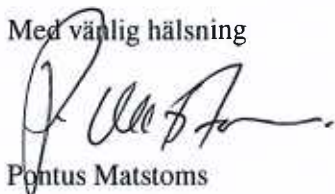


Regeringskansliet
Utbildningsdepartementet
Utbildningsministern
103 33

Datum: 2011-11-28
Vår referens: 2011/946/184

Härmed översändes SMHIs forskningsstrategi inför kommande forskningsproposition 2012.

Med vänlig hälsning



Pontus Matstoms
Forskningschef

pontus.matstoms@smhi.se

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut

601 76 Norrköping Besök Folkborgsvägen 1 Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

SMHI
Box 40
190 45 Stockholm/Arlanda

SMHI
Sven Källfelts Gata 15
426 71 Västra Frölunda

SMHI
Hans Michelsensgatan 9
211 20 Malmö

SMHI
Universitetsallén 32
851 71 Sundsvall

SMHI:s forskning – underlag till forskningspropositionen 2012

Sammanfattning

SMHI bedriver tillämpad forskning och utveckling inom meteorologi, hydrologi, oceanografi och klimat. Forskningen syftar till att på olika nivåer ta fram kunskap, metoder och modellverktyg för beslut som bidrar till god samhällsplanering, minskad sårbarhet i samhället och till att miljö kvalitetsmålen nås. Genom att forskningen är fokuserad på tillämpning är den också väl integrerad över de traditionella ämnesgränserna. Denna strategi är därför skriven utifrån behovet av tillämpad forskning inom de tematiska områdena *Samhällets säkerhet vid extremt väder*, *Klimat*, *Beslutsstöd kring miljömålsarbetet* och *Utveckling av förnybar energi*.

Forskningen är till stor del inriktad på **utveckling och tillämpning av beräkningsmodeller**. För att möta ständigt ökade krav på tillförlitlighet och precision krävs fortsatta utvecklingsinsatser och ökad forskning när det gäller:

- förbättrad beskrivning av underliggande fysikaliska processer och kopplingen mellan mark, vatten, atmosfär och biosfär,
- utnyttjande av observationer, bl.a. fjärranalysdata, för bättre beskrivning av modelltillstånd,
- ökad modellupplösning och relaterade krav på modellutveckling, och möjligheter att klara allt från global till lokal skala, och
- s k ensembleberäkningar, sannolikhetsprognoser och modellutvärdering.

Med ökad komplexitet och upplösning i modellerna ställs allt högre krav på **kraftfulla beräkningsdatorer**. Här krävs särskilda satsningar för att möta kraftigt ökade datorkostnader, på en nivå som varken SMHI eller universitetsinstitutionerna klarar utan särskild finansiering. Detta är viktigt både för att vi långsiktigt ska kunna tillgodose samhällets behov av beslutsunderlag men också för att säkerställa vår starka internationella ställning inom miljö- och klimatforskningen.

EU:s ramprogram är en viktig ingång till nätverk och ger möjlighet att vara med i större utvecklingsprojekt. För att ytterligare kunna **öka deltagandet i EU-projekt** behövs nya former för nationell medfinansiering och stöd för projektplanering. EU-projekten tillmötesgår dock inte alltid behov av långsiktig och kunskapsuppbyggande forskning, varför de nationella forskningsprogrammen inom miljö- och klimatområdet också måste stärkas.

En styrka med forskningen inom SMHI är den samlade kompetensen inom meteorologi, hydrologi, oceanografi och klimat. Den ger samordningsvinster inom metod- och modellutveckling men också viktig närhet till tillämpningar och praktisk användning. **Institutsforskningen** spelar på det sättet en viktig roll inom flera områden.

Samverkan med universitet och högskolor är viktig, dels för att landvinningar inom den akademiska forskningen ska kunna tillämpas inom SMHI:s ansvarsområde, dels för att de modell- och observationssystem som SMHI utvecklar är en resurs för den akademiska forskningen. Detta samarbete skulle kunna stärkas genom delade tjänster och gemensamma doktorander som får tillgång till SMHI:s infrastruktur och modellsystem.

1 Forskningens inriktning och förutsättningar

I SMHI:s uppdrag ingår att ta fram beslutsunderlag som bidrar till *god samhällsplanering, minskad sårbarhet i samhället* och till att *miljökvalitetsmålen nås*. Det är en viktig uppgift som handlar om tillförlitliga, dagliga prognoser och varningar, men också om många av de stora framtidsutmaningarna inom miljöområdet. Ofta handlar det om frågor som enkelt kan formuleras men där svaren kräver *ingående kunskap, analys av komplexa processer och modellberäkningar*. Ett exempel är frågan om vilka åtgärder som i ljuset av klimatförändringen krävs för att klara miljömålen för Östersjön, ett annat är hur vi i god tid kan ge tillförlitliga prognoser och varningar för extremt väder. Båda exemplen visar konkret på samhällsviktiga frågeställningar där framsteg inom forskningen spelar en avgörande roll. Det är med den bakgrunden som SMHI bedriver tillämpad och problemorienterad forskning och utveckling. Genom forskning kan vi gå ett steg längre, ge säkrare beslutsunderlag, tillämpa forskningsresultat från internationella samarbeten och, inte minst, bygga upp kompetens för morgondagens stora frågor.

