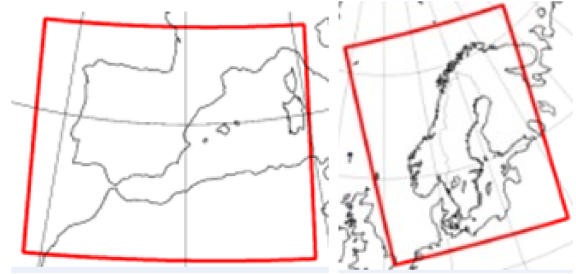


# Prognoser av Solstrålning

Magnus Lindskog och Tomas Landelius, Forskningsavdelningen, SMHI

Numeriska väderprognosmodeller har länge använts som verktyg för att förutsäga huruvida vi kan räkna med klart och soligt eller molnigt väder på en viss plats under kommande dagar. Dagens avancerade modellsystem erbjuder emellertid en möjlighet att göra mer detaljerade solprognoser än vad som tidigare varit möjligt. I dag innehåller modellerna avancerade strålningsscheman indelade i olika våglängdsband. Dessa är kopplade till beskrivningen av mikrofysisk och aerosoler. Vidare finns en stor mängd olika datakällor att utnyttja då man ska bestämma modellens starttillstånd och även ensemblemetodiker för att beskriva prognosernas tillförlitlighet. Detta sammantaget innebär att man kan prognostisera mängden solstrålning som når en viss punkt på marken och uppskatta tillförlitligheten av prognosen. Ett uppenbart användningsområde för dessa prognoser är som underlag för optimering relaterad till solexproduktion.

SMHIs forskningsavdelning har de senaste åren deltagit i såväl nationella som internationella forskningsprojekt för att påvisa nyttan av solstrålningsprognoser inom energisektorn. Vi har använd oss av det numeriska väderprognossystemet HARMONIE-AROME, som ju också används operationellt vid SMHI. Detta har satts upp över två olika områden med en horisontellt gridavstånd på 2.5 km och med 65 vertikala nivåer. Det ena området är centrerat över sydöstra Spanien och det andra över Sverige, vilket visas i Figur 1. För det södra området ligger fokus solenergiprognoser kort tid framåt i tiden, och på metoder för att förbättra dessa. Med kort tid avses här upp till nio timmar framåt i tiden. Information om förväntad solinstrålning på denna tidsskala ger personal på solkraftverk möjlighet att optimera produktionen. Det kan bl.a. handla om att styra lagringen vid och cirkulationshastigheten i termiska solkraftsanläggningar som kan vara utspridda över kvadratkilometer-stora



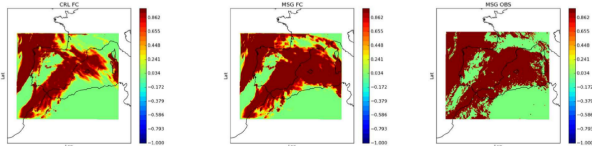
Figur 1: Modellområden för studier av solenergiprognoser.



Figur 2: Solcellsinstallationer i Almeria och i Sverige.

områden. Till exempel finns ett stort solkraftverket i Almeria i sydöstra Spanien, för vilket solenergiprognoser producerades. För det norra området har vi fokuserat på att ge mått på osäkerheterna på solstrålningsprognoserna samt även demonstrera att vi även är kapabla att förutsäga förväntad produktion av solex från en viss solpanelsinstallation eller ett visst område genom att utföra statistisk efterbehandling av data. Figur 2 visar solkraftverket i Almeria samt en solcellsinstallation i Tekniska Verken i Linköpings nät.

För att kunna producera bra förutsägelser av solstrålning så är det viktigt att modellens beskrivning av moln är tillfredsställande. Vi har undersökt om man för korta prognoser kan förbättra dessa genom att applicera en molninitialiseringsteknik, där vi använder en satellitbilsprodukt för att modifiera modellens initiala molnighet. För lite längre prognoser är vår ide' istället att representera effekterna av osäkerheten av modellering av



Figur 3: Molnighet i modellens starttillstånd 18 UTC 20130321 utan (vänster) och med (mitten) molninitialisering, jämfört med en satellitprodukt (höger). Satellitprodukten användes för att initialisera molnigheten.

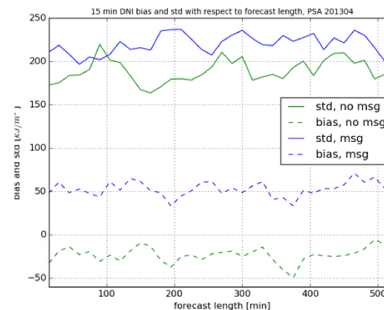
moln på solstrålningsprognoserna med hjälp av ett ensemblesystem.

