

Vägledning för användande av klimatscenarier

Gunn Persson, Gustav Strandberg och Peter Berg



Persson G., Strandberg G. och Berg P. 2015. Vägledning för användande av klimatscenarier. SMHI Klimatologi Nr 11. SMHI, SE-601 76 Norrköping. Pämbilden är tagen i Nyköping av Gunn Persson.

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 11, 2015

Vägledning för användande av klimatscenarier

Gunn Persson, Gustav Strandberg och Peter Berg

Förord

SMHI fick i sitt regleringsbrev för år 2014 uppdraget att, i samråd med berörda myndigheter och andra aktörer, ta fram en vägledning för användandet av klimatscenarier.

Enligt önskemål framtog vägledningen som en webb-produkt på smhi.se, i anslutning till klimatscenarier. Materialet finns även samlat i denna rapport, såsom det lanserades hösten 2014. Eftersom materialet är uppbyggt för webb-presentation, där läsaren ska kunna gå in i kapitel utan att ha läst de tidigare, förekommer en del upprepningar.

Klimatscenarier är beskrivningar av hur klimatet kan utvecklas i framtiden. Vägledningen ger stöd för att tolka och använda klimatscenarier, med dess möjligheter och begränsningar. Klimateffektstudier beskrivs översiktligt och med fokus på hydrologiska effektstudier. Några enkla steg för att komma igång med klimatanpassning presenteras också. I ordlistan förklaras de begrepp som används.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	1
2	INLEDNING	1
3	VAD ÄR KLIMATSCENARIER?	1
3.1	Varför finns klimatscenarier?	1
3.2	Vad är ett klimatscenario?	2
3.3	Klimatscenarier och väderprognoser	5
3.4	Hur tas klimatscenarier fram?	7
3.5	Vad är strålningsdrivnings- och utsläppsscenarier?	8
3.6	Vad är RCP?	12
3.7	Vad är en klimatmodell?	15
3.8	Vad är Global klimatmodell?	16
3.9	Vad är Regional klimatmodell?	18
3.10	Vad betyder nedskalning?	19
3.11	Vad är DBS-metoden?	20
4	VILKA KLIMATSCENARIER FINNS?	22
4.1	Varför finns olika klimatscenarier?	22
4.2	Osäkerheter	23
4.3	Vad är CMIP, ENSEMBLES och CORDEX?	25
4.4	Var finns klimatscenarier?	25
4.5	Klimatindikatorer	26
4.6	Om klimatindex	28
4.7	Exempel på klimatindex	29
5	HUR KAN KLIMATSCENARIER ANVÄNDAS?	33
5.1	Vilka klimatscenarier bör användas?	33
5.2	Variation i tid och rum	34
5.3	Hur ska scenariodata tolkas?	35
5.4	Exempel	38
5.5	Hur hanterar vi osäkerheter?	41
5.6	Att tänka på	41
6	EFFEKTSTUDIER TILL STÖD	42
6.1	Effekter på olika sektorer	43
6.2	Vad är effektstudier?	44
6.3	Var finns effektstudier?	45

6.4	Vad är hydrologiska modeller?	46
6.5	Vad visar hydrologiska effektstudier?	47
6.6	Varför olika underlag?	49
7	KLIMATANPASSA – ATT STARTA	50
7.1	Steg 1– Varför klimatanpassa verksamheten?.....	51
7.2	Steg 2 – Hur påverkas verksamheten av rådande klimat?	52
7.3	Steg 3 – Hur kan verksamheten påverkas av förändringar i klimatet?	52
7.4	Steg 4 – Hur kan verksamheten klimatanpassas?	53
7.5	Fler faktorer att tänka på	53
7.6	Länkar till klimatanpassning	53
8	ORDLISTA	56

1 Bakgrund

I SMHI:s regleringsbrev för år 2014 beskrevs att ”SMHI ska, i samråd med berörda myndigheter och andra aktörer, ta fram en vägledning för användandet av klimatscenarier. Vägledningen ska underlätta olika aktörers klimatanpassningsarbete genom att göra det tydligt hur klimatscenarier kan användas i olika situationer relevanta för samhällsområden där klimatanpassning är nödvändig. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet (Miljödepartementet) senast den 12 december 2014.”

Resultatet av uppdraget blev webbsidor på smhi.se, ”Vägledning klimatscenarier”. Det framkom, under samrådsprocessen, önskemål om att materialet skulle vara refererbart. Därför har det samlats i denna rapport och avser alltså webb- innehållet då det lanserades hösten 2014.

2 Inledning

Klimatscenarier beskriver möjliga utvecklingar av klimatet. De är forskarnas svar på frågor om hur klimatet kan bli i framtiden. I denna vägledning beskrivs klimatscenarier och hur de tas fram. Det är en lång kedja av antaganden och beräkningar.

Det är inte nödvändigt att förstå alla detaljer men det är viktigt att ha en grundläggande insikt i de steg som tas för att komma fram till ett klimatscenario.

Vägledningen ger stöd för tolkning av klimatscenarier med dess möjligheter och begränsningar. Klimateffektstudier beskrivs översiktligt och med fokus på hydrologiska effektstudier. Några enkla steg för att komma igång med klimatanpassning presenteras. I ordlistan förklaras de begrepp som används.

Att studera framtiden är svårt oavsett vilka aspekter det gäller. När det gäller framtida klimat handlar det om mycket komplexa processer. Det är därför inte lätt att ge svar på alla frågor om framtidens klimat.

Det finns många osäkerheter om hur klimatet kommer att utvecklas i alla dess aspekter och hur dessa förändringar påverkar miljö och samhälle. Samtidigt finns mycket information att hämta ur de klimatberäkningar som görs och det material som presenteras.

3 Vad är klimatscenarier?

Klimatscenarier är forskarnas sätt att formulera svar på frågan om hur klimatet kan förändras om atmosfärens innehåll förändras.

Detta avsnitt behandlar grunden till klimatscenarier; varför de finns och hur de tas fram. Det är en lång beräkningskedja med komplexa modeller och antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser.

Modeller och metoder beskrivs. Här förklaras också flera av de begrepp och förkortningar som är vanligt förekommande i sammanhanget. Fler begreppsförklaringar finns i Ordlistan (kapitel 8).

3.1 Varför finns klimatscenarier?

Klimatscenarier är framtagna av klimatforskare för att ge svar på frågan ”Hur kan klimatet tänkas bli i framtiden?”.

Vi är till olika stor grad anpassade till det klimat som varit. Ibland mycket medvetet och ibland utan större tanke. Det är en naturlig process att anpassa verksamheter till rådande förhållanden, varav klimatet är en faktor. Samhällen utvecklas utifrån rådande förhållanden. I Norden bygger vi t.ex. välisolerade hus, vi är vana vid att hålla kylan ute men vi är sämre på att inte få för varmt inomhus under varma dagar. Det gäller även

människans beteende. Vi nordbor är väl rustade med kläder då kylan sätter in men vid vistelse i varmare länder står vi i solen och den inhemska befolkningen i skuggan.

Klimatet förändras och med allra största sannolikhet beror det på människans aktiviteter. Då uppstår frågan ”Hur blir det med klimatet i framtiden?” eller mer exakt är frågan till klimatforskarna ”Hur blir klimatet när vi förändrar atmosfärens sammansättning?”

Klimatscenarier är beskrivningar av möjliga utvecklingar av klimatet i termer av meteorologiska variabler t.ex. årsmedeltemperatur och säsongsnederbörd. De är en sammanställning av vår förståelse om klimatet och är basen till klimatforskarnas svar.

Klimatet har en stor naturlig variation, eller variabilitet som meteorologerna uttrycker det. Vi vet att förändrade förhållanden i atmosfären påverkar klimatet. Vi vet att människan nu förändrar atmosfärens sammansättning. Det betyder att klimatet förändras och de förändrade förhållandena i atmosfären kommer att påverka klimatet under mycket lång tid framöver. Det innebär att vi inte kan göra klimatbeskrivningar för framtiden enbart baserat på observationer av hur det har varit.

Klimat är statistisk beskrivning av väder under längre perioder. Statistik som enbart baseras på historiska förhållanden är inte längre giltig för framtidens klimat. Långa observationsserier av t.ex. nederbörd är väldigt bra, men räcker inte till för att beskriva framtida nederbördsförhållanden.

Därför används klimatscenarier för att beskriva framtidens klimatförhållanden, med den osäkerhet som givetvis finns inbäddad i frågeställningen. Hur människan framgent påverkar atmosfären är en global fråga som innefattar samhällsförändringar, politik, teknik, ekonomi osv.

Klimatforskaren som ska producera klimatscenarier baserar sin forskning på kunskaper om klimatsystemet och använder sig av fysikaliska samband som beskriver naturens tillstånd och flöden.