Forskningen på SMHI är till stor del externt finansierad genom nationella forskningsprogram och genom EU:s ramprogram. En styrka med forskningen inom SMHI är den samlade kompetensen inom meteorologi, hydrologi, oceanografi och klimat, vilket bland annat innebär stora samordningsvinster inom metod- och modellutveckling. Många av de viktiga frågeställningarna är inte isolerade till ett område utan berör flera. Klimatområdet är ett sådant exempel. Rossby Centre, som är en del av SMHI:s forskningsavdelning, bedriver forskning om klimatmodeller och klimatprediktion, där de grundläggande modellformuleringarna är de samma som för meteorologiska och oceanografiska prognossystem. Klimatmodellerna ligger sedan till grund för studier om klimateffekter och åtgärder inom ett brett spektrum av ämnesområden, som går långt utanför SMHI:s specifika ansvarsområden. Institutsforskningen är på det sättet ett viktigt komplement till forskning på universitet och högskolor. Samarbete med universitet och högskolor är viktigt och skulle kunna stärkas genom gemensamma doktorander och delade tjänster.

Den strategi som redovisas i kommande avsnitt är skriven utifrån behov av tillämpad forskning inom ett antal samhällsviktiga problemområden. Det handlar om *samhällets säkerhet vid extremt väder, klimat, beslutsstöd kring miljömålsarbetet och utveckling av förnybar energi*. Dessa tematiska områden har alla sin grund i internationellt förankrad forskning inom meteorologi, hydrologi, oceanografi och klimat. Innan vi kommer in på den delen av strategin vill vi lyfta fram några övergripande frågeställningar, som påverkar forskningens förutsättningar inom samtliga områden.

Modellutveckling

Forskningen inom området handlar till stor del om att bygga upp och vidareutveckla beräkningsmodeller. Det betyder bättre beskrivning av underliggande fysikaliska processer, liksom att fler processer inkluderas i de integrerade modellsystemen. Väderprognosmodellernas beskrivning av moln och nederbörd kan t ex göras mer sofistikerad, likaså hur klimatmodellerna fångar upp koldioxidflöden mellan atmosfär, hav och mark/vegetation. Partiklar i atmosfären har stor betydelse för både klimat och hälsa, men modellbeskrivningen av dessa är idag alldeles för förenklad. Havsmodellernas processbeskrivningar befinner sig också i ett expansivt forskningsfält där speciellt fokus bör riktats mot modellutveckling och införlivning av t ex biogeokemiska processer, som ger bindning eller flöden av näringsämnen och organiskt material i och mellan kustzon, vattenmassa och sediment. Andra exempel rör förbättrad beskrivning av processer vid jordytan och hur de interagerar med atmosfären, men även städernas inflytande på vädret och hur nederbörd och avdunstning påverkar vattenföringen i våra vattendrag.

Vidareutveckling av modellerna pågår kontinuerligt men kommer ofta i skymundan då tillämpningarna hamnar i centrum. För att uppnå högt ställda krav på kvalitet och tillämpbarhet finns ett brett forskningsbehov när det gäller modellutveckling inom ovanstående områden.

Beräkningsdatorer är en förutsättning

Tillgång till mycket kraftfulla beräkningsdatorer är av avgörande betydelse för forskningen inom flera områden, inte minst när det gäller klimatrelaterad forskning. Gemensamt för många beräkningsmodeller är att de bygger på en rumslig upplösning och en tidsmässig beräkningshorisont. För att fånga upp och uttrycka osäkerhet i indata eller i modellens utformning används ensembletekniker, där resultatet och dess osäkerhet beräknas från en stor uppsättning modellkörningar. Vi ser nu en trend där högre noggrannhet och rumslig precision uppnås genom ökad modellupplösning. Denna, i sig positiva utveckling, innebär dock kraftigt ökade behov av beräkningsprestanda och lagringskapacitet. De ökade prestandakraven ställer också krav på modellutformning och implementering, för att så långt som möjligt tillvarata datorarkitekturens särskilda egenskaper.

Samhällets ökande krav på tillförlitliga beslutsunderlag, liksom vår starka internationella ställning inom miljö- och klimatforskningen, förutsätter tillgången till kraftfulla beräkningsdatorer. Vi ser framför oss kraftigt ökade datorkostnader, på en nivå som SMHI har svårt att bära inom ramen för nuvarande ordinarie myndighetsanslag. Extern finansiering krävs för att säkerställa tillräcklig beräkningskapacitet.

Säkrad tillgång till data

Forskningen inom särskilt geo- och miljövetenskap och globala förändringsstudier är alltmer databeroende. Behovet av bättre former för delning och långsiktig tillgång till miljö- och klimatdata för svensk forskning var bakgrunden till det VR-finansierade datavärdskapet för miljö- och klimatdata ECDS (Environment Climate Data Sweden). För att säkra inflödet av data från forskningsprojekt till ECDS har det föreslagits att forskningsfinansiärer bör kräva datapublicering för projekt som finansieras med samhällets medel. För att stimulera tillgängliggörandet av data från (äldre) projekt skulle finansiärerna också kunna lägga större tyngd på de sökandes meriter inom datapublicering.