### Korta prognoser med molninitialisering

Tanken är att under de första nio timmarna är modellens initiala molnighet beroende av hur väl man lyckats beskriva starttillståndets molnighet. Vi har för det södra modellområdet därför nyttjat en satellitbaserad produkt för molnighet. Inverkan på korta moln- och strålningsprognoser av att använda denna produkt i kombination med molninitialiseringstekniken undersöktes. Undersökningen baserade sig på en månads studier då prognoser nyttjande molninitialiseringen jämfördes med prognoser med ett system som inte använde molninitialisering.

Funktionaliteten av molninitialiseringen demonstreras i Figur 3. Det framgår att med molninitialisering anpassas starttillståndet till satellitprodukten. Våra undersökningar visar (illustreras inte) att då molninitialisering appliceras är modellens molntäcke mer konsistent med satellitprodukterna upp till en prognoslängd av ungefär tolv timmar.

En månads HARMONIE-AROME solstrålningsprognoser för solkraftverket i Almeria har jämförts med solstrålningsmätningar vid motsvarande plats. Prognoserna har gjorts både med och utan molninitialisering och resultaten summeras i Figur 4. Man ser att med molninitialisering så minskar statistiskt sett den prognostiserade strålningen. Detta beroende på att mängden moln ökar jämfört med då inte molninitialisering används. Vidare ökar strålningsprognosernas standardavvikelsen då



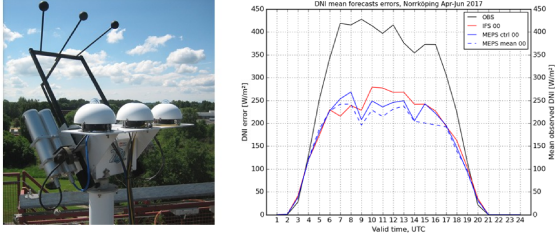
Figur 4: Prognosfel i termer av bias (streckade linjer) och standardavvikelse (kontinuerliga linjer) för 15-minuters ackumulerad solstrålning vid Almeria i Spanien, för april 2013. Blå kurva är för prognoser baserade på ett system med molninitialisering och grön är utan molninitialisering.

man inför molninitialiseringen. Vi misstänker att anledningen till de försämrade strålningsprognoserna med molninitialisering aktiverad är att vår tolkning eller kvalitetskontroll av vissa molntyper i satellitprodukten och detta kommer undersökas vidare.

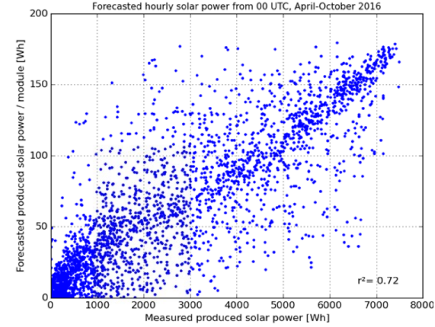
### Sannolikhetsprognoser

Under en tre månaders tidsperiod har solstrålningsprognoser från ett instrument lokaliserat på SMHI i Norrköping jämförts med HARMONIE-AROME operationella ensembleprognoser (MEPS) och ECMWF-baserade prognoser (Figur 5). Med undantag för en kort spin-up period är HARMONIE-AROMEs överensstämmer HARMONIE-AROMEs solstrålningsprognoser bättre med observationerna än vad ECMWFs prognoser gör. Genom att beräkna och använda ensemble mean förbättras HARMONIE-AROME förutsägelsen ytterligare.

Vidare visar vi i Figur 6 för en fallstudie att det finns användbar information rörande solstrålningsprognosernas osäkerhet i HARMONIE-AROMEs operationella ensembleprognoser (MEPS). Det som visas är observerad solstrålning över Norrköping jämfört med olika förutsägelser med MEPS och ECMWF. Notera att osäkerheten, representerad av bredden på det grå området i Figuren, är ganska liten fram till ungefär 06 UTC. De olika solstrålningsprognoser-



Figur 5: Mätstationen för solstrålning i Norrköping (vänster). Högra delen av bilden visar tre månaders medelvärde av solstrålning för olika tidpunkter på dagen baserat på: observationer (svart), ECMWF (röd) HARMONIE-AROME control (kontinuerlig blå) och HARMONIE-AROME ensemble mean (streckad blå).