Klimatscenarier svarar t.ex. inte på frågan ”Hur ska jag klimatanpassa min kommun?”, men klimatscenarier kan vara ett av de redskap som behövs för att finna svar på den frågan.

I Kunskapsbanken på smhi.se finns mer information om klimatförändringarna.¹

3.2 Vad är ett klimatscenario?

Ett klimatscenario är en beskrivning av en tänkbar utveckling av klimatet i framtiden i meteorologiska termer. Klimatscenarier är flera tänkbara klimatutvecklingar.

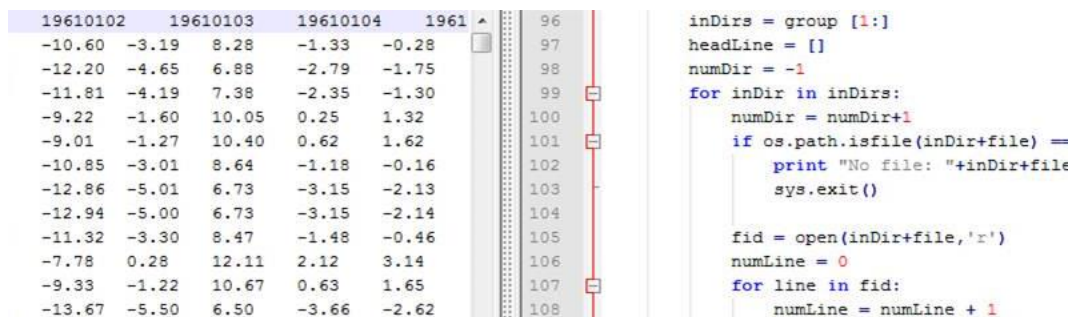
Ett klimatscenario beskriver en tänkbar utveckling av klimatet, i termer av exempelvis årsmedeltemperatur. Beskrivningen kan vara i form av karta, diagram eller tabell. Värdena som ges kan vara absoluta tal (t.ex. temperaturen för ett område), differenser (t.ex. skillnad mellan tidsperioder) eller relateras till ett värde (t.ex. medelvärde för perioden 1961-1990 subtraheras från de studerade perioderna). Perioden 1961-1990 är av Världsmeteorologiska organisationen (WMO) definierad som normalperiod för klimatbeskrivningar och används ofta som referensperiod vid jämförelser mellan tidsperioder. Differenser eller relativa värden kan anges som absoluta tal eller som procentuell avvikelse.

Informationen baseras på avancerade beräkningar i mycket kraftfulla superdatorer. Klimatforskarna gör fysikaliska modeller som beskriver klimatsystemet. De måste formulera, i matematiska termer, hur mark-atmosfär-vattensystemen samverkar. När

¹ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatforandringarna-marks-redan-idag-1.1510>

modellerna sedan gör beräkningar för framtiden matas de med information om de förändrade förhållanden vi antar för atmosfären.

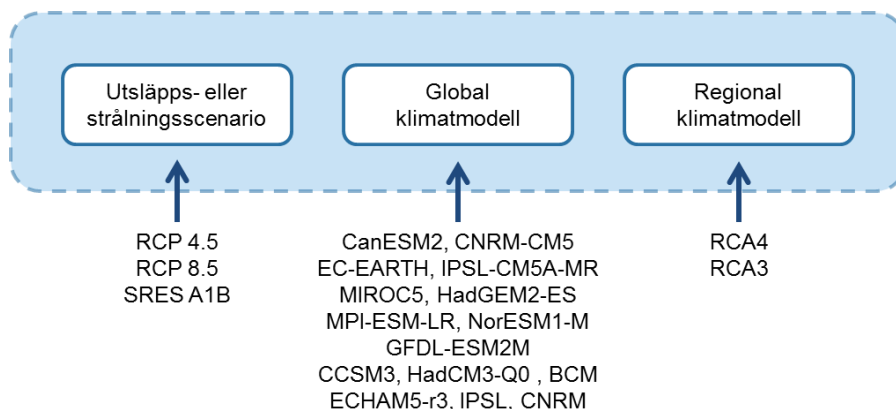
De data som kommer ut från dessa stora beräkningar är enorma mängder och måste bearbetas statistiskt för att kunna vara hanterbara och därmed ge oss användbar information (figur 1).



Figur 1. Ett exempel på utdata från en regional klimatmodell och delar av ett script som används för att bearbeta dessa data.

Ett klimatscenario brukar betecknas med den globala klimatmodell som använts för beräkningarna och det utsläppsscenario som antagits, exempelvis Echam5-A1B eller ECEarth-RCP4.5. I detta exempel är Echam5 och ECEarth globala klimatmodeller. Beteckningarna är inte alltid helt konsekventa, ibland skrivs ECHAM (med versaler) och EC-EARTH (versaler och bindestreck). A1B och RCP4.5 är exempel på utsläpps-/strålningsdrivningsscenarier. Vanligen har även en regional klimatmodell använts och för Sverige oftast RCA-modellen, som är Rossby Centrets² regionala atmosfärsmodell. RCA3 och RCA4 är varianter av den modellen.

Klimatscenarier beskriver flera tänkbara utvecklingar av klimatet. Eftersom ingen kan säga hur t.ex. utsläppen av växthusgaser blir framåt i tiden finns flera möjliga utvecklingsvägar. Det finns inte heller EN global klimatmodell som kan sägas vara den bästa för att beskriva hela det globala klimatsystemet. Dessa osäkerhetsfaktorer hanteras genom att använda flera olika globala klimatmodeller och göra beräkningar med flera olika utsläpps-/strålningsdrivningsscenarier (figur 2).

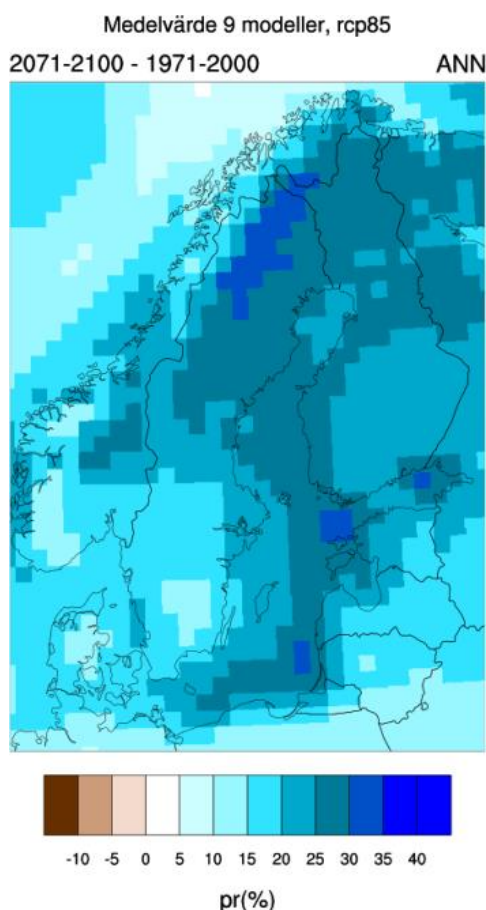


Figur 2. Illustration av de utsläpps-/strålningsdrivningsscenarier, globala- och regionala klimatmodeller som används i de klimatscenarier som presenteras under Framtidens klimat på smhi.se.³

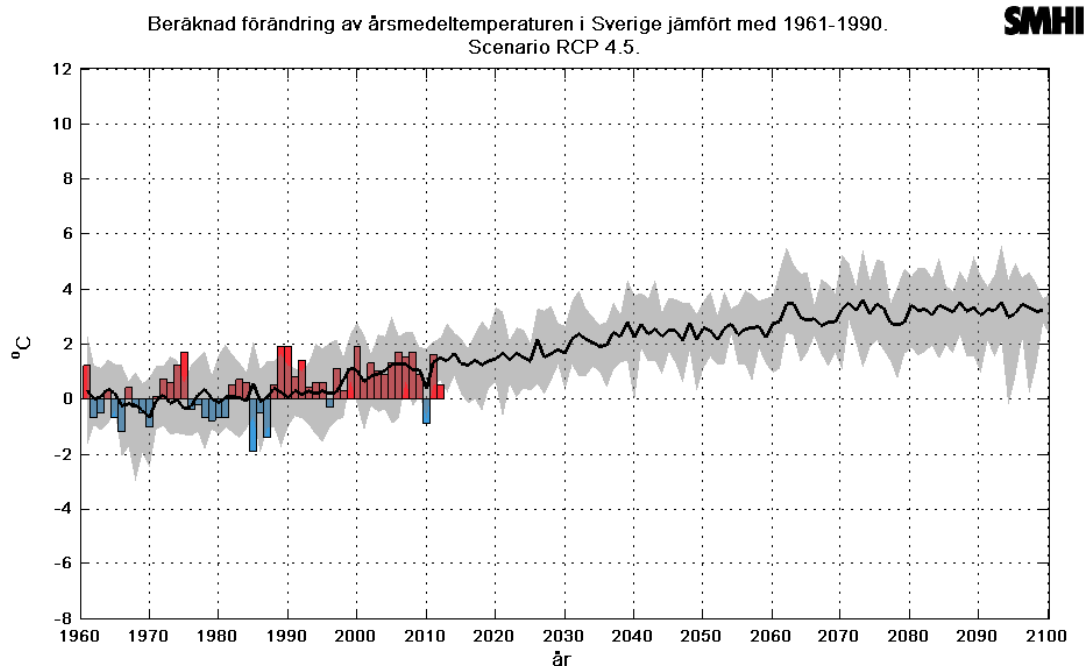
² Rossby Centre är forskningsenheten för klimatmodellering på SMHI