Visualisering som beslutsstöd

Forskningen inom miljö- och klimatområdet kännetecknas av komplexa processer, stora beräkningar och mycket omfattande och mångdimensionella datamängder. Vi har också att hantera olika modeller och beräkningsförutsättningar, och inte minst frågan om osäkerhet i modellberäkningar. Det gör det sammantaget svårt att ge en enkel och entydig bild av resultaten. För att överbrygga glappet mellan forskning och beslutsfattande har SMHI under senare år, i samverkan med Visualiseringscenter i Norrköping, utvecklat nya ansatser för att åskådliggöra komplexa orsakssammanhang och visa hur resultaten påverkas av olika beräkningsförutsättningar.

Möjligheterna med vetenskaplig visualisering är stora och SMHI har mött mycket positiva reaktioner på det som hittills har gjorts. Fortfarande är vi dock bara i början av en snabb utveckling. Vi ser stora möjligheter att utveckla visualisering till ett viktigt beslutsstöd i det svenska miljömålsarbetet. Det handlar då om att koppla ihop olika modeller och datamängder och skapa system där beslutsfattare, under olika antaganden, kan överblicka effekter och orsakssammanhang. För att gå vidare och på det sättet fullt ut använda visualisering som beslutsstöd krävs dock fortsatt forskning och utveckling av modeller och visualiseringsteknik.

EU-forskning

Svenskt deltagande i EU:s ramprogram är av stort nationellt värde. Det är en betydande finansieringskälla för forskning men också en viktig ingång till nätverk och grund för internationell samverkan. Det ger möjlighet att vara med i utvecklingsprojekt som, åtminstone för mindre nationer, kräver bred internationell samverkan. Hit hör t ex utvecklingen av jordsystemmodeller för klimatstudier. Mot den bakgrunden bör målsättningen vara att öka det svenska deltagandet i EU-programmen och särskilt antalet projekt med svensk koordinator.

För att ytterligare öka deltagandet i EU-projekt behövs nya former för nationell medfinansiering. Inom transportforskningen har Vinnova framgångsrikt, med relativt begränsad insats, bidragit till ökat

svenskt deltagande i EU-projekt genom att direkt stödja ansökningsarbete och ge bidrag till den nationella medfinansieringen. En motsvarande modell inom miljöforskningen skulle ha positiv inverkan på det svenska deltagandet i FP7 och kommande Horizon 2020.

EU-projekten tenderar att alltmer fokusera på ett kortsiktigt nyttoperspektiv. SMHI ser därför svenska och nordiska forskningsanslag som fortsatt viktiga för mer långsiktig och kunskapsuppbyggande forskning, och för projekt som belyser de speciella förhållanden som råder i Skandinavien och som kan ge underlag det svenska miljömålsarbetet.

2 Samhällets säkerhet och extrema händelser

Tillförlitliga varningar för extremt väder och andra extrema händelser, till exempel översvämningar och höga vattenstånd, är av yttersta vikt för samhället. Missade förutsägelser kan resultera i stora ekonomiska förluster och även personskador.

Prognoser och extrema väderhändelser

ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts), som Sverige är medlem i, är världsledande när det gäller globala väderprognoser. För mer högupplösta väderprognoser, med kortare tidshorisont, ingår SMHI i HIRLAM-konsortiet som gemensamt utvecklat särskilda regionala modeller.

Ett viktigt forskningsområde gäller detaljerade prognoser av moln och nederbörd med upptill ett par dagars prognoshorisont. Intensiva väderfenomen, såsom störtregn och storm/orkanbyar, har mycket kort förutsägbarhet, ofta ett par timmar, även om risker för sådana fenomen kan förutsägas flera dagar i förväg. Detaljerade och tillförlitliga varningar av allvarliga fenomen kräver en tät uppdatering i tiden med hjälp av de senaste observationerna och därpå följande prognosberäkningar.

Detaljrikedomen i beskrivningen av modellens starttillstånd måste förbättras. Detta rör såväl vind och temperatur som fuktighet och moln på olika nivåer i atmosfären. Bättre utnyttjande av fjärranalysbaserade observationer, med hög upplösning i tid och rum, ger oss dessa möjligheter. Det befintliga satellitobservationssystemet kommer att uppdateras under de kommande åren och det svenska radarnätverket står inför en större successivt uppgradering med ny radarteknik mellan 2012-2018. Modellernas beskrivning av moln och nederbörd kan göras mycket mer sofistikerad, speciellt när mera data finns tillgängliga. Vidare behövs en förbättrad beskrivning av processer vid jordytan och hur de påverkar atmosfären, såsom till exempel städernas inflytande på vädret, samt is på sjöar och hav.

Ett välkänt problem är att små osäkerheter i prognosmodellens starttillstånd och i fysikaliska processer kring förutsägelser av moln och nederbörd kan leda till snabb feltillväxt i högupplösta prognoser. Prognoserna förlorar noggrannhet på de kortaste skalorna i tid och rum men har ändå en betydande användbarhet sett över lite större skalor. Resurser bör därför läggas på ett sannolikhetsbaserat angreppssätt för korta detaljerade moln- och nederbördsförutsägelser. Forskning inom detta område bör förstärkas och ske genom samverkan mellan kompetenser i meteorologi och matematisk statistik.

Luftkvalitetsprognoser

Vulkanutbrott och kärnkraftverkshaverier är sällsynta händelser, men då de uppkommer efterfrågas snabbt information om var dessa luftföroreningar tar vägen och vilka koncentrationer som kommer att drabba befolkning, infrastruktur och transportsystem. Luftkvalitetsmodeller tillsammans med väderprognosmodeller ger stöd i dessa frågor, men för ett effektivt utnyttjande krävs att modellerna integreras med mätningar i "nära realtid" samt att de kan räkna både framåt och bakåt (ursprung, källstyrka).