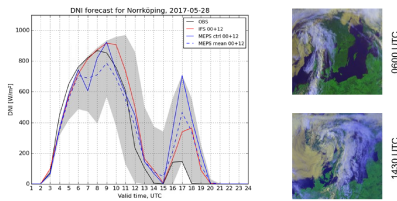


Figur 7: Uppmätt och prognostiserad solelproduktion för en viss installation i Sverige för perioden april till augusti 2016.

### Statistisk efterbehandling

Genom att spara en mängd observationer och prognoser kan man använda sig av statistiska efterbehandlingsmetoder för att vidareförädla solstrålningsprognoserna. Exempelvis har vi nyttjat sju månaders sparade HARMONIE-AROME prognoser över det norra området och för samma period mätningar av producerad solenergi från solcellsinstallationen visad i högra delen av Figur 2. En utmaning var att solpanelernas geometri i allmänhet inte är känd. Emellertid kan dessas azimuth och elevationsvinklar ofta uppskattas relativt noggrant med statistiska metoder. Dessutom finns fritt tillgängliga moduler för att utifrån inkommande solstrålning och geometri beräkna producerad energi för en viss installation. Vi har uppskattat geometrin för installationen till höger i Figur 2 och därefter med hjälp av solstrålningsprognoser från HARMONIE-AROME samt en fritt tillgänglig mjukvara gjort prognoser för energiproduktion för solcellsinstallationen. Dessa prognoser har sedan jämförts med den faktiskt uppmätta energiproduktionen och resultatet redovisas i Figur 7. Som framgår av Figuren så är det en väsentlig korrelation mellan de prognostiserade och uppmätta värdena, så dessa första resultat är lovande.

Ytterligare en utmaning är emellertid att inte alla solcellsinstallationer kan mäta hur mycket energi som produceras utan bara hur mycket man skickar tillbaka till nätet efter att energi också använts vid installationen. Man måste då alltså göra en uppskattning av energikonsumtionen vid



Figur 6: Fallstudie gällande för 20170528. satellit-baserad RGB-bild gällande för 06 UTC och 14.30 UTC. Vänstra delen visar observerad (svart) och prognostiserad solstrålning över Norrköping. Prognoserna gjordes utifrån 20170528 00 UTC. Röd linje är för ECMWF, blå kontinuerlig linje för HARMONIE-AROME control och blå streckad linje för HARMONIE-AROME ensemble mean. Det gråa området visar området mellan maximum och minimum i ensemblens värden.

na stämmer då också relativt väl överens med varandra och också med observationerna. Anledningen är att vi har klart väder och inga osäkerheter kring molnen, som framgår av satellitbilden för 06 UTC i Figuren. Efter 06 UTC ökar dock osäkerheten och de prognostiserade solstrålningarna med olika modeller börjat avvika från varandra och också från observationerna. Från satellitbilderna gällande 06 UTC och 14.30 UTC är en slutsats att den ökade osäkerheten i strålning är associerad med osäkerheter i molnighet i samband med passagen av ett frontsystem över Norrköping under dagen 20170528.

installationen för att kunna jämföra prognos med hur mycket som skickas tillbaka på nätet. En annan sak vi arbetar med är hur man kan skala upp prognoserna för att gälla för energiproduktionen för ett helt område, inkluderande väldigt många solcellsinstallationer.

## Slutsatser

Intresset för prognoser av solstrålning har ökat markant under senare år, inte minst till följd av det ökade intresset för solenergi. Vid SMHI:s Forskningsavdelning pågår en rad olika aktiviteter för att nyttja modelleringssystemet HARMONIE-AROME och de senaste utvecklingarna inom detta för att kunna bidra med underlag för användbara prognoser inom detta område. Vi har här visat att molinitialisering är en lovande väg för kortare solstrålningsprognoser, men vissa utmaningar i tolkning och kvalitetskontroll kvarstår. Det finns även andra utvecklingar inom området dataassimilering, som handlar just om att skapa bästa möjliga starttillstånd för modellen, som är av intresse för solstrålningsprognoser. Ett sådant exempel är 4-dimensionell variationell dataassimilering, där man på ett mer optimalt sätt utnyttjat tidsdimensionen i dataassimileringen än vad man gör med nuvarande operationella HARMONIE-AROME. Vidare har vi visat att det finns mycket användbar information för solstrålningsprognoser i HARMONIE-AROMEs operationella ensemblesystem och att man med efterbehandlingsmetodiker kan förädla modellens produkter.