³ <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatscenarier#area=eur&dnr=0&sc=rcp85&seas=ar&var=t>

När flera klimatscenarier används för att beskriva den möjliga framtidsutvecklingen brukar de vanligen hanteras i grupp. Det ger en betydligt mer lätthanterlig information än om varje enskilt klimatscenario presenteras för sig. I kartan (figur 3) visas medelvärden av nio klimatscenarier över en förändring mellan två tidsperioder. Det ger en detaljerad rumslig information. I diagrammet (figur 4) visas också resultat från nio klimatscenarier. I det fallet visas tidsutvecklingen som medelvärden med variationsbredd av högsta och lägsta värdet. Diagrammet ger en uppfattning om tidsutvecklingen men inte någon rumslig detaljinformation. Kartor och diagram kompletterar därför varandra.



Figur 3. Kartan illustrerar beräknad förändring i årsmedelnederbörd för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000, utifrån medelvärde av 9 modellberäkningar baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5.



Figur 4. Diagrammet illustrerar den beräknade utvecklingen av årsmedeltemperaturen i Sverige 1961-2100. Staplarna visar historiska data som är framtagna från observationer, röda staplar visar temperaturer högre än, och blå staplar temperaturer lägre än, medelvärde för den s.k. normalperioden 1961-1990. Detta värde är satt till noll (0) så att modellberäkningarna (svart-grått) visar avvikelser från normalperioden. Svarta linjen anger medelvärden och det grå fältet visar variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet. I detta exempel har strålningsdrivningsscenario RCP4.5 använts.

3.3 Klimatscenarier och väderprognoser

De resultat som presenteras från beräkningar med klimatmodeller brukar betecknas klimatscenarier. Klimatscenarier är inte väderprognoser.

Klimatscenarier baseras på antaganden om framtiden och representerar vädrets statistiska beteende det vill säga klimatet. Klimatscenarier återskapar alltså inte det verkliga vädret på en specifik plats vid en enskild tidpunkt. En väderprognos däremot ger information om vad som troligen kommer att hända på lokal skala under en kortare tid.

3.3.1 Väderprognoser

När SMHI tar fram en väderprognos används insamlade observationsdata som bearbetas av modeller och meteorologer. Processen att ta fram en väderprognos bygger på att kartlägga utgångsläget, dvs. att ständigt samla in och använda väderdata som vind, temperatur, lufttryck m.m. Modellberäkningen ger sedan en väderprognos som granskas och eventuellt finjusteras av meteorolog innan den publiceras. Nya väderprognoser publiceras flera gånger per dygn (figur 5).

En väderprognos presenterar den mest troliga utvecklingen av väderläget under den närmsta framtiden. Mycket korta prognoser gäller från två timmar framåt och upp till 12 timmar. Korta prognoser avser vädret mellan 12 timmar och upp till två dygn framåt. Medellånga prognoser görs för två dygn till 10 dygn framåt.

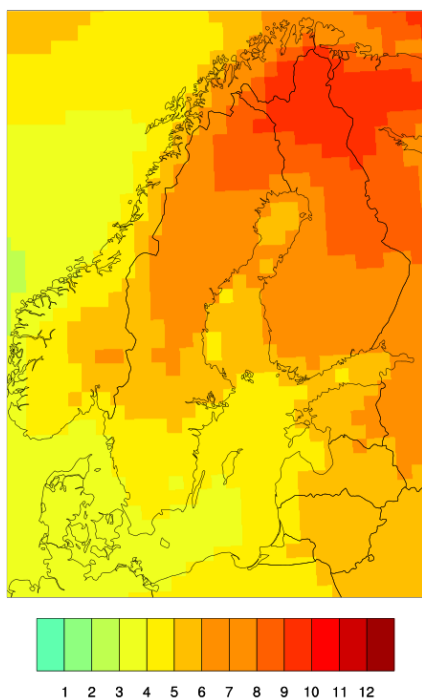
30 SEPTEMBER				 Upp kl. 07:13	 Ner kl. 18:49
Tid	Väder	Vind (byvind)	Nederbörd	Luftfuktighet	Tryck
02.00	 6°	← O 2 (3) m/s	0.0 mm/6h	98 %	1025 hPa
08.00	 6°	← O 2 (5) m/s	0.0 mm/6h	91 %	1025 hPa
14.00	 16°	↻ SO 1 (6) m/s	0.0 mm/6h	62 %	1026 hPa
20.00	 12°	← O 2 (3) m/s	0.0 mm/6h	88 %	1026 hPa

Figur 5. Ett exempel på en väderprognos för Göteborg utfärdad av SMHI 26 september 2014. Källa: smhi.se

Läs mer om väderprognoser och meteorologiska modeller i Kunskapsbanken på smhi.se.⁴

3.3.2 Klimatscenarier

Klimatscenarier beskriver det generella beteendet hos klimatet i form av medelvärden och extremer och är inte bundet till en viss tidpunkt. När klimatet beräknas förväntas modellerna ge svar på hur vädret beter sig under betydligt längre tidsperioder, årtionden (figur 6).



Figur 6. Kartan är ett exempel på klimatscenarier. Den visar beräknad förändring i vintertemperatur (°C) från perioden 1971-2000 till 2071-2100. Det är medelvärden från nio olika klimatscenarier som visar att förändringen i vintertemperatur ser ut att bli störst i norra Sverige. De nio klimatscenarierna är beräknade med den regionala klimatmodellen RCA4 med indata från nio olika globala klimatmodeller drivna med strålningsdrivningsscenario RCP 8.5. Källa: smhi.se >Klimatscenarier

⁴ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/sa-gor-smhi-en-vaderprognos-1.4662>

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/att-berakna-vader-eller-klimat-lika-men-anda-inte-1.5179>

Processerna i atmosfären är snabba men förändringar i marken och i haven går betydligt långsammare. För en väderprognos, som ju enbart gäller en kortare tid, behöver meteorologerna inte ta hänsyn till processerna djupt ner i marken och haven. I en klimatmodell måste även dessa processer beskrivas eftersom de påverkar klimatet i det längre tidsperspektivet.

Läs mer om klimatscenarier och klimatmodeller i Kunskapsbanken på smhi.se.⁵

3.4 Hur tas klimatscenarier fram?

För att ta fram ett klimatscenario krävs en lång kedja av antaganden och beräkningar. Det innefattar klimatmodeller och antaganden om atmosfären.

Grunden för beräkningarna är matematiska ekvationer som beskriver de fysikaliska förhållandena mellan lufttryck, temperatur, vind och fuktighet (figur 7). Dessa samband används sedan vid beräkningarna för varje tidssteg som valts t.ex. var 15:e minut i en serie beräkningar som sträcker sig över 100 år. Det blir väldigt många beräkningar.

$$\frac{du}{dt} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y \quad (2)$$

$$0 = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3)$$

$$\frac{c_p}{T} \frac{dT}{dt} - \frac{R}{p} \frac{dp}{dt} = Q \quad (4)$$

$$p = \rho R T \quad (5)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

Figur 7. Några fysikaliska samband som ligger till grund för de modeller som används för att beräkna klimatet; Newtons 2:a lag, termodynamikens 2:a huvudsats, allmänna gaslagen och kontinuitetsekvationen.

Beräkningarna görs för varje gridbox (3-dimensionell låda) som klimatmodellen är uppbyggd av. En global klimatmodell kan innehålla 2-3 miljoner gridboxar. Eftersom det är så oerhört många beräkningar som behöver utföras används så kallade superdatorer. SMHI använder superdatorer på det Nationella superdatorcentret i Linköping (NSC) för beräkningar med klimatmodeller (figur 8). Trots den mycket stora kapacitet som dessa datorer har tar det lång tid att göra en körning (modellsimulering). Den globala klimatmodell som SMHI använder, EC-Earth, klarar att beräkna 150 år på två veckor, men då används 400 processorer. Tidsåtgången kan lätt mångdubblas vid simuleringar med högre upplösning.