Luftkvalitetsmodeller som ger dag-till-dag-prognoser av luftkvalitet i städer efterfrågas på flera nivåer. Exponering för luftföroreningar, framförallt partiklar, medför enligt epidemiologisk forskning ökad dödlighet och risk för såväl respiratoriska som hjärtkärlsjukdomar. Länder inom EU måste enligt lag varna befolkningen om vissa föroreningar antas överskrida vissa nivåer. Eftersom luftföroreningarna, som i Sverige består av både långväga föroreningar från Europa och betydande lokala tillskott i fram-

förallt tätt trafikerade städer, måste modellsystem för olika skalor kopplas ihop till ett fungerande prognossystem. För detta krävs bra emissionsdata i nära realtid, som även tar in temporära utsläpp som t ex skogsbränder. Ett betydande forskningsbehov finns för att genom dataassimilation öka kvaliteten på prognoserna.

Förutom traditionella luftföroreningar är det också av intresse att prognosera höga pollenepisoder. Många allergiker skulle få avsevärt förhöjd livskvalitet genom tillförlitliga pollenprognoser. En utveckling mot bättre och mer kompletta föroreningsprognoser bör även inkludera effektivare förmedling av varningar, t ex via mobiltelefon, till olika riskgrupper.

Översvämningar

Översvämningar till följd av kraftigt regn är idag ett vanligt problem som kan uppstå i alla miljöer. Särskilt intensiva regn kan orsaka lokala översvämningar i t ex urbana områden eller i områden med tunna jordar. För att varningar för intensiv nederbörd ska kunna utfärdas med högre upplösning i tid och rum krävs utveckling gällande prognoser för intensiv nederbörd. Detta skulle kunna ligga till grund för ett effektivt beslutsstöd för insatser och därmed minskade skador för samhället. Här finns också en viktig synergi till högupplösta hydrologiska prognoser.

Ett nytt hydrologiskt modellsystem finns idag uppsatt för hela Sverige (S-HYPE) med hög geografisk upplösning (i genomsnitt 6 km²), vilket är unikt i ett internationellt perspektiv. Systemet utvecklades inom ramen för svensk vattenförvaltning vid införandet av EU:s ramdirektiv för vatten, men kommer snart även att användas vid SMHI:s hydrologiska varningstjänst, både för höga flöden och brandrisk. Den tidsmässiga upplösningen är på dygn men varningstjänsten behöver i kritiska flödeslägen information på timbasis. Detta kräver utvärdering av modellen mot empiriska data på samma höga upplösning och utveckling av processbeskrivningarna.

Inom meteorologi och klimatologi finns etablerade samarbeten i Europa där Sverige har en betydande roll. Även inom oceanografi och luftmiljö utvecklas nu operationella verktyg gemensamt inom EU:s GMES-initiativ. Däremot finns än så länge inga paneuropeiska konsortier inom hydrologi. Här är verksamheten mer splittrad och projektbaserad. Sverige har stor potential att bli ledande inom storskaliga processer och tillämpningar över Europa men också andra kontinenter. Sverige bör därför stimulera det internationella samarbetet för vidareutveckling av storskalig hydrologisk modellering. Därigenom skulle Sverige kunna bidra till globala utvecklingsfrågor och fattigdomsbekämpning, som till stor del är beroende av vattenresurser vid översvämning och torka.

Havsprognoser

Kvaliteten på havsrelaterade prognoser och förutsägelser av extrema händelser är av stor betydelse för samhällsplanering men också för enskilda aktörer i våra vatten. Prognoser och varningar för extremhändelser i form av vattenstånd, istjocklek, isutbredning, ytemperatur och strömmar har stor betydelse för kustnära infrastruktur och fartygstrafik, men påverkar också utvecklingen av eventuella oljeutsläpp, miljökvalitetsvariabler (t ex plankton) och vid sjöräddning (search-rescue-prognos). Kunskapen om spridning av farliga ämnen med strömmar kan även ge riktlinjer för fartygsvägar i högtrafikområden så att eventuella fartygsolyckor ger minsta möjliga negativa miljökonsekvenser.

Forskningen för att förbättra prognosernas kvalitet måste riktas mot modellutveckling och vidare implementering av grundläggande geofysiska och biogeokemiska processer. Strömprognoser är en av de mest använda havsprognosprodukterna men samtidigt är modellerna svåra att verifiera då det ofta saknas observationer av lämplig art. Utveckling av både modellkvalitet och verifieringsmaterial är därför nödvändig. Förbättrade prognoser är också intimt kopplat till informationskvaliteten av initialtillståndet för modellen. Därmed är kunskap och användning av dataassimilation central och återanalys av modelldata och observationer nödvändig och i stort utvecklingsbehov. Hög upplösning av modellerna i tid och i rum krävs då lokala och snabba skeenden kan ha stor och allvarlig betydelse för den fortsatta utvecklingen. Den här typen av lokala och lågfrekventa fenomen bidrar till osäkerhet i prognoserna. Ensemblemodellering är ett verktyg för att öka modelltillförlitligheten, men här krävs fortsatt forskning och utveckling. Förutom grundläggande processförståelse och högupplöst modellering be-

hövs utveckling av användningen av satellitinformation för initialvärdesförbättring och för modellverifiering. Som exempel kan nämnas forskningen kring förståelse av isparametrar från satellit, som kan bidra till väsentlig kunskap både vid klimatförändringar och öka tillförlitligheten i prognosmodeller. Detta område är under stark utveckling och bör införlivas i vår kunskapsbas. På prognossidan är Östersjön, Västerhavet, Nordsjön och Arktis områden där stora samhälleliga behov finns på grund av miljö- och säkerhetsfaktorer. Områdena är därmed också viktiga ur forskningsstrategisk synvinkel.

3 Klimat

Klimatmodeller

Eftersom klimatsystemet är komplext blir också klimatmodellerna komplexa. I takt med att fler relevanta processer beskrivs går utvecklingen mot fullt integrerade jordsystemmodeller. Forskningsbehovet är stort, både vad gäller förståelse för enskilda processer och hur olika komponenter i klimatsystemet växelverkar med varandra och hur detta ska formuleras numeriskt effektivt i modellsystemen. Kunskapsbehovet är ämnesöverskridande och SMHI samarbetar därför med en rad universitet och andra forskningsinstitutioner. SMHI leder t ex den svenska delen av arbetet med en ny jordsystemmodell, EC-Earth, inom ramen för ett större europeiskt konsortium, där också flera svenska universitet aktivt bidrar.

I många tillämpningar efterfrågas klimatdata med hög horisontell upplösning. I dagsläget kan regionala klimatmodeller generera detaljerad information på ett "gridnät" med ned till 5-10 km upplösning. Dessa högupplösta modeller är generellt bättre att använda vid studier av extremhändelser än globala modeller med grövre upplösning. Strävan går mot ännu högre upplösning och arbete bedrivs vid SMHI med utveckling av regionala klimatmodeller med ned till 1-2 km upplösning. Det här ställer krav på forskning kring förfinad modellbeskrivning av småskaliga atmosfärsfenomen liksom att flera processer i gränssnittet mellan atmosfär/mark/hav inkluderas, t ex vegetationsprocesser och kolcykeln, och havsisens betydelse för interaktion atmosfär/hav.

I arbetet med scenarier för det framtida klimatet är det viktigt att kunna beskriva hur klimatet utvecklats under de senaste decennierna för att därigenom kunna värdera hur bra klimatmodellerna fångar upp och förklarar denna utveckling. Här spelar globala och regionala sk återanalyser en stor roll för att ge en konsistent beskrivning av klimatet med dess variationer. Framtagande av nya återanalyser med hög upplösning ger en bättre bild av klimatet från 1900-talets mitt fram till nutid och innebär också ett bättre utnyttjande av tidigare insamlade observationer. Men det tydliggör även behovet av nya metoder för kvalitetskontroll och homogenisering av data med hög tidsupplösning (dygn eller ännu bättre upplösning).

En central fråga kring framtida klimatförändringar handlar om förståelse och kvantifiering av olika källor till osäkerheter. I korthet handlar osäkerheterna om klimatpåverkan, modellkänslighet och naturlig variabilitet. Att olika utsläppsscenarier leder till olika utveckling är uppenbart. Men även användandet av olika klimatmodeller ger olika resultat eftersom olika modeller kan vara mer eller mindre känsliga för klimatpåverkan. På en kortare tidsskala, något till några decennier in i framtiden, kan den naturliga variabiliteten maskera eller förstärka den av människan drivna klimatförändringen, särskilt på regional skala. Ett sätt att hantera de här osäkerheterna är att ta fram ett stort antal scenarier med olika utsläppsscenarier, klimatmodeller och representation av den naturliga variabiliteten i klimatsystemet. Sådana sk ensembler av simuleringar kan sen användas för att beskriva de olika osäkerheterna och för att ta fram mer sannolikhetsbaserad information. Inom forskarsamhället produceras ensembler bestående av ett stort antal klimatscenarier med olika modeller, givet olika framtidsscenarier. En viktig del i forskningsarbetet är att utveckla metoder för analys och förstå spridningen i dessa ensembler. Detta är ett mycket resurskrävande arbete (både beräkning och analys av scenarie-ensemblerna) som ofta görs inom ramen för stora internationella projekt. Framtida forskning handlar bland annat om att analysera och förstå spridningen i dessa ensembler utifrån externa faktorer och modellskillnader. Denna forskning är fundamental för att kunna leverera information om vilka resultat som är robusta respektive mer osäkra som underlag för beslutsfattande.

Ett relativt nytt forskningsområde rör klimatprediktion där klimatmodellerna tvingas utgå från det observerade klimatet vid en viss tidpunkt. Den centrala forskningsfrågan är hur man ska kunna initialisera ("starta") simuleringar utifrån ofullständigt observerat tillstånd i oceanerna och atmosfären för att uppnå prognoser för den faktiska utvecklingen av klimatvariationer för de närmaste åren och decennierna.

Hydrologiska effekter

Studier visar att en framtida klimatförändring kan få stora konsekvenser för vattentillgång, vattenstatus och extrema vattenhändelser. Varje vattensystem är unikt och behöver studeras separat. Sådana analyser kräver god kunskap om dominerande hydrologiska processer och flödesvägar, både i dagens klimat och i framtiden. Här finns stora kunskapsluckor och det behövs både mer detaljerade empiriska processtudier av nederbörd-mark-vattensystem och fler tidsserier av observationer. Framförallt behövs dock kvalitetssäkrade analysmodeller som kopplar processförståelse med observerade data i systemanalyser av större regioner.

Kunskapsbehovet är störst vad gäller geografisk fördelning av nederbördsintensitet, avdunstning och interaktion mellan olika hydrologiska komponenter längs flödesvägarna (t ex snö/ismagasin, markvattnet, grundvatten, vattendrag och sjöar). Många hydrologiska beräkningsmodeller är utvärderade för dagens klimat men har inte blivit kvalitetssäkrade på processnivå för framtida klimat. Detta är ett viktigt framtida forskningsområde för att minska osäkerheten i beslutsunderlag vad gäller klimatanpassning i vattenrelaterade frågor, både i Sverige, Europa och globalt (inte minst vad gäller utvecklingsländerna och framtida livsmedelsförsörjning).

Ett annat viktigt forskningsområde, för att minska osäkerheten i beslutsunderlag för klimatanpassning, rör kopplingen mellan klimatmodeller och effektmodeller. Idag sker nedskalningen av klimatsignalen från globala modeller till lokala hydrologiska modeller enligt en analyskedja i flera steg. Resultatet från en regional klimatmodell går ofta inte att använda direkt i en effektmodell då den trots relativt hög upplösning fortfarande har en lägre upplösning än effektmodellen. För hydrologiska tillämpningar krävs dessutom korrigering av systematiska fel, främst i nederbörden vars variationer i tid och rum inte kan beskrivas fullt ut i dagens klimatmodeller. Det finns dock en risk att klimatförändringssignalen förvanskas under den statistiska bearbetningen. Därför behövs ytterligare forskning, t ex kring hur kunskap om storskaliga vädermönster kan inkluderas i nedskalning och felkorrigering för att bättre hantera extrema händelser med hög upplösning i tid och rum.

Hav i förändring

Ett klimat i förändring påverkar havet på många nivåer och studier av klimateffekter på havet är därför ett viktigt led i klimatanpassningsarbetet. Förändringar berör dels den fysiska miljön, så som temperatur, salthalt, vertikal och horisontell cirkulation och blandning, isutbredning och vattenstånd, och dels havens ekosystem. Fysiska och biogeokemiska modeller för Arktis, Nordsjön, Västerhavet och Östersjön bildar basen för förståelse av havsrelaterad klimatforskning. SMHI har här en betydande modellpark att förvalta och vidareutveckla efter bästa kunskapsläge.

Påverkan på havet är regional/lokal vilket kräver detaljerad information. Detta gör att regional modellering är nödvändig. När det gäller centrala forskningsområden vill vi här peka på regional högupplösning, ensemblemodellering, hantering av osäkerheter i scenarier samt ökad förståelse för geofysiska och biogeokemiska processer. Inom de olika geografiska områdena är Arktis särskilt intressant på grund av dess känsliga miljö, framträdande roll i det globala klimatsystemet och den amplifierade klimatförändringssignal som framträder här. Vi avser att fördjupa vår kunskap inom detta fält. Klimatforskningen är också nära kopplad till miljö kvalitetsarbetet då t ex övergödningen i Östersjön är starkt kopplad till förändringar i klimatet. Ökad vattentemperatur, ökad flodtillrinning och ökad remineralisering har direkt påverkan på pågående policyarbete inom t ex Helsingforskommissionen. För en mer sammanhängande förståelse av kretsloppen mellan olika komponenter av klimatsystemet är en strategisk satsning på utökning av modellerna med processbeskrivningar för kolcykeln av stort värde.

Tvärvetenskaplig forskning är av stor betydelse vid studier av ekologiska och ekonomiska konsekvenser av klimatförändringar, t ex då klimatförändringar kopplas till högre nivåer av ekosystemet och till t ex fiskeresurser. SMHI ingår i denna typ av nätverk och relationerna kommer att utvecklas och stärkas inom internationella samarbeten under de kommande åren. Klimatforskningen relaterar också till prognos och säkerhet då förekomst av extremhändelser, t ex i vattenstånd, kan komma att ändras i ett framtida klimat. Det är givetvis av stor vikt att ha tillgång till tillförlitliga framtidsprojektioner i all planering av kustnära infrastruktur, vilket motiverar mycket av den tillämpade forskningen inom området.

Luftföroreningar påverkar och påverkas av klimatet

Många luftföroreningar påverkar klimatet och flera ingår i gruppen kortlivade klimatpåverkande ämnen (engelsk förkortning SLCF), vilket måste fångas upp i nya generationer av klimatmodeller. Partiklar och ozon i atmosfären påverkar klimatet på ett komplext sätt och processerna är bristfälligt beskrivna i dagens klimatmodeller. Samtidigt innebär deras korta livslängd i atmosfären en möjlighet till åtgärder som omedelbart leder till effekt. Sverige har formulerat en strategi för kortlivade klimatpåverkande luftföroreningar, där målet både är att vi ska kunna påverka klimatet i vår region (t ex Arktis) och att vi ska kunna bistå utvecklingsländer i bekämpandet av hälsofarliga luftföroreningar och lokala klimatpåverkande ämnen.

Synergieffekter finns mellan en bättre luftmiljö och minskad klimatförändring, då de flesta aktiviteter som leder till utsläpp av luftföroreningar också leder till utsläpp av växthusgaser. I många delar av världen prioriteras arbetet med omedelbara luftföroreningsproblem framför utsläppsminskningar av växthusgaser. Detta ger positiva effekter på människors hälsa och ekosystem, effekter som i många fall också är beroende av klimatförändringar. Avancerade luftföroreningsmodeller måste i sin tur ta hänsyn till klimatförändringar om de ska användas för att studera framtida luftföroreningshalter och deposition av försurande, övergödande, eller giftiga ämnen. En utveckling av modellverktyg som kopplar samman klimatförändringar och luftföroreningar kommer att ge säkrare underlag för vilka åtgärder som krävs för att vi ska nå miljömålen.

4 Beslutsstöd för miljömålsarbetet

Forskning vid SMHI inom miljömålsarbetet berör målen *begränsad klimatpåverkan, frisk luft, skyddande ozonskikt, ingen övergödning, levande sjöar och vattendrag, grundvatten av god kvalitet, hav i balans samt levande kust och skärgård*, och syftar ofta till att ta fram underlag och beslutsstöd där effekter och kostnad av olika åtgärdsscenarioer kan jämföras. Forskningen bidrar också till klimatanpassningsfrågor genom förbättring av modeller och processbeskrivningar som stärker tillförlitligheten i framtagna framtidsscenarioer. För att policyrelaterad forskning, inom miljö och klimat, snabbt ska nå ut till beslutsfattare krävs att informationen synliggörs. Komplexa processer, scenarier och en stor mängd data behöver framställas på ett begripligt sätt i ett forum som främjar förståelse och diskussion. Vidareutveckling av visualisering och vetenskapliga kommunikation är därför prioriterat.

Luftföroreningar och partiklars spridning ger effekter på hälsa och miljö

För att förstå och kunna kontrollera dagens luftföroreningssituation behövs en kombination av kvalitetssäkrade mätningar och spridningsmodeller som kan ge en rumslig beskrivning av halter och deras variation i tiden. Modeller används i kombination med annan information för att bestämma hur stor del av befolkningen som påverkas av hälsovådliga lufthalter, eller hur stor area av en viss biotop som påverkas av övergödande eller försurande nedfall. Luftkvalitetsmodeller ger också möjligheten att studera effekten av kommande emissionsförändringar och klimatförändringar.

Speciellt viktiga områden där modellerna behöver utvecklas är beskrivningen av partiklar samt interaktioner med markytan – framförallt utbytet av gaser och partiklar med olika marktyper. Detta skulle ge möjlighet att beskriva spridning i luft av komplexa ämnen som persistenta organiska miljögifter (PoPs), PAH:er och metaller, ett område som idag har stora kunskapsluckor. Förutom forskning kring

partiklars klimateffekt, som betonats tidigare, behövs mer kunskap om partiklars uppkomst i form av primära antropogena och naturliga utsläpp samt sekundär partikelbildning i atmosfären. Inandningsbara partiklar utgör den för människan allvarligaste luftföroreningen och kunskap om partiklars sammansättning och ursprung är viktig input till epidemiologisk forskning. I slutändan kan sådan kunskap leda till rätt åtgärdsprioritering på nationell, regional och kommunal nivå.

Rent vatten – tillämpad forskning för vattendirektiv och åtgärdsprogram

SMHI har fått internationell uppmärksamhet och lovord från vetenskapliga utvärderingar av det detaljerade nationella beräkningssystemet av närsalter och vatten som täcker hela Sveriges yta. Systemet kopplar övervakningsprogram med nationella databaser i ett dynamiskt simuleringssystem som är unikt på nationell skala. Detta kan idag användas som hydrologiskt laboratorium för processtudier och ge svar på frågor kring hur föroreningar rör sig i olika skalor och hur de bäst ska beskrivas. Forskningsbehovet för bättre modeller är stort för att med säkerhet kunna svara på hur förändringar av markanvändning, flödesvägar och klimat påverkar vattenstatus och miljömål.

Simuleringsmodeller krävs även för att uppskatta effekten av olika åtgärdsprogram för givna miljömål. Modeller används för detta i olika skalor – från lokal skala av enskilda vattenråd till internationell skala för Östersjöns avrinningsområde och Europas kuster. Tillförlitligheten i simuleringarna säkras bl.a. i modellöverskridande jämförande studier, men ytterligare vikt bör läggas på utvärdering av närsaltmodellerna gentemot mätningar. De åtgärder som införs måste följas upp med mätprogram för att öka kunskapen om nyttan. Dessutom krävs noggranna processtudier av flödesvägar. Genererad data ska göras tillgänglig och användas för att säkerställa modellberäkningar och öka tillförlitligheten i beslutsunderlag.

Vattenkvalitetsmodeller har även använts i deltagande modellering för att höja kunskapsnivån bland brukare, skapa lokalt engagemang och utarbeta åtgärdsplaner lokalt. Hypotesen har varit att mer demokratiskt utformade och bättre lokalt förankrade åtgärdsplaner skulle vara lättare att införa. Än så länge har dock inte resultaten varit entydiga vilket motiverar mer tillämpad forskning för att ge samhället råd om vilka införandeprocesser för miljöåtgärder som är mest effektiva inom olika områden.

Havsmiljöforskning för att säkra ekosystembaserad förvaltning

Havsforskningen inom SMHI bidrar till kunskapsunderlag för bland annat Östersjöstrategin, Marina direktivet och Vattendirektivet. Östersjön lider av stora, pågående övergödningssproblem. Modellering är en central del av åtgärdsarbetet för Östersjöns havsmiljö och av vikt är att förstå sambanden mellan närsaltsbelastning från land, närsaltspooler i sediment och vattenkolumn och övergödningssymptom såsom cyanobakterieblomningar och stora bottenområden med syrebrist. Simuleringarna ger beslutsunderlag till t.ex. Helsingforskommissionens arbete med "Aktionsplanen för Östersjön". Osäkerheter i beslutsunderlagen uppstår dels p.g.a. antaganden om en framtida socio-ekonomisk utveckling men också genom bristande processförståelse och brister i modellerna.

Som indikatorer för god vattenstatus förväntas att man använder biodiversitet eller artsammansättning. Detta innebär att man måste utföra analyser av befintliga data för att förutspå framtida klimatologiska effekter samt övergödningseffekter på ekosystemet. SMHI vill ta en aktiv roll i arbetet med att ta fram planktonindikatorer. Detta arbete innefattar modellering såväl som analyser av befintliga data.

Kustzonens processer och dess roll som filter mellan land och utsjö behöver få en mer framträdande forskningsroll, då också lokala effekter av utsläppsåtgärder kan studeras mer i detalj. Arbetet med validering, återanalys och dataassimilering av såväl modellresultat som observationer har här en betydande roll för att säkerställa kvalitet. Miljöövervakningsprogram och tillförlitliga observationer ger också grund för utveckling av processer och validering av implementeringar och åtgärdsprogram.

Bidrag till beslutsunderlag inom OSPAR kommissionen åstadkoms genom fysisk-biogeokemisk modellering av Nordsjön. Av speciellt intresse är kopplingen Nordsjön-Västerhavet-Östersjön och modellutveckling och processtudier i detta område. En sådan utveckling bidrar även till prognosverktygen samt ger möjlighet till regional nedskallning av klimatscenarier för Nordsjöområdet. Även vidareut-

veckling av modeller för Arktis är i forskningsfokus. Området är betydande i såväl klimat- som naturresurssammanhang.

5 Förnybar energi

Sverige och EU har ambitionen att öka andelen förnybar energi. Bra beslutsunderlag som rör väder och vatten krävs både vid planeringen av nya anläggningar och för operationell drift.

Vattenkraft

I Sverige står vattenkraften för 50% av elproduktionen. Hydrologiska modellberäkningar utgör basen för dimensionering av dammar och för daglig reglering av magasin, då man optimerar produktionen med hänsyn till dammvolym och konsumtionsbehov/elpris. Hydrologiska prognoser efterfrågas både på kort och lång sikt. De största kraftverksdammarna ligger i fjällkedjan och en vetenskaplig utmaning ligger i att förutsäga snösmältningens start och förlopp, som beror av dels hur stor snömängd som magasineras i fjällen under vintern, dels vädrets utveckling under prognosperioden.

För hydrologiska korttidsprognoser (1-2 veckor) används dynamiska vädermodeller med gott resultat. Meteorologiska säsongsprognoser med dynamiska vädermodeller har emellertid fundamentala och inneboende stora osäkerheter för att vara direkt användbara och därför används istället statistiska metoder i hydrologiska långtidsprognoser. Här utnyttjar man historiska data för observerade vädersituationer och aktuell forskning söker efter samband mellan olika cirkulationsmönster i atmosfären och tidsserier för nederbörd och temperatur, för att identifiera de historiska år som förväntas bäst beskriva den framtida utvecklingen. För tidiga vårflödesprognoser kan statistiska samband som kopplar storskalig atmosfärisk cirkulation direkt till vårflödesvolym vara mycket användbara. Mer forskning behövs dock för att förstå vilka processer som är inblandade, identifiera tillräckligt starka samband och slutligen koppla olika angrepp för optimal praktisk tillämpning i vårflödesprognoser.

Vind- och solenergi

Vindenergi är på stark frammarsch i Sverige och vi befinner oss i en intensiv utbyggnadsfas av vindkraft för att uppnå målet om 30 TWh producerad effekt 2020. Detta kräver att resurser samlas inom industri, forskning och samhällsplanering, för att därigenom underlätta utbyggnad och drift. Underlag för planering och etablering av vindkraft ställer stora krav på beskrivning av lokala vind- och nedslagsförhållanden, i nuvarande och kommande klimat. Över hav behövs även information om våg- och isförhållanden.

Solenergipotentialen är hög i stora delar av Sverige men visar mycket lokala variationer. En korrekt småskalig beskrivning av molnigheten och strålningsförhållanden krävs med hög upplösning i tid och rum för att optimalt kunna planera solenergiansatser.

Korta prognoser (ett dygn eller mindre) av producerad effekt är viktiga för energisystemet när vind och senare solenergi blir betydande komponenter i det svenska elsystemet. Här krävs dock både bra högupplösta modeller och en mängd lokala och nya observationer för att öka precisionen och speciellt för att få prognoser på mycket kort tidsskala (timmar). Detta är av stort intresse för både energibolag och berörda myndigheter.

Både vind- och solenergin är i ett skede där ett framgångsrikt, storskaligt införande kräver forskning och utveckling. Vi menar att forskningen inom området skulle vinna på ökad samordning. De tankar som har framförts från Energimyndigheten, om ett nationellt centrum för energiforskning, bör därför realiseras. och SMHI har då en viktig roll i en sådan konstellation.