindre i en solcellsanläggning. Då uppkommer frågan: Hur långt ifrån kraftnätet måste man vara för att det ska vara mer ekonomiskt att ha en fristående anläggning med effektiva apparater? Det handlar inte om särskilt många hundra meter, eftersom det är så dyrt att dra ut ledningen.

Thomas B Johansson gör en liknande analys som svar på frågan om solceller kan bli något annat än en nisch på energi-marknaden.

- Jag tror att det kommer att bli mycket mer än en nischmarknad, men inte förrän man kommer ner med kostnaderna. En del beror också på hur man räknar. Får man bara räkna på produktionskostnaden för att

mata in på nätet missar man en hel del av fördelarna, som att elen produceras väldigt nära konsumenterna och att man därför inte behöver lika mycket transformatorstationer och distributionsledningar. De har också ett värde. Utvärdering av vad solcellerna är värda kan inte göras på komponentnivå, utan måste göras på systemnivå, och då ökar deras värde, säger han.

Det är dock ingen tvekan om att kostnaderna för solceller måste ner och då behövs både bättre prestanda och bättre produktionsteknik. Dessutom är konkurrensen gentemot konventionell energi en realitet och dessa energikällor är ofta subventionerade.

- Genom statliga subsidier till konventionell energi har man skapat en uppförsbacke för solenergin som är i storleksordningen 100-200 miljarder dollar per år globalt. Dessutom avspeglar sig miljökostnaderna sällan i marknadspriserna. Det är också till solenergins nackdel, säger Thomas B Johansson. Även solenergin har dock stora

bidrag i form av statliga program, bl a i Tyskland och USA, och Thomas B Johansson betonar att den snabba marknadstillväxten till stor del bygger på olika policybeslut i hopp om att hålla klimatproblemen i styr. För nätansluten baskraftsproduktion kan det dröja decennier innan marknaden kan växa av egen kommersiell kraft. Mellan dagens nischer och basproduktion finns det dock andra marknader som ligger mycket närmare, t ex villatak och fristående anläggningar i utvecklingsländer.

– Om man tittar på en sådan marknad är problemet inte tekniken utan att bygga upp underhålls- och leveranssystem, betalnings- och transfereringssystem, som gör att det hela fungerar och som får ner transaktionskostnaderna. Det är inte ett tekniskt problem som man löser med att minska kostnaderna några procent. Det är institutionella, operativa problem.

I World Energy Assessment betonas exempelvis behovet av finansieringsmöjligheter som

fungerar för fattiga på landsbygden. En möjlighet är att man tillverkar mycket billiga system med begränsad kapacitet. En annan att bekosta systemen genom rimliga månatliga betalningar, alternativt att användaren betalar för använd el snarare än hela anläggningen.

UTHÅLLIGT PÅ SIKT?

Om solcellerna i framtiden kommer att användas i stor skala uppkommer också nya frågor, både att produktionen kan komma att tära på begränsade resurser, framför allt rara metaller, och när det gäller systemens energieffektivitet. Med dagens teknik är det till exempel tveksamt om fristående enheter med batterier bidrar till att minska utsläppen av växthusgaser, eftersom det går åt mycket energi att tillverka batterierna samtidigt som de inte håller i mer än ungefär fem år. Moderna nätanslutna system för hustak betalar dock tillbaka sina energikostnader på kortare tid än sin tekniska livslängd. Hur ser Thomas B Johansson på solcellerna som uthålligt alternativ även i ett

riktigt långt tidsperspektiv?

– I princip är det ett hållbart alternativ. Kan du göra det med kiselceller, så har du obegränsad tillgång på råvara. Men att säga att den teknik vi har idag är färdig att försörja världen med energi är att ta i. Det genomgående temat i hans internationella analys av framtidens energiförsörjning är dock att se till behoven.

– Jag tycker nog att solcellerna har fått väl så mycket uppmärksamhet som de förtjänar, men att man har missat på andra delar av det som behöver göras totalt, som effektiv energianvändning. Framför allt bioenergi har mycket större potential för mycket lägre kostnader de närmaste decennierna än vad solenergi har. Gå tillbaka till det som var det egentliga problemet: ekonomisk utveckling, fattigdom, miljöfrågor. Då räcker inte solceller, utan man måste ha många andra komponenter. Solcellsteknik kan spela en viktig roll i ett större sammanhang.

Annika Nilsson
Vetenskapsjournalist

Smarta fönster

Inom bygnadssektorn finns stora möjligheter till energibesparing. Till exempel kan energieffektiva fönster minska energiåtgången avsevärt. Inom Ångström Solar Center utvecklar vi fönster med variabel genomsläpplighet för synligt ljus och solstrålning. Sådana fönster kallas ofta "smarta fönster". Den kanske mest lovande typen av smart fönster bygger på elektrokroma ytbeläggningar. I ett elektrokromt fönster varieras genomskinligheten genom att en liten elektrisk spänning läggs mellan två genomskinliga kontakter. Dessa kontakter samt de aktiva elektrokroma skikten beläggs

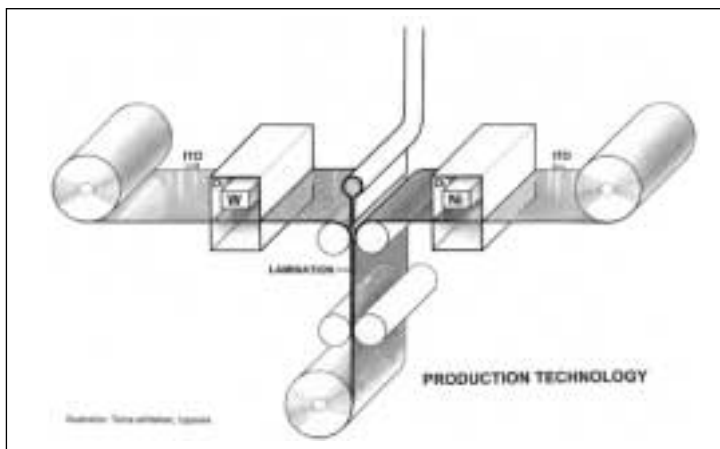
på substraten med hjälp av en sputter-deponeringsprocess.

Med smarta fönster kan man avsevärt minska behovet av luftkonditionering. Också hos oss i norra Europa kan solen värma för mycket under sommaren, speciellt i kontorshus med stora glasfasader. I samarbete med forskarskolan "Energisystem" har vi genomfört en studie av energieffektiviteten hos smarta fönster. En helt ny kontrollstrategi, som ger en bättre energieffektivitet, har utvecklats. I kontorshus är det fördelaktigt att ha fönstret mörkt så att det inte släpper in

något solljus, så länge någon inte är i rummet.

Elektrokroma smarta fönster produceras kommersiellt, men bara i liten skala. I slutet av 1998 presenterade Pilkington det första kommersiella smarta fönstret baserat på glas. Deras produkt är reserverad för ett litet antal utvalda kunder och exklusiva projekt. Alla installationer utvärderas genom kontinuerliga mätningar. Det är sannolikt att den kommersiella aktiviteten kommer att vara låg tills det föreligger en internationell standard för testning av smarta fönster. International Energy Agency (IEA Task 27)

*Schematisk illustration
av produktionslina
för framtidens smarta fönster.*



har i uppgift att ta fram en sådan standard. Vi deltar aktivt i detta stora internationella projekt. Under 2000 har vi börjat arbetet på att ta fram ett testprotokoll för hållbarheten av smarta fönster.

Vi har utvecklat en prototyp av ett smart fönster i storleken 5x5 cm² på plastsubstrat. Smarta fönster baserade på plast kan bli mycket viktiga på retrofit-marknaden för att höja energieffektivitet och komfort i existerande fönster. Denna nya ASC-teknologi verkar därför lovande för kommersialisering. Preliminära tester av hållbarheten har gett goda resultat. De optiska egenskaperna kan ändras gradvis och reversibelt från genomskinligt till en mörk neutral färg. Prototyper på glas och plastsubstrat uppvisar jämförbara optiska egenskaper. Vi har skalat upp processen för beläggning av de elektrokroma skikten, och också lamineringen, till storleken 30x20 cm².

Vår "baslinje-process", bygger på material och processer som tagits fram i vår tidigare forsk-

ning. Sputterteknik används för att belägga glasrutor eller plastfolier med en genomskinlig elektrisk ledare (indium-tennoxid) och ett elektrokromt lager (volframoxid eller nickelvanadinoxid). Två substrat, ett med volframoxid och ett med nickelvanadinoxid, limmas sedan ihop med en jonledande polymer. En stor fördel med den blandade nickelvanadinoxiden är att den kan beläggas från en omagnetisk kommersiellt tillgänglig legering. Av tekniska skäl har den därför ersatt nickeloxid i denna tillämpning.

Målet för vår forskning är att utveckla ett smart fönster med en stor kontrast mellan genomskinligt och mörkt tillstånd samt god långtidsstabilitet. Det är önskvärt att det smarta fönstrets livstid betydligt överstiger femton år. Forskning på material och tillverkningsprocesser tillhör vardagen i vårt arbete och en ytterligare utvidgning av vår patentportfölj har en hög prioritet.

VIKTIGA RESULTAT UNDER 2000

En ny kontrollstrategi för smarta fönster i kontorshus, där det mesta av energin går åt för luftkonditionering, har utvecklats.

Lamineringsteknologi på plastsubstrat i storleken 30x20 cm², har demonstrerats med en enkel teknik.

En enkel metod för att infärga de elektrokroma skikten innan lamineringen har demonstrerats.

Vi har visat att det går att konstruera en elektrokrom anordning av tunnfilmstyp, för nisch tillämpningar. I denna utgörs jonledaren av en tunn film av zirkoniumoxid.

Mätningar på tantaloxid visar att detta material kan användas som en litiumjonledare i smarta fönster.

Tunnfilmssolceller

Solel till överkomligt pris

Elektricitet, en av våra mest fördelade energiformer, kan genereras direkt ur solljus utan farliga biprodukter med hjälp av solceller. Globalt har solcellsindustrin under de senaste fem åren växt med cirka 25 % per år, och omsätter idag årligen motsvarande mer än 10 miljarder kronor. Den vanligast förekommande typen av solcellsmoduler baseras på kristallint kisel. Dessa moduler är effektiva och har lång livslängd, men är samtidigt dyra. Räkнад per kWh är kostnaden för solcellsgenererad el ungefär tio gånger högre än för konventionell el. Tekniskt har solceller potential att i framtiden svara för en betydande del av världens kraftproduktion, men det krävs att produktionskostnaderna sänks kraftigt. Tvivel på att detta kan uppnås med en teknologi baserad på kristallint kisel ligger till grund för de nya tunnfilmsteknologier som börjar etableras.

Solcellsmoduler baserade på kristallint kisel tillverkas av kiselskivor liknande dem som används i halvledarindustrin.



Masspektrometer för in situ kontroll av sammansättningen i Cu(In,Ga)Se_2 i deponeringsprocessen.

Trots att kisel produceras av vanlig sand är processen att omvandla sanden till kiselskivor komplex och resurskrävande. En solcellsmodul innehåller dessutom inte en utan ett stort antal seriekopplade kiselskivor. Detta gör monteringen av modulen kostsam. Tillverkningen av tunnfilmssolceller har goda förutsättningar att bli billig. Tunnfilmssolceller består av ett fåtal tunna, mönstrade skikt som läggs ovanpå varandra i en speciell struktur. Eftersom strukturen är mycket tunn

behövs något som bär upp den. Till detta används vanligt fönsterglas. Modulerna produceras direkt i ett stycke och tillverkningen är både material- och energisnål. Visserligen kan produktionsutrustningen kräva relativt stora investeringar, men tack vare automatiserad tillverkning och hög produktionstakt blir kostnaderna låga.

Det finns idag tre olika typer av tunnfilmssolceller på marknaden. Dessa är amorft kisel, CdTe och CIGS (Cu(In,Ga)Se_2).

Solceller baserade på amorft kisel har relativt låg verkningsgrad och den tillverkningsteknik som används ger ofta begränsad produktionstakt. Nackdelen med CdTe är innehållet av miljögiftet kadmium. CIGS har en till synes komplex struktur och innehåller relativt ovanliga grundämnen. Trots detta befinner sig alla tre typerna av solceller på väg mot industriell massproduktion. Vilken, eller vilka, som blir vinnare återstår att se.

Vid Ångström Solar Center finns ett av de världsledande forskarlagarna inom $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ -baserade tunnfilmssolceller. Vi är idag en grupp bestående av 11 forskare och ingenjörer som arbetar med såväl grundläggande materialstudier som processutveckling. Tyngdpunkten i vår verksamhet ligger inom tunnfilmsteknologi där vi har stor erfarenhet av tillverkning av solcellens alla skikt, både i laboratorieskala och för modulprototyper. Nyligen lyckades vi tillverka en tunnfilmsmodul med en rekordhög verkningsgrad på 16,6%. All tillverkning utgår från en så kallad base-



Seniorer ur CIGS-gruppen : John Kessler, forskare, Lars Stolt, professor, och Marika Bodegård, forskare.

line, där varje processteg är noggrant specificerat och kontrollerat. Detta är ryggraden i vår verksamhet och har stor betydelse för att ge ökad förståelse för de komplexa materialsystem vi arbetar med. En av våra målsättningar är att minimera eller eliminera användningen av miljöfarliga och sällsynta ämnen. Vi arbetar med nya material och innovativa koncept för vidareutveckling av CIGS-tekniken. För att möta dagens krav utför vi accelererad långtidstestning och annan produktkvalifiering.

CIGS-tunnfilmsmoduler har potential att nå 15% verkningsgrad vid tillverkningskostnader på omkring 500 SEK/m². Detta motsvarar ett pris per kWh som är jämförbart med dagens kraftproduktionsteknik, samtidigt som tunnfilmssolceller erbjuder större miljömässiga fördelar.

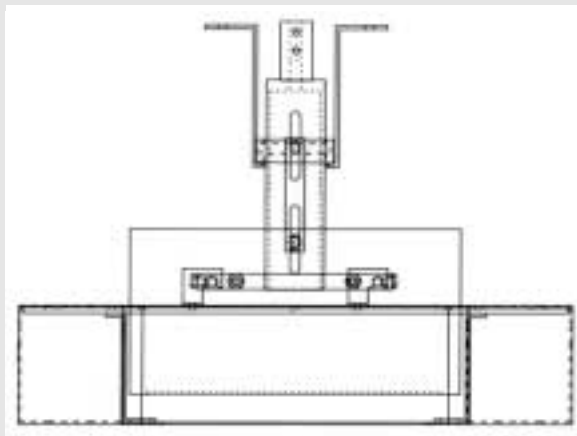
Vi tror att vi i framtiden kommer att få se billiga och effektiva tunnfilmsmoduler baserade på $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ som producerar miljövänlig el både i industrialiserade delar av världen och i utvecklingsländer.

VIKTIGA RESULTAT UNDER 2000

Förbättrade CIGS-skikt med sammansättningsprofiler för att uppnå hög verkningsgrad har utvecklats. Detta har resulterat i en statistiskt säkerställd ökning av medelverkningsgraden för baseline från 14,3 % till 14,9 % för labororieceller.

Genom att använda en avancerad modul-design har vi uppnått 16,6 % verkningsgrad för en inkapslad CIGS-baserad minimodul. Verkningsgraden har verifierats vid Fraunhofer-institutet i Freiburg och utgör ett nytt världsrekord för alla typer av tunnfilmsmoduler. Det nya världsrekordet slår vårt gamla rekord på 14,7 % med nära 2 procentenheter.

Solceller med extra tunn CIGS har utvecklats. 15 % verkningsgrad har uppnåtts för solceller tillverkade av CIGS-skikt med 1 μm tjocklek och 9,3 % för CIGS-skikt med endast 0.4 μm tjocklek.



Design av en substratvärmare med IR-lampa sedd från sidan.

Under år 2000 har vi utvecklat och testat ett unikt system för *in situ* ytanalys med X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) av filmer tillverkade med Atomic Layer Chemical Vapor Deposition (ALCVD).

Utgående från vår baseline för laboratoriesolceller har vi undersökt och jämfört två olika versioner av mini-modul-recept med konventionell design. Det bättre av dessa recept ger 5 x 5 cm² stora mini-moduler med över 13 % medelverkningsgrad.

Nanokristallina solceller

Kontinuerlig produktion av flexibla plastsolceller

För att nanostrukturerade solceller, NSC, ska kunna konkurrera med befintliga kommersiella solceller måste någon faktor vara mycket bättre, antingen verkningsgraden eller tillverkningskostnaden. Eftersom det historiskt har visat sig vara svårt att höja verkningsgraden hos NSC så har huvudstrategin varit att sänka kostnaderna för tillverkningen. Traditionellt sett framställs NSC genom att enskilda glasplattor får passera genom ett total processsteg innan

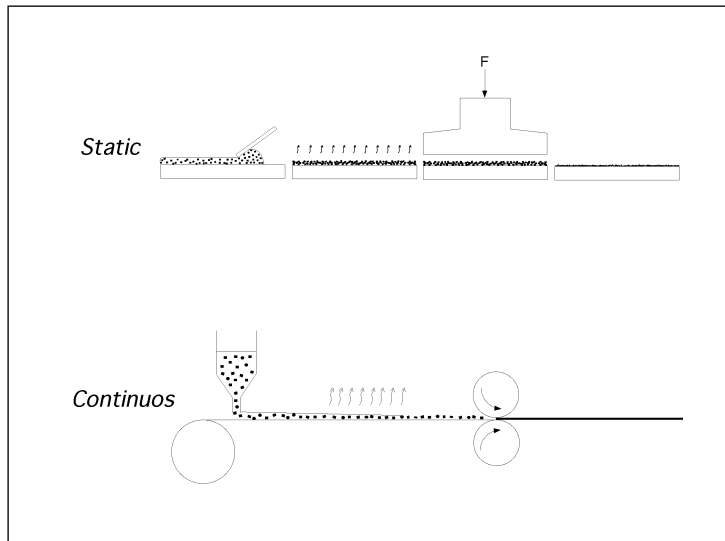
en färdig slutprodukt erhålls. Inom ÅSC har denna metodik bedömts vara alltför energikrävande och tidsödande och vi har därför styrt vår verksamhet mot utvecklingen av en kontinuerlig tillverkningsmetod.

Under året 2000 tillverkades för första gången nanostrukturerade solceller, NSC, på flexibla plasts substrat genom valsning, - en pressmetod som patentsöktes i ÅSC-programmet 1998. Fördelarna är framförallt att metoden är snabb, uppskal-

ningsbar och att alla tillverkningssteg kan utföras vid låga temperaturer i en kontinuerlig process. De inledande försöken visar att verkningsgraden hos en valsad NSC är jämförbar med den som erhålls genom traditionella tillverkningsmetoder. Att solceller kan tillverkas med valsning öppnar möjligheten att tillverka NSC i stor skala.

Utvecklingen av NSC under år 2000 var starkt inriktad mot framställning och design av

Schematisk bild över statisk och kontinuerlig pressning av nanostrukturerade elektroder.



VIKTIGA RESULTAT UNDER 2000

Solceller tillverkades rutinmässigt genom pressning istället för sintring.

Kontinuerlig valsning av solceller på flexibla plasts substrat har demonstrerades.

Två helt nya typer av motelektroder, speciellt avpassade för plasts substrat, utvecklades.

Utrustning för stabilitetsmätningar vid simulerat solljus installerades.

Metoder för att koppla samman flera solceller i en solcellsmodul baserad på plast utvecklades.

Raman spektroskopi utvecklades till ett nytt verktyg för att undersöka degraderingsprocesser i solcellsmoduler

solcellsmoduler. Användbarheten hos patentsökta metoder har demonstrerats och kartlagts genom att tillverka och testa många olika cellprototyper baserade på varierande material. Ett stort statistiskt underlag av solcellsmätningar på dessa prototyper har även genererats. Utvecklingsarbetet har lett till flera framgångar; standardmätningar görs numera rutinmässigt på plastsolceller istället för på traditionella solceller av glas. Två nya typer av motelektroder, speciellt avpassade för användning med plasts substrat, har tagits fram. Utvecklingen av motelektroder har dessutom möjliggjort tillverkning av flera elektriskt sammankopplade solceller på ett och samma plasts substrat, en s k integrerad solcellsmodul.

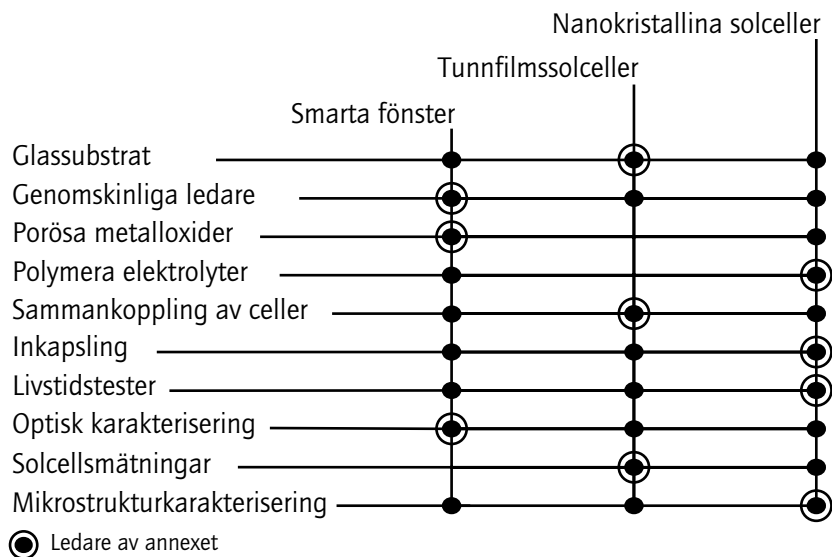
Strategin bakom den grundläggande forskningen har till stor del varit inriktad mot att hitta verktyg och metoder för att spåra nedbrytningsmekanismer i NSC. Bland annat har Raman spektroskopi utvecklats till ett analysverktyg för att identifiera och förstå degraderingsprocesser i NSC så att långtidsstabiliteten kan förbättras.

En annan del av NSC-forskningen har fokuserat på att minska elektriska energiförluster i NSC; bland annat har viktiga kinetiska och termodynamiska parametrar i NSC-systemet kartlagts för att hitta nya angreppssätt för att förbättra verkningsgraden.

Gränsöverskridande projekt

Flera problem och aktiviteter är gemensamma för två eller flera av projektområdena. Till exempel använder man sig inom samtliga projektområden av glassubstrat, vilket innebär att forskningen kring hur man belägger och behandlar dessa har förankring i alla tre projekten. Som framgår av "tabellen" nedan har också en rad andra behov kunnat samordnats inom programmet. Under 2000 användes 1 567 kSEK för gemensamma projekt.

Egenskaperna hos materialen och komponenterna som tillverkas inom ÅSC bestäms av deras mikrostruktur. Nya material med skräddarsydda egenskaper kan åstadkommas om sambanden mellan egenskaper och mikrostruktur kartläggs. Detta är syftet med det arbete som utförs i samarbete med avdelningen för Analytisk materialfysik där högupplösande analytisk elektronmikroskopi används för att karaktärisera de strukturer som tillverkas inom ÅSC programmen.

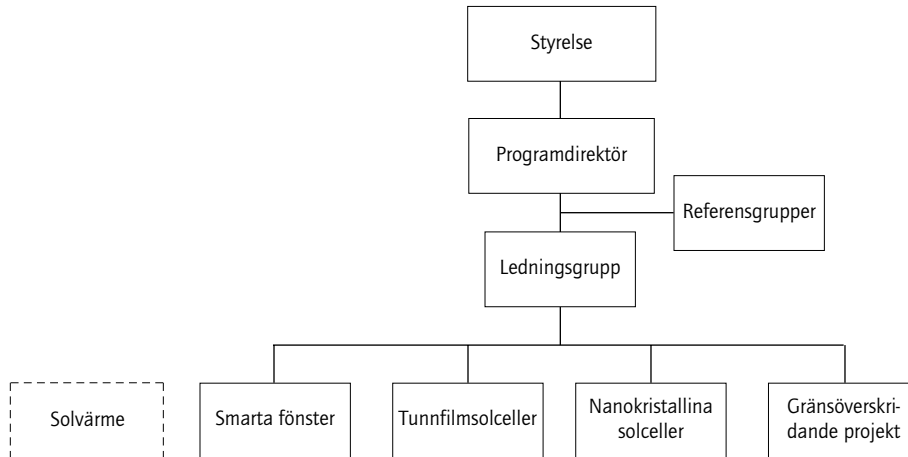


Verksamhetsrapport 2000

Verksamheten inom programmet Ångström Solar Center, ÅSC, inleddes i oktober 1996. Avtalen mellan programvärden Uppsala Universitet och finansörerna Stiftelsen för Miljöstrategisk Forskning, MISTRA, och NUTEK undertecknades i april 1997. Under 1998 övertog Statens Energimyndighet NUTEKs finansiering. Programmet utgörs av följande projektom-

råden: Smarta Fönster, Tunnfilmssolceller, Nanokristallina solceller. Forskargrupper från Uppsala universitet, Stockholms universitet och KTH ingår i projektområdet Nanokristallina solceller.

Programmets organisation
Ångström Solar Center är organiserat enligt följande:



Styrelsen ÅSC

Styrelsen hade under år 2000 följande sammansättning:

ordförande

Dag Sigurd

Industrifonden

ledamöter

Lennart Apleberger

NCC AB

Lars Gertmar

ABB Corporate Research

Lennart Billfalk

Vattenfall AB

Jan Åke Schweitz

Uppsala Universitet

adjungerade

Britt Marie Bertilsson

MISTRA

Maria Malmqvist

Statens energimyndighet

Lennart Malmqvist

Sekreterare

Verksamheten inom ett projektområde

Varje projektområde är indelat i tre eller fyra huvudprojekt, så kallade Tasks. Dessa är i sin tur sammansatta av kortare, väl avgränsade, delprojekt, alla formulerade enligt en gemensam enkel mall.

Varje delprojekt tilldelas en budget. Beslut och uppstart av delprojekt inom ett projektområde tas löpande av ledningsgruppen.

Referensgrupp

Gruppen 'Solenergiteknik i byggandet' diskuterar och analyserar möjligheterna att integrera smarta fönster och solceller i det framtida byggandet. Denna referensgrupp består av:

Lennart Apleberger, ordförande

NCC AB

Enno Abel

CTH

Arne Elmroth

LTH

Lars Gertmar

ABB Corporate Research

Gunilla Hagberg

White Arkitekter

Stefan Sandesten

Vasakronan AB

Claes-Göran Granqvist

Smarta Fönster ÅSC

Karin Granath

Tunnsfilmssolceller ÅSC

Lennart Malmqvist

ÅSC

Patent

Avtalet med Forskarpatent i Uppsala AB, har stimulerat till att verksamheten vid utgången av 2000 har lett till sammanlagt 22 uppfinnaranmälningar varav 1 är patenterad och 8 har patentsökts.

Information

Ångström Solar Center vänder sig utåt med information i många former för att förankra forskningen i samhället, universitets- och forskningsvärlden. Under år 2000 har vi:

- ⇒ Producerat fem doktorer och tre licentiater har avlagt examen och publicerat sina avhandlingar.
- ⇒ Publicerat 36 vetenskapliga artiklar.
- ⇒ Presenterat ett tjugotal konferensbidrag (posters, rapporter och föreläsningar) och ett tiotal föreläsningar i samband med utställningar och kurser och för skolor och företag.
- ⇒ Deltagit i nio EU projekt.
- ⇒ Samarbetat med ett tjugotal forskargrupper vid andra universitet och företag.
- ⇒ Inlämnat två uppfinnaranmälningar till Forskarpatent i Uppsala AB.
- ⇒ Inlämnat tre patentansökningar

Programmets rambudget

Programmets rambudget för hela verksamhetsperioden till och med år 2000 är 70 MSEK. Av detta belopp har 21 552 kSEK förbrukats under 2000.

I rambudgeten har styrelsen fastslagit planeringsramar för vart och ett av programmets projektområden samt för paketet gränsöverskridande projekt.

Medel för att fånga upp nya idéer i programmets randområden, s.k. 'New Vistas', har också avsatts. Avsikten är att kunna pröva idéer en kort tid så att tillräckligt underlag för en självständig finansiering kan skapas.

Budget för perioden 96-10-01 till 2000-12-31 (kSEK) reviderad Juni 99		
Nettobidrag från MISTRA / Energimyndigheten		70 000
Univ. overhead, inklusive hyra, 22 %	15 400	
Styrelse	240	
Programadministration	3 200	
Gränsöverskridande projekt	7 300	
Projektområde Smarta Fönster	9 750	
Projektområde Tunnfilmssolceller	19 000	
Projektområde Nanokristallina Solceller	12 090	
Fond för nya idéer 'New Vistas'	870	
Reserverat för patentutredningar	50	
Reserverat för patentansökningar	800	
Information	1 300	
TOTALT	70 000	70 000

Förbrukning av medel under perioden 2000		
Program	Utfall under 00-01-01 till 00-12-31 (kSEK)	
Programadministration	1 813	
Programgemensam information	281	
Patent	7	
Smarta fönster	3 124	
Tunnfilmssolceller	6 785	
Nanokristallina solceller	4 360	
Gränsöverskridande projekt / 'New Vistas'	1 567	
Overhead, univ. påslag samt högskolemoms	3 615	
TOTALT använt under perioden	21 552	

Diverse solrelaterad information

NASA's solenergidrivna pilotlösa plan, Helios, kan snart vara kapabelt att stanna i luften året runt med hjälp av ett nytt energilagringssystem. Det kan nå altituder högre än 30 000 meter och förse internetanvändare med höghastighetslinjer till 1/20 av priset per data-bit jämfört med nuvarande låghöjdsatelliter.

BP och Shell tillkännager nu officiellt att förnyelsebara energikällor kan förse oss med 50 procent av vårt energibehov i mitten av århundradet.

Inga tecken till nedtrappning: Den världsomspännande produktionen av solcellsmoduler har ökat från 201.3 MW år 1999 till mer än 288 MW år 2000, dvs en årlig tillväxt som överstiger 42%.

De preliminära resultaten från det första kontorslandskapet i världen som är försett med smarta fönster, indikerar en energisänkning med 50% för luftkonditionering.

Tekniska arbetsplaner

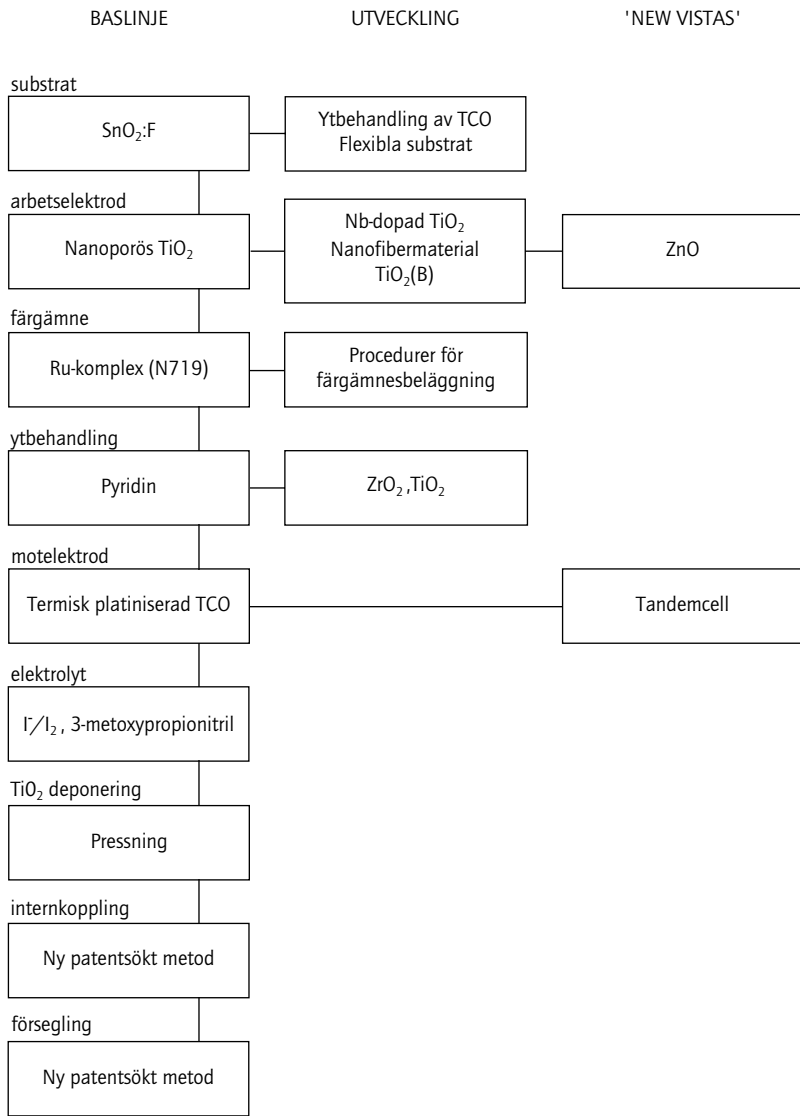
Alla tre forskargrupperna använder en gemensam struktur för sina arbetsplaner. Idén är att ha ett vertikalt perspektiv på processer och frågeställningar i förhållande till deras industriella mogenhet. Det har resulterat i en struktur med tre nivåer; baslinjen (baseline), utveckling (development) och nya idéer ('New Vistas').

Baslinjen representerar en tänkt produktionsenhet där de olika processtegen är valda så att dessa har största möjliga säkerhet och uppskalbarhet.

Utvecklingsnivån innehåller alternativ till processteg i baslinjen. När utvecklingsnivån har demonstrerats vara bättre än motsvarande baslinjesteg implementeras den i baslinjen.

Nya idéer är mer spekulativa projekt.

NANOKRISTALLINA SOLCELLER

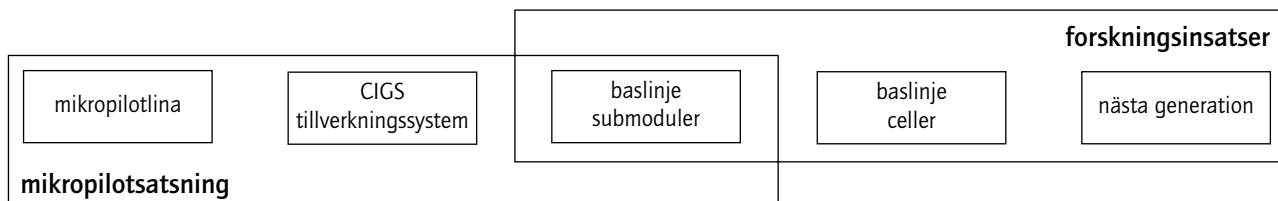


CIGS baserade tunnfilmssolceller: industri relevans

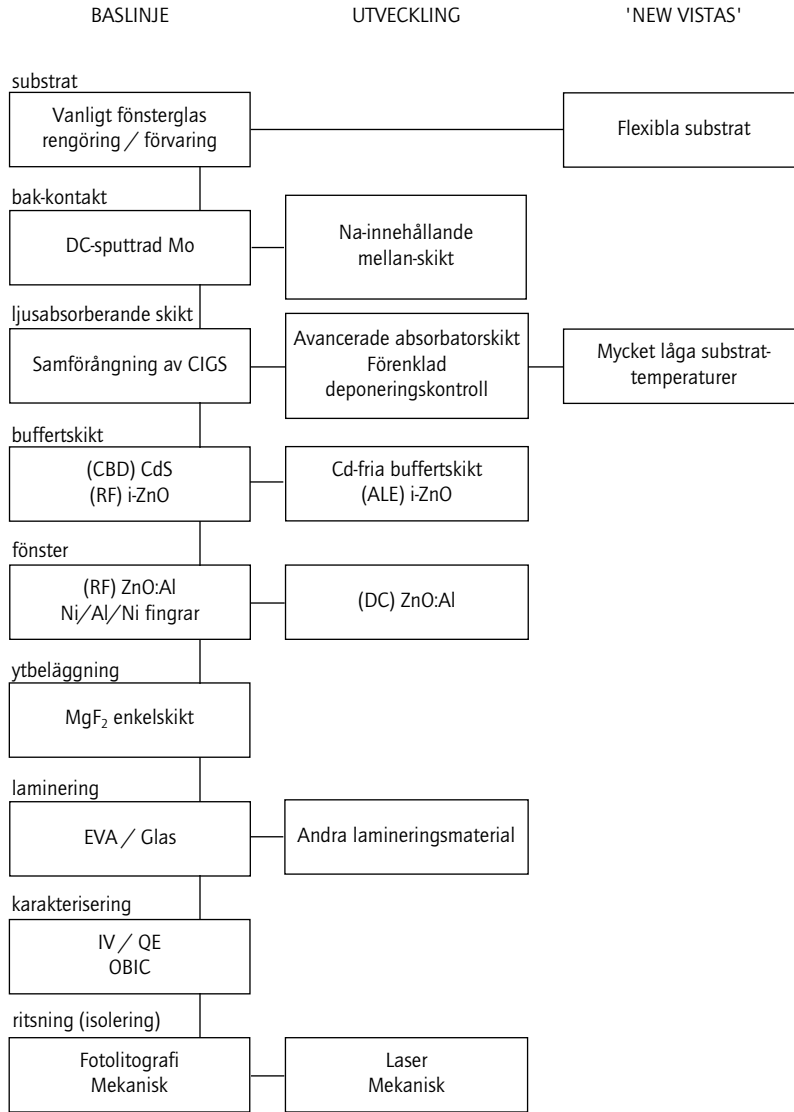
Inom projektområdet CIGS solceller har utvecklingen av produktionsteknik förstärkts genom beslutet att förverkliga en mikropilotanläggning för tillverkning av små CIGS baserade modulprototyper. En deponeringsutrustning med hög tillverkningskapacitet skulle installeras under året men har fördröjts pga för-

seningar hos leverantören. Den levererades först januari 2001.

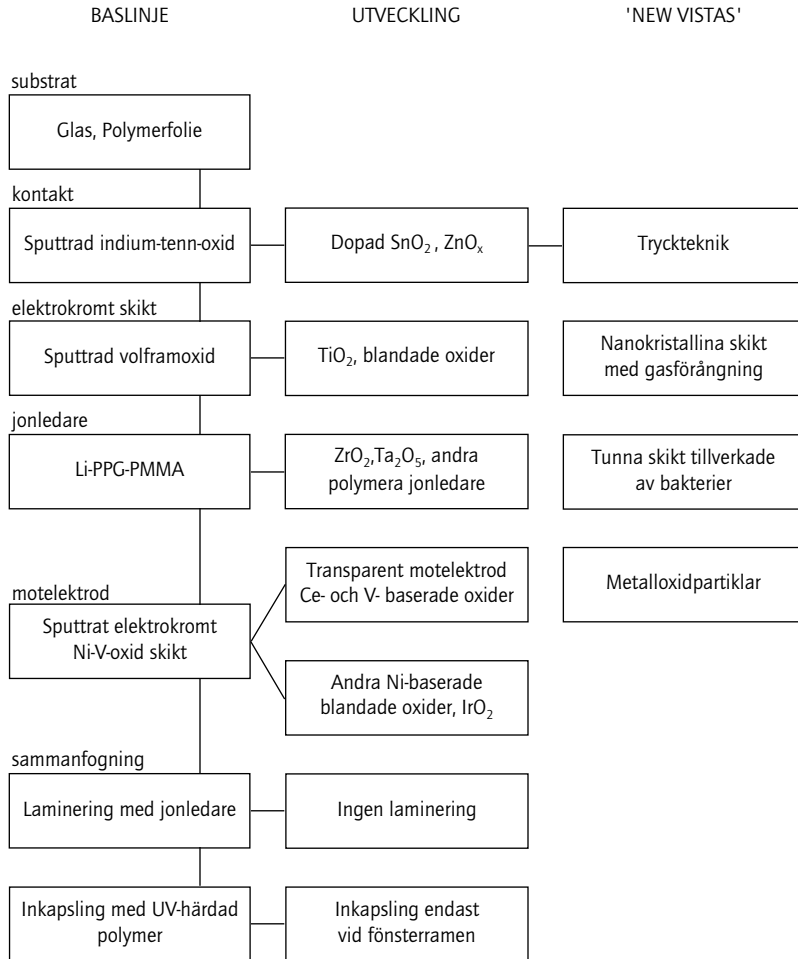
Uppsala Universitet Utveckling AB och Teknikbrostiftelsen avser att tillsammans med nyckelpersonal från ÅSC engagera sig i en fortsatt industriell utveckling av tunnfilmssolceller.



TUNNFILMSOLCELLER



SMARTA FÖNSTER



Personal 2000

Personal inom Ångström Solar Center under 2000. Namn med * är verksamma inom forskningsområdet men finansieras från andra källor.

PROGRAMLEDNING

programdirektör

Lennart Malmqvist

programsekreterare

Anders Hagfeldt

ekonomi

Inger Ekberg

Arne Roos

SMARTA FÖNSTER

professorer

Gunnar Niklasson

forskare

Maurizio Furlani

Richard Karmhag

Arne Roos

doktorander

Esteban Avendano *

Lars Berggren

Annette Hultåker *

Anna-Karin Jonsson

Anna-Lena Larsson *

Sebastian Waita *

forskningsingenjörer

Andris Azens

Shuxi Zhao *

TUNNFILMSSOLCELLER

professor

Lars Stolt

forskare

Marika Bodegård

John Kessler

doktorander

Karin Granath

Olle Lundberg

Jonas Malmström

Jens Schöldström

Jan Sterner

Johan Wennerberg

forskningsingenjör

Jonas Norling

Einar Söderman

NANOKRISTALLINA

SOLCELLER

professorer

Sten-Eric Lindquist

universitetslektor

Paul Brühwiler*

Helena Grennberg*

Anders Hagfeldt

Jan Lindgren*

Emad Mukhtar

Hans Siegbahn*

Gunnar Westin*

forskare

Viviane Aranyos

Gerrit Boschloo

Mårten Edwards

Henrik Lindström

Maria Wijk

doktorander

Niclas Beermann

Helena Greijer

Johan Hjelm*

Karin Keis*

Michael Leideborg

Petter Persson*

Karin Westermark*

post docs

Christophe Bauer

Jianjun He

Heli Wang*

forskningsingenjörer

Anna Holmberg

Niklas Ekström

Eva Magnusson

Homayoun Minapoor

Göran Svensk

GRÄNSÖVERSKRIDANDE

PROJEKT

professor

Eva Olsson *

universitetslektor

Arne Roos

forskare

Henrik Lindström

Jun Lu

doktorander

Niclas Beermann

Monica Gomez*

Per Nostell

Juan Rodriguez*

post doc

William Vargas

post docs

Ralph Joerger *

Tanja Klaus

Andra projekt, patent och rapporter

ANDRA PROJEKT

Forskargrupperna inom Ångström Solar Center deltar också i en rad andra program nationellt och internationellt, alla med anknytning till programmet verksamhetsområde. Bland dessa ingår 13 andra projekt.

Smarta fönster

Printing of Transparent Conducting Layers on Glass and Ceramic Substrates (PRINTRACON) (avslutas 2000) BRITE EURAM BE-3183

Tunnfilmsolceller

CIS Thin Film Solar Cells on Flexible Substrates (FLEXIS) JOULE JOR3 CT98 0304

Nanokristallina Solceller

Heterosupramolekular Chemistry : An Approach to Modulating the Function of Molecular Devices
TMR ERBFMR CT96 0076

Ru-Mn Artificial Photosynthesis
TMR NETWORK ERBFMX CT96 0031

Nanochrome INNOVATION IN2 0732

Fundamental studies and development of nanoporous nanocrystalline materials for solar cells and batteries, TFR-Ramprogram

The Consortium of clusters and ultra-fine particles, SSF

Hållbar energiomvandling med vätgas som energibärare, NUTEK

Solvärme

Forskarskolan Energisystem, SSF

Optimering av sputtrad absorbatoryta (FUD program Solvärme 96-99) NUTEK, Vattenfall

PATENTANSÖKNINGAR

"Method of treatment of Ni-based and Cr-based oxide films for use in electrochromic devices."
A. Azens, C.G. Granqvist et al.

"Climate control system and a method for controlling such."
Patentansökan SE0003112-0
Inlämnad 2000-09-04
C.G. Granqvist et al.

ÅSC-rapporter under 2000

ÅSC-018-CIGS-99

"National survey report of PV power applications in Sweden 1998"

ÅSC-019-CIGS-00

"National survey report of PV power applications in Sweden 1999"

ÅSC-020-SWIN-00

"Assesment of smart windows and the potential for a new swedish industry"

ÅSC-021-SWIN-00

"Smarta fönster - Energiberäkning med IDA ICE"

ÅSC-022-SWIN-00

"Environmental and health risks of metal oxides used in smart windows: A literature study"

ÅSC-023-SWIN-00

"Biomimetic materials for solar energy applications"

ÅSC-024-SWIN-00

"Photoelectrochemical applications of titanium dioxide films prepared by reactive DC magnetron sputtering"



ÅNGSTRÖM SOLAR CENTER