⁵ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimatscenarier-1.3850>

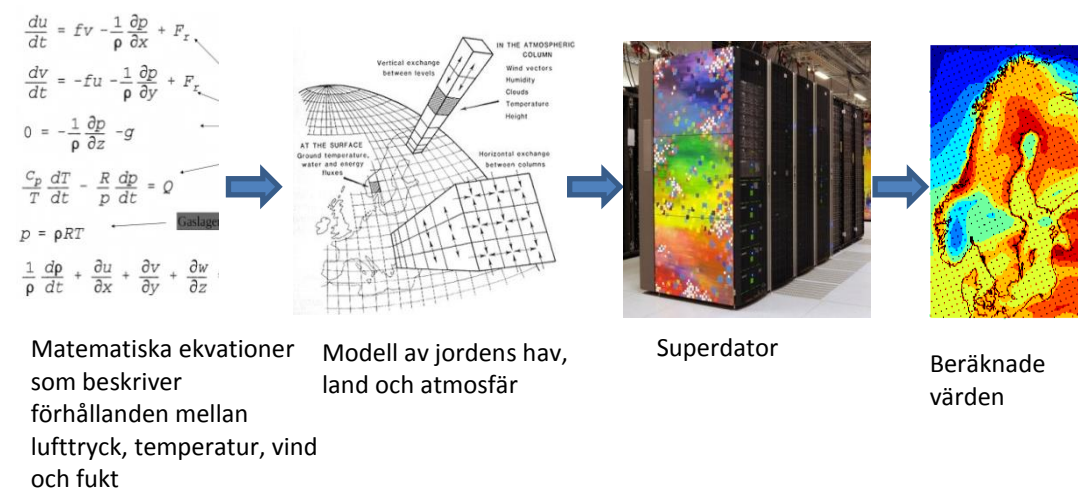
<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/hur-fungerar-en-klimatmodell-1.470>

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/meteorologiska-modeller-1.5932>



Figur 8. Bilden visar en del av interiören på NSC (Nationella superdatorcentret) i Linköping, www.nsc.liu.se.

Det som kommer ut från en körning (modellsimulering) är en mängd data (beräknade värden) som behöver bearbetas för att kunna tolkas och presenteras i form av kartor, diagram eller tabeller (figur 9).



Figur 9. Illustration av vägen fram till att data (beräknade värden) finns att tillgå.

3.5 Vad är strålningsdrivnings- och utsläppsscenarioer?

Modellberäkningarna av klimatet baseras på antaganden om hur atmosfärens tillstånd förändras framåt i tiden. Idag används så kallade strålningsdrivningsscenarioer. Tidigare klimatberäkningar baserades på så kallade utsläppsscenarioer.

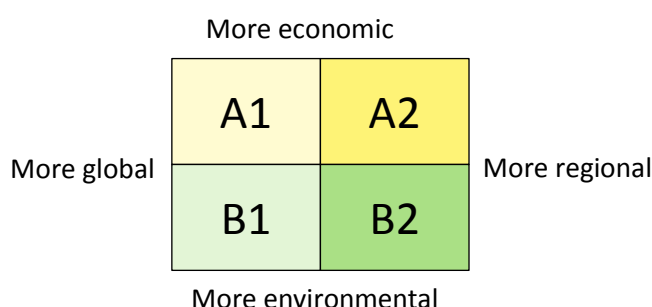
Strålningsdrivningsscenarioerna baseras på antaganden om hur växthuseffekten kommer att förstärkas i framtiden, så kallad strålningsdrivning (radiation forcing) (mäts i W/m²). Ju mer utsläpp av växthusgaser desto mer strålningsdrivning. Sådana scenarioer kallas RCP-scenarioer (Representative Concentration Pathways (Moss et al., 2010)⁶). RCP-erna

⁶ http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/RCP_journal_special.pdf

är namngivna efter den nivå av strålningsdrivning som uppnås år 2100 uttryckt i watt per kvadratmeter (W/m^2). Läs mer om RCP-er i kapitel 3.6.

Utsläppsscenarierna baseras på antaganden om den framtida utvecklingen av världens ekonomi, befolkningstillväxt, globalisering, omställning till miljövänlig teknik med mera. Den mängd växthusgaser som släpps ut beror på hur världen utvecklas. Sådana scenarier kallas SRES-scenarier (Special Report on Emission Scenarios (Nakićenović, 2000)⁷. SRES-scenarier kan betraktas som ”familjer” med huvudsakliga beteckningarna A1, A2, B1 och B2 (figur 10). I SMHI:s beräkningar ingår huvudsakligen SRES A1B, eftersom det användes mest i det stora internationella projektet ENSEMBLES, som SMHI deltog i.

A1B tillhör familjen A1, som kännetecknas av en integrerad värld med snabb ekonomisk tillväxt, 9 miljarder invånare år 2050 och därefter avtagande, snabb spridning av ny och effektiv teknik. A1B har en balanserad blandning av fossil och icke-fossil energi. För A1B-scenario beräknas koldioxidutsläppen till atmosfären kulminera runt år 2050. Det betyder dock inte att utsläppen upphör utan bara att de avtar och koldioxidhalten i atmosfären fortsätter därför att stiga även efter 2050.



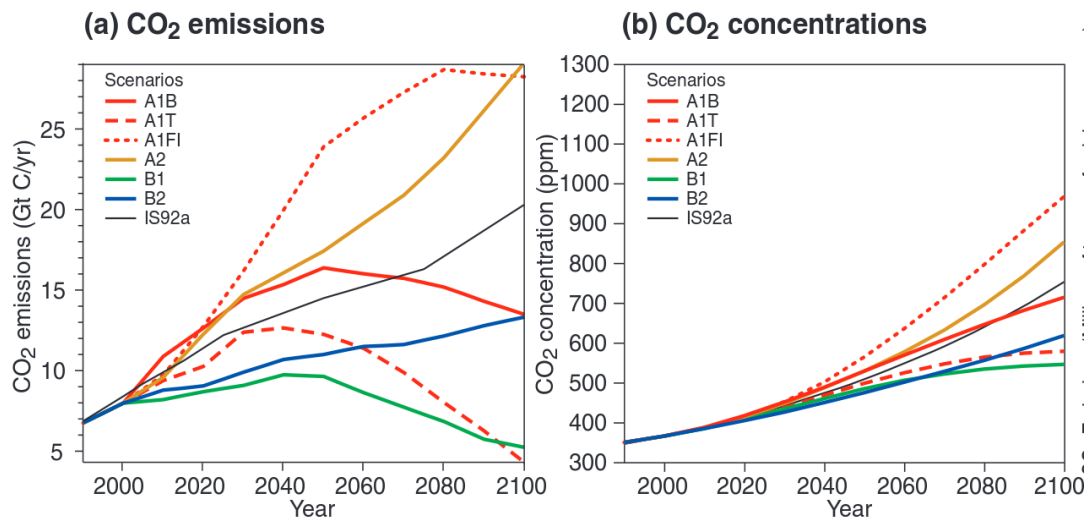
Figur 10. Utsläppsscenario A1 beskriver en framtida värld med snabb ekonomisk tillväxt, låg befolkningstillväxt och ett snabbt införande av ny och mer effektiv teknik. A2 beskriver en heterogen värld med bevarande av lokala identiteter, hög befolkningstillväxt med långsam ekonomisk per capita tillväxt och långsamt teknologisk skifte. B1 innebär en värld med liten befolkningstillväxt och snabba förändringar i ekonomiska strukturer mot en service- och informationsekonomi. B2 fokuserar på lokala lösningar för hållbarhet avseende ekonomi, miljö och sociala förhållanden.

En stor skillnad mellan SRES och RCP är att med SRES föreskrevs utsläppen och de omräknades sedan via kolbalansmodeller för att ge den information som klimatmodellerna behöver om atmosfärens tillstånd (figur 11). Med RCP anges strålningsdrivningen och därefter kan forskarna beskriva möjliga utsläppsscenarier. Det betyder att ett RCP-scenario kan ge upphov till flera olika antaganden om utsläpp av de olika växthusgaserna (koldioxid, metan, halokarboner) och aerosoler.

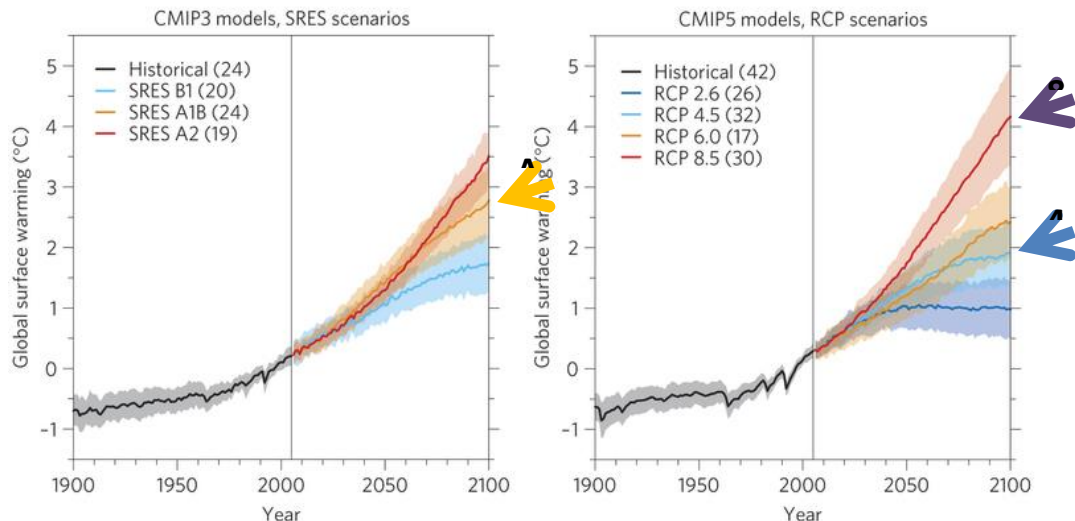
SRES-scenarier användes i de beräkningar av framtidens klimat som låg till grund för arbetet med IPCC rapporter från år 2000 (TAR) och 2007 (AR4). De nyare strålningsdrivningsscenarierna, RCP-er, användes i underlaget för den senaste rapporteringen 2013 (AR5) (figur 12).

IPCC är Intergovernmental Panel on Climate Change och omnämns ibland som FN:s klimatpanel.

⁷ https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_I/ipcc_far_wg_I_app_01.pdf



Figur 11. Det vänstra diagrammet visar olika SRES-utsläppsscenarioer för koldioxid uttryckt som gigaton kol per år och det högra diagrammet visar de resulterande koldioxidkoncentrationerna i atmosfären uttryckt som ppm dvs. parts per million.



Figur 12. Diagrammen visar resultat från klimatmodellberäkningar avseende den globala ytemperaturen, uppvärmningen. Det vänstra diagrammet visar beräkningar med de äldre utsläppsscenarioerna (SRES) och det högra diagrammet visar beräkningar med de nyare strålningsdrivningsscenarioerna (RCP). Inom parentes anges antalet modeller som använts för respektive scenario. Den svarta linjen avser den historiska perioden från år 1900 fram till 2005. SRES A1B, RCP4.5 och RCP8.5 är markerade eftersom de är vanligast förekommande i de tillgängliga klimatscenarierna. CMIP3 och CMIP5 är de set av klimatmodellberäkningar som varit underlag till IPCC:s rapporter.

3.5.1 IPCC rapportering

IPCC har hittills producerat fem rapporter från 1990 till 2013 (s.k. Assessment Reports) (figur 13). Som underlag till IPCC:s rapportering ligger bl.a. klimatmodellering baserat på olika utsläpps-/strålningsdrivningsscenarioer (tabell 1).

IPCC Assessment Reports since 1990: WGI Contribution



Figur 13. IPCC:s Assessment Reports från arbetsgrupp (WG) I.

Tabell 1. Namn på de utsläpps-/ strålningsdrivningsscenarier som hittills använts, referenser där de beskrivs samt de IPCC Assessments Report där de använts.

Namn på utsläpps-/ strålningsdrivningsscenarier	Referens	Användes i
SA90	IPCC,1990	First Assessment Report (FAR) 1990
IS92	Leggett et.al, 1992	Second Assessment Report (SAR)1995
SRES- Special Report on Emissions Scenarios	Nakićenović, 2000	Third Assessment Report (TAR) 2001 and Assessment Report Four (AR4) 2007
RCP- Representative Concentration Pathways	Van Vuuren et al, 2010 och 2011, Arnell et al 2011, A special issue of Climatic Change (2013)	Assessment Report Five (AR5) 2013

Läs mer om utsläppsscenarier på smhi.se⁸

Läs mer om strålningsdrivningsscenarierna, RCP-er, i kapitel 3.6.

Referenser

IPCC 1990. Emissions scenarios from the response strategies working group of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Appendix 1. In Climate Change 1990: The IPCC Scientific Assessment. Prepared for IPCC by Working Group I. Cambridge University Press, Cambridge, UK.⁹

Leggett J., Pepper W.J. and Swart R.J. 1992. Emissions Scenarios for IPCC: an update. In Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.

⁸ <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatanalyser/utslappsscenarier-1.22664>

⁹ https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_I/ipcc_far_wg_I_app_01.pdf

Eds. Houghton, J.T., B.A. Callander and S.K. Varney. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 69–95.¹⁰

Nakićenović N., and R. Swart (eds.) 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A *Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.¹¹

van Vuuren, D., Riahi K., Moss R., Edmonds J., Thomson A.M., Nakicenovic N., Kram T., Berkhout F., Swart R., Janetos A., Rose S., Arnell N. 2010. Developing new scenarios as a common thread for future climate research. *Global Environmental Change*. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2011.08.002¹²

van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* (2011) 109:5–31. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.¹³

Arnell N., Kram T., Carter T., Ebi K., Edmonds J., Hallegatte S., Kriegler E., Mathur R., O'Neill B., Riahi K., Winkler H., Van Vuuren D., Zwickel T.. 2011. A framework for a new generation of socioeconomic scenarios for climate change impact, adaptation, vulnerability and mitigation research. Working Paper.¹⁴

A special issue of *Climatic Change* (2013) contains a series of paper discussing different aspects of the SSPs. A list of papers and links to Open Access articles is available.¹⁵

Climatic Change special issue finns beskriven.¹⁶

Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R.J., Thomson A.M., Weyant J.P. and Wilbanks T.J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747-756, doi:10.1038/nature08823¹⁷

3.6 Vad är RCP?

Representative Concentration Pathways (RCP) är scenarier över hur växthuseffekten kommer att förstärkas i framtiden. Det benämns strålningsdrivning och uttrycks som watt per kvadratmeter (W/m²). RCP-scenarierna benämns med den nivå av strålningsdrivning som uppnås år 2100: 2,6, 4,5, 6,0 eller 8,5 W/m².

Klimatscenarier grundas på olika antaganden om hur atmosfärens sammansättning kan komma att bli. Forskare världen över har utvecklat nya scenarier för klimatpåverkan, så

¹⁰http://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_Suppl_Report_1992_wg_I/ipcc_wg_I_1992_suppl_report_section_a3.pdf

¹¹ <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>

¹² <http://www.ipcc-wg3.de/meetings/expert-meetings-and-workshops/files/Vuuren-et-al-2010-Developing-New-Scenarios-2010-10-20.pdf/view>

¹³ <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-011-0148-z#page-1>

¹⁴ http://www.isp.ucar.edu/sites/default/files/Scenario_FrameworkPaper_15aug11_0.pdf

¹⁵ <https://www2.cgd.ucar.edu/research/iconics/publications/ssps>

¹⁶ http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/RCP_journal_special.pdf

¹⁷ <http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7282/full/nature08823.html>

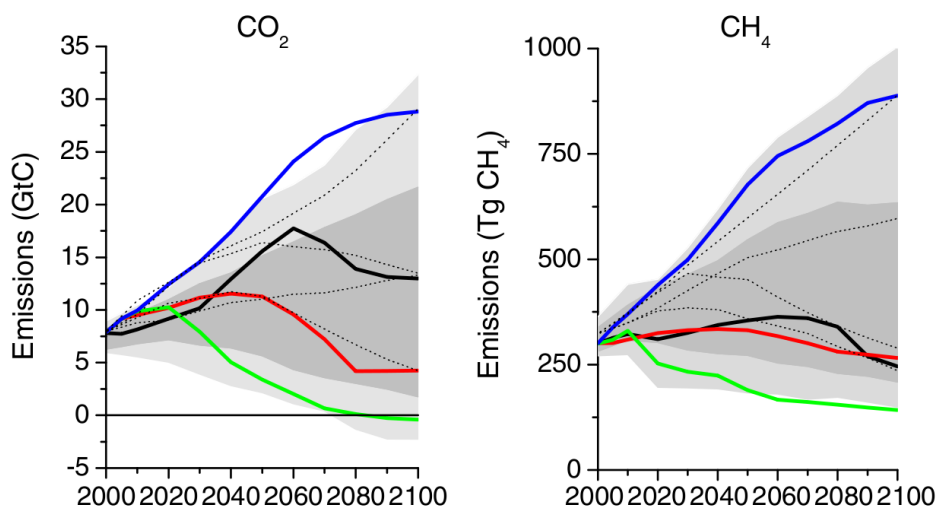
kallade RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways), för att ge information om klimatförändringarna vid olika halter av växthusgaser i atmosfären.

Syftet med RCP-erna är inte att förutse framtiden, utan att konkretisera klimatutvecklingen beroende på graden av klimatpåverkan, främst driven av halten växthusgaser i atmosfären. De nya scenarierna visar möjlig framtida utveckling alltifrån en fortsättning av dagens utsläppstrender, till en mycket stor begränsning av framtida utsläpp. Resultaten ger underlag för beslut kopplat till anpassningsåtgärder eller utsläppsregleringar.

3.6.1 Underlag för IPCC

FNs klimatpanel, IPCC, presenterade 2013 sin femte utvärderingsrapport, Climate Change 2013 (AR5). En delrapport var The Physical Science Basis. En stor del av innehållet i rapporten bygger på senaste generationens klimatmodellberäkningar för utvecklingen av klimatet i framtiden. Beräkningarna grundar sig på en ny uppsättning scenarier för klimatpåverkan. De beskriver fyra olika utvecklingsvägar för framtida koncentrationer av långlivade växthusgaser, aerosoler samt andra klimatpåverkande faktorer (figur 14).

RCP-erna är namngivna efter den nivå av antropogen strålningsdrivning som uppnås år 2100. Med antropogen avses, den av människan orsakade. Jämförelsen görs med år 1750 som startpunkt dvs. förindustriell tid. Olika strålningsdrivningar motsvarar olika ökningar av växthusgashalter i atmosfären. RCP4.5 betyder att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären genererar en strålningsdrivning på $4,5\text{W/m}^2$ år 2100, jämfört med förindustriell nivå. Halten växthusgaser i atmosfären stiger till år 2100 till 630 ppm koldioxidekvivalenter, av vilka knappt 540 ppm är från utsläpp av koldioxid. Resten utgörs av andra faktorer, omräknade till koldioxidekvivalenter.



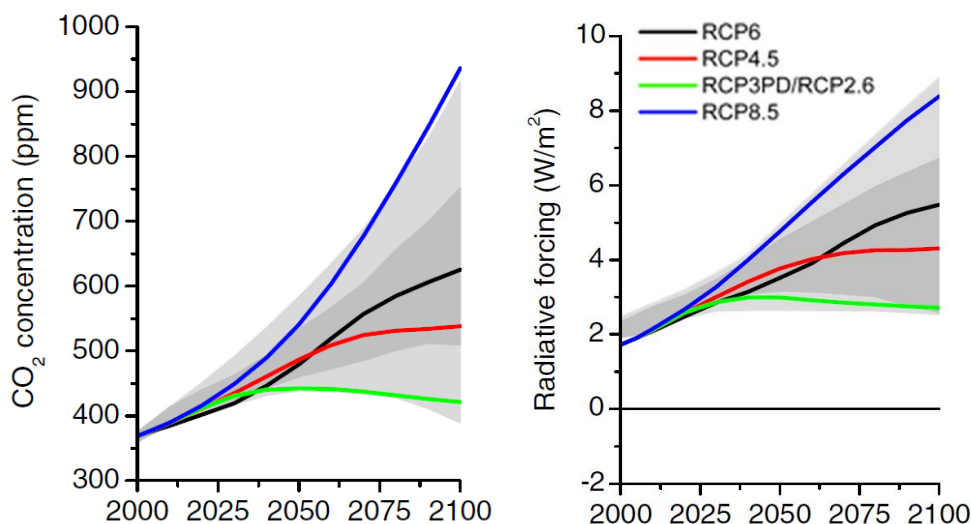
Figur 14. Exempel på möjliga utvecklingsbanor för utsläpp av koldioxid (CO₂) och metan (CH₄) vid olika RCP-er angivet som GtC (Gigaton kol) respektive Tg CH₄ (Teragram metan. Teragram = 10¹² gram). Punktlinjerna indikerar SRES-scenarier. Färgkoder i enlighet med figur 15. Från van Vuuren et al. (2011) *The Representative Concentration Pathways: An Overview*, Climatic Change, 109 (1-2), 5-31.

3.6.2 Representativa utvecklingsbanor

De fyra RCP-erna är inte kopplade till unika socioekonomiska scenarier eller utsläppsscenarier. De olika nivåerna av strålningsdrivning kan istället nås genom olika kombinationer av ekonomisk, teknologisk, demografisk och politisk framtida utveckling. Det görs ingen värdering om vilket scenario som är mest troligt eller mest önskvärt.

Det finns två viktiga egenskaper hos RCP-erna. Ordet ”representativa” uttrycker att varje enskild RCP representerar en större uppsättning scenarier. Termen ”utvecklingsbanor” understryker att RCP-ernas syfte är inte bara att beskriva strålningsdrivningsnivåer år 2100 utan också tidsförloppet fram till dess. Det finns även enklare beräkningar som sträcker sig efter år 2100.

Scenarierna är framtagna för att beskriva den osäkerhet som finns inför framtida utsläpp. Det finns två stabiliseringsscenarier, RCP4.5 och RCP6.0, samt ett med mycket höga växthusgasutsläpp (RCP8.5). RCP2.6 är det mest optimistiska scenariot och förutsätter mycket stora internationella åtgärder. Något scenario liknande RCP2.6 fanns inte med i IPCC rapport AR4 (2007) (figur 15).



Figur 15. Till vänster visas koldioxidkoncentrationer (ppm) i atmosfären motsvarande de fyra RCP-erna. Till höger ses motsvarande strålningsdrivning (radiative forcing) (W/m²). Från van Vuuren et al (2011) *The Representative Concentration Pathways: An Overview. Climatic Change*, 109 (1-2), 5-31.

Som jämförelse kan nämnas att i IPCC:s AR5-rapport bedöms strålningsdrivningen 2111 jämfört med 1750 (förindustriell tid) vara 2,29 W/m² med osäkerhetsintervallet 1,13-3,33 W/m². För 1980 jämfört med 1750 är bedömningen 1,25 W/m² med osäkerhetsintervallet 0,64-1,86 W/m²). Det innebär alltså en ökning med 1 W/m² de senaste 30 åren.

Här beskrivs kortfattat vad de fyra RCP-erna innebär:

RCP8.5 – fortsatt höga utsläpp av koldioxid

- Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100.
- Metanutsläppen ökar kraftigt.
- Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion.
- Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt.
- Stort beroende av fossila bränslen
- Hög energiintensitet.
- Ingen tillkommande klimatpolitik.

RCP6.0 – koldioxidutsläppen ökar fram till 2060

- Stort beroende av fossila bränslen
- Lägre energiintensitet än i RCP 8,5
- Arealen åkermark ökar, men betesmarkerna minskar
- Befolkningen ökar till strax under 10 miljarder

- Stabiliserade utsläpp av metan
- Utsläppen av koldioxid kulminerar 2060 på en nivå som är 75 procent högre än idag och minskar sedan till en nivå 25 procent över dagens.

RCP4.5 - koldioxidutsläppen ökar fram till 2040

- Kraftfull klimatpolitik.
- Lägre energiintensitet.
- Omfattande skogsplanteringsprogram.
- Lägre arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster.
- Befolkningsmängd: något under 9 miljarder.
- Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring 2040.

RCP2.6 (RCP3PD)¹⁸ – koldioxidutsläppen kulminerar omkring år 2020

- Än mer kraftfull klimatpolitik.
- Låg energiintensitet.
- Minskad användning av olja.
- Jordens befolkning ökar till 9 miljarder.
- Ingen väsentlig förändring i arealen betesmark.
- Ökning av arealen jordbruksmark på grund av bioenergiproduktion.
- Utsläppen av metan minskar med 40 procent.
- Utsläppen av koldioxid ligger kvar på dagens nivå fram till 2020 och kulminerar därefter. Utsläppen är negativa år 2100.
- Halten av koldioxid i atmosfären kulminerar omkring år 2050, följt av en måttlig minskning till drygt 400 ppm år 2100.

Läs mer om RCP-er i Kunskapsbanken på smhi.se¹⁹

3.7 Vad är en klimatmodell?

En klimatmodell är vanligen en tredimensionell beskrivning av atmosfären, landytan, hav, sjöar och is uttryckt i matematiska termer.

I princip kan en klimatmodell vara mycket förenklade beskrivningar av atmosfären baserad på ett fåtal ekvationer. Idag används mycket komplexa klimatmodeller och huvudsyftet med att använda dem är att besvara frågan: om atmosfärens innehåll förändras på ett visst sätt, hur förändras då klimatet?

3.7.1 Klimatmodeller beskriver inte bara atmosfären

I en klimatmodell är atmosfären uppdelad i ett rutnät längs med jordytan och upp i luften. Atmosfärens rörelser och bevarandet av energi, vatten och massa följer välkända fysikaliska lagar som kan beskrivas med matematiska formler (se figur 7, sid 7). För varje volym i rutnätet beräknas sedan utvecklingen för olika meteorologiska, hydrologiska och klimatologiska variabler som till exempel temperatur, nederbörd och vind.

En klimatmodell fungerar på många sätt som en prognosmodell. Klimatmodeller och prognosmodeller skiljer sig emellertid på en viktig punkt. En prognosmodell ska kunna

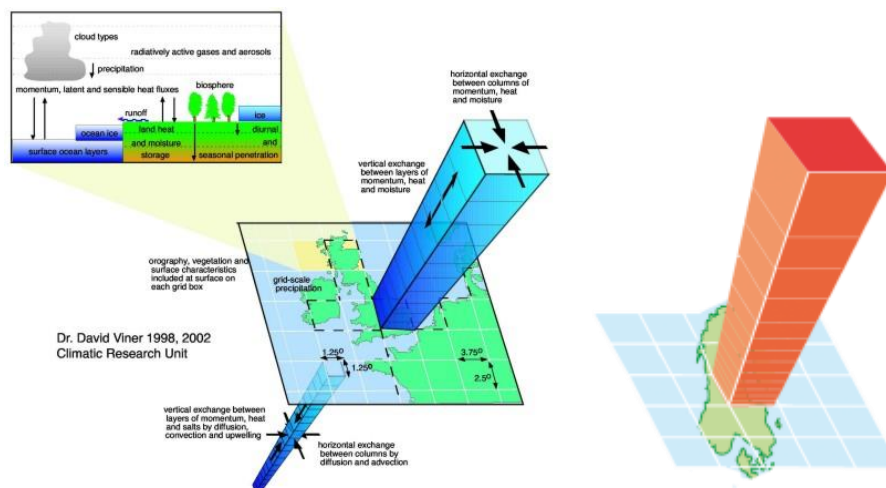
¹⁸ 3PD innebär att toppvärdet är 3 W/m² därefter sker avklingning (Peak-Divide)

¹⁹ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914>

förutse vädret på en given plats vid en given tidpunkt. Varje liten avvikelse från det verkliga förhållandet får, efter ganska kort tid, så stor betydelse att prognosen inte längre stämmer.

En klimatmodell däremot ska beskriva klimatet, som enkelt uttryckt är vädret i medeltal under en längre period och över ett större område. En klimatmodell kan inte förutse hur varmt det kommer att vara i Norrköping den 20 januari 2098, men den kan säga något om hur vintrarna i södra Sverige kommer att vara i slutet av seklet.

En klimatmodell måste ta hänsyn till de mer långsamma förloppen som sker på jordytan och i haven (figur 16).



Figur 16. Principiell skiss över en klimatmodell. Rutorna i en global klimatmodell kan exempelvis ha storleken $200 \text{ km} \times 200 \text{ km}$, i höjddled varierar längden, de är tätare närmre jordytan. Eftersom jorden är en glob ökar totala arean runt jorden med höjden vilket gör att även bottenarean i de staplade boxarna ökar med höjden.

Läs mer om klimatmodeller i Kunskapsbanken på smhi.se.²⁰

Rosby Centrets modeller beskrivs på smhi.se.²¹

3.8 Vad är Global klimatmodell?

Globala klimatmodeller beskriver hela jordklotet och de processer som sker i atmosfären.

Eftersom klimatet är globalt måste också beräkningar av klimatet ta hänsyn till de globala förhållandena och då särskilt processerna i atmosfären. För att göra framtidsberäkningar av klimatet krävs alltså en modell som beskriver hela jorden och inte bara en del av den (figur 17). GCM betyder Global Circulation Model men uttyds ofta Global Climate Model.

Man behöver en modell som beskriver hela jordens yta och tillräckligt högt upp i atmosfären för att komma ovanför moln och vindar. Sådana modeller kallas globala klimatmodeller.

²⁰ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/hur-fungerar-en-klimatmodell-1.470>

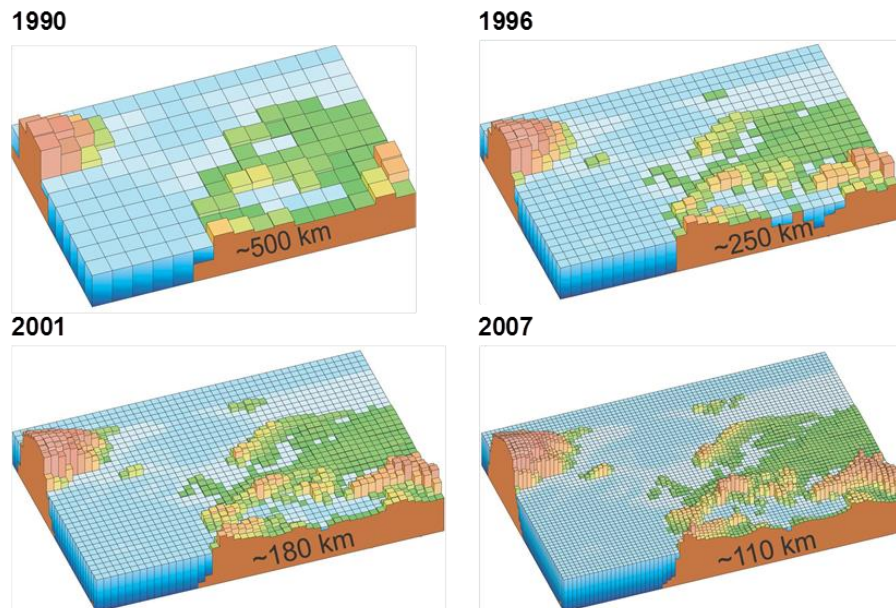
²¹ <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/klimatforskning/klimatmodeller-1.403>

En klimatmodell kräver mycket datorkraft. Även om datorkapaciteten ständigt ökar, görs beräkningarna i de globala klimatmodellerna fortfarande med ett ganska gles rutnät med 200-300 km stora rutor. Det gör att detaljrikedomen på lokal eller regional skala blir låg.

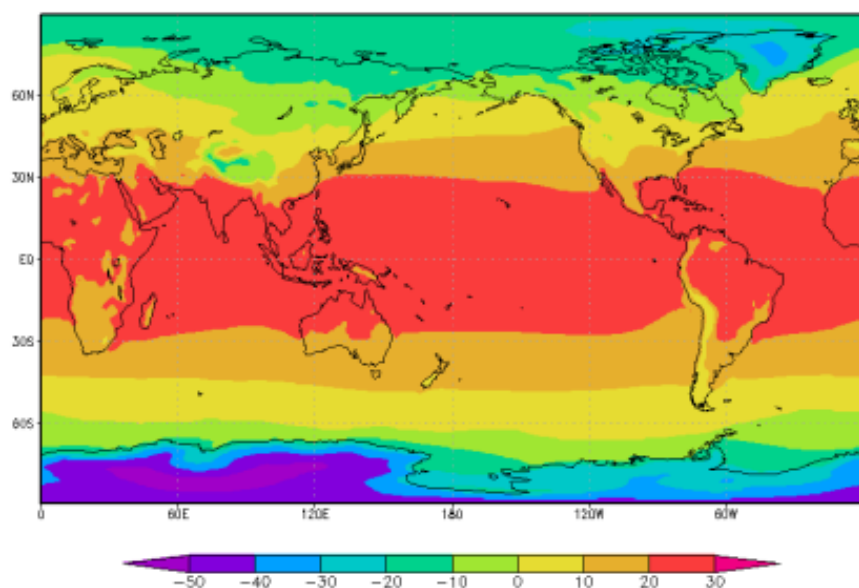


Figur 17. Hela jordklotet måste beskrivas i en global klimatmodell.

Upplösningen i globala modeller har förbättrats under årens lopp dvs. gridboxarna har blivit mindre (figur 18). Det betyder också att antalet gridboxar ökar och beräkningarna blir fler. De globala modellerna är dock fortfarande alltför grova för att kunna beskriva klimatet med den detaljering som ofta krävs (figur 19). Därför behövs regionala klimatmodeller.



Figur 18. Upplösningen i klimatmodellen har stor betydelse för detaljrikedomen. De flesta globala klimatmodeller har fortfarande upplösning på 200-300 km.



Figur 19. Den globala kartan visar medelvärdet av tre globala simuleringar för medeltemperatur på 2 m höjd perioden 1961-1990. Beräkningarna har startats med olika initiala tillstånd år 1850. Växthusgaser och andra faktorer som "driver" klimatet från 1850 till 2000 följer den observerade utvecklingen under samma period.

3.9 Vad är Regional klimatmodell?

En regional klimatmodell beskriver en del av jordklotet, en region. De används för att få med fler detaljer än vad globala klimatmodeller klarar.

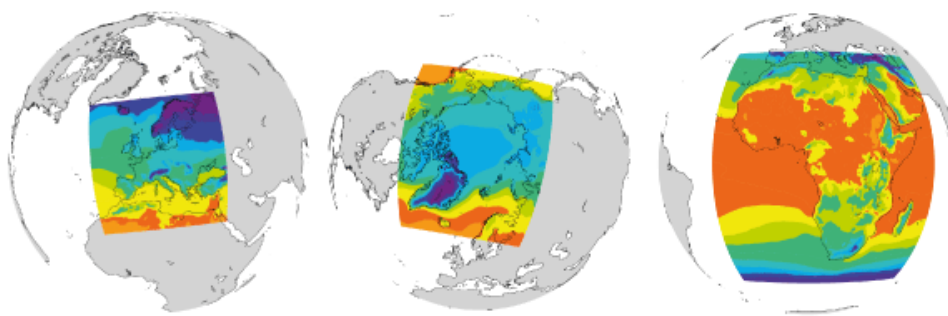
För att studera en mindre del av jorden i detalj kan regionala klimatmodeller användas. I en regional modell läggs rutnätet över ett mindre område, till exempel Europa (figur 20). I ett mindre område kan ett tätare rutnät användas utan att det krävs för mycket datorkraft, vilket ger högre detaljrikedom. RCM betyder Regional Climate Model.

3.9.1 Detaljer kräver resurser

Det som händer utanför beräkningsområdet i en regional klimatmodell styrs av resultatet från en global klimatmodell. På så sätt tas ändå hänsyn till det som sker utanför det regionala modellområdet. Ofta talas det om regional nedskalning när resultat från global modellering används i regional modellering.

Regionala klimatmodeller är vanligen uppsatta med 3-dimensionella rutnät med upplösningen (täthet) 50 km×50 km. De förekommer även med rutor om 25 km×25 km eller 12,5 km×12,5 km. Forskningen går mot allt mindre rutor dvs. allt högre upplösning, men det är oerhört resurskrävande att göra beräkningar med dessa mer detaljerade modeller.

Eftersom olika globala klimatmodeller ger olika resultat är det intressant att kombinera en regional modell med flera olika globalmodeller; och på samma sätt även en globalmodell med flera regionala modeller. En sådan uppsättning av olika modellkombinationer kallas ensemble.



Figur 20. Exempel på olika regionala beräkningsområden, Europa, Arktis och Afrika.

3.9.2 Rossby Centrets regionala klimatmodeller

Rossby Centre är klimatmodelleringsenheten på SMHI. På centret arbetar forskare med global och regional modellering. Fokus ligger på det senare. Forskarna har utvecklat ett modellsystem, Rossby Centre regional Atmosphere-Ocean model, RCAO, som kopplar samman atmosfären och havet. Modellkomponenterna utbyter relevant information med varandra kontinuerligt under körningarna.

Rossby Centrets atmosfärmodell RCA (Rossby Centre Atmosphere model) är atmosfärs- och markytsskomponenten i det kopplade modellsystemet RCAO, men kan också köras för sig som en fristående modell. RCA baseras på det numeriska väderprognossystemet HIRLAM. RCA körs över ett begränsat område. Oftast Europa, men också över delar av Afrika, Nord- och Sydamerika.

Havskomponenten, Rossby Centre Regional Ocean model, används för regional modellering i Östersjön och i Arktis (figur 21). RCO kan användas fristående eller som en del av det kopplade systemet RCAO.



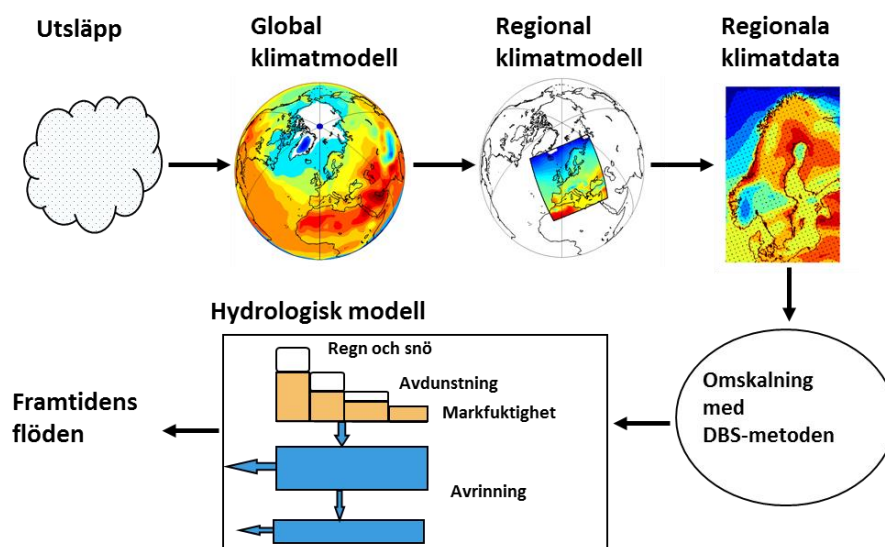
Figur 21. Beräkningsområden för den regionala oceanografiska modellen RCO.

3.10 Vad betyder nedskalning?

När resultat från en grövre beräkning omräknas för att ge mer detaljerade resultat över ett mindre område, brukar det kallas för nedskalning.

Nedskalning (downscaling) kan t.ex. vara processen när resultat från en global klimatmodell används i en regional klimatmodell. Man får då en högre upplösning av data. Det betyder att data exempelvis avser rutor med storleken 50 km×50 km istället för 250 km×250 km. Detta kallas även dynamisk nedskalning.

Nedskalning sker även då resultat från en regional modellberäkning räknas om så att en ännu högre upplösning erhålls t.ex. med DBS-metoden. Då kan resultaten presenteras för 4 km×4 km. Detta kallas för statistisk nedskalning (eller skalering) (figur 22).



Figur 22. Illustration av arbetsgången för att ta fram de högupplösta data som framförallt använts till de klimatanalyser som gjorts för de flesta län i Sverige på uppdrag av respektive länsstyrelse.

3.11 Vad är DBS-metoden?

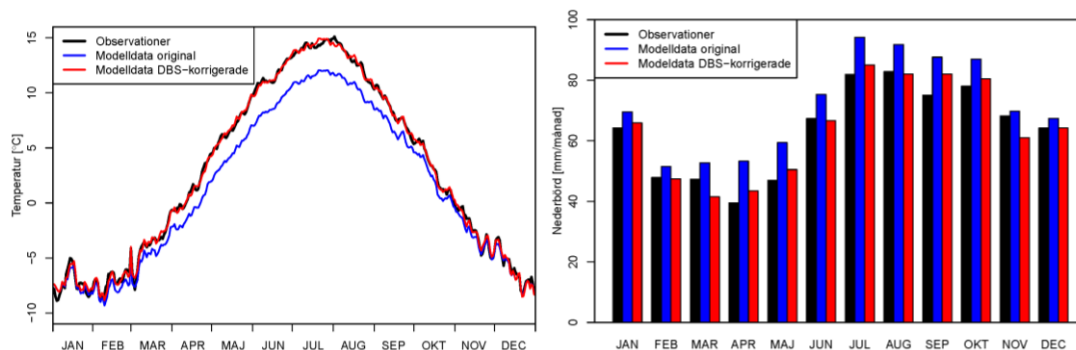
Distributionsbaserad skalering (DBS) är ett verktyg för korrigering av klimatmodellernas utdata så att dessa kan användas som indata till en hydrologisk modell. Med DBS-skalering fås en högre upplösning av data.

Utdata från de regionala klimatmodellerna (RCM:s) behöver ytterligare bearbetas för att kunna användas till hydrologiska effektstudier (läs mer under Effektstudier till stöd (kapitel 6)). Om utdata från klimatmodellen används direkt som indata till en hydrologisk modell erhålls ingen trovärdig hydrologisk respons. RCM-resultaten innehåller ofta olika systematiska fel som skapar problem för en efterföljande hydrologisk modellering. Det är särskilt viktigt att korrigera nederbörd och temperatur. Exempelvis kan vintertemperaturer överskattas liksom antal dagar med lätt nederbörd.

3.11.1 Regionala klimatmodelldata anpassas

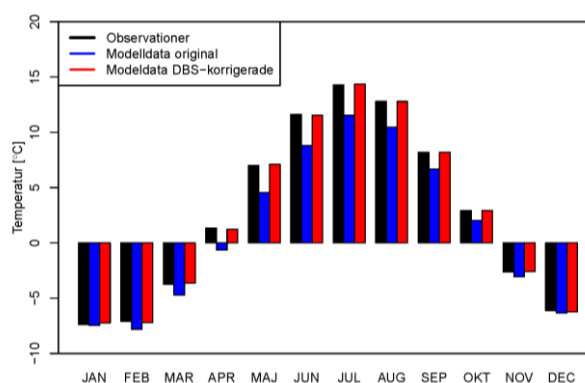
En metod (DBS = distributionsbaserad skalering) har därför utvecklats, som använder data från meteorologiska observationer till att justera klimatmodellens utdata, för att ta bort systematiska fel. Korrigeringsfaktorer beräknas så att klimatmodellens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer för den historiska perioden och samma korrektion appliceras sedan på det framtida scenariot. Därefter kan resultaten användas som indata till en hydrologisk modell. Med DBS-metoden behålls de förändringar i medelvärden och förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Det uttrycks ofta som att "klimatsignalen" från klimatmodellberäkningen behålls i den hydrologiska effektstudien. Samtidigt som DBS korrigerar systematiska avvikelser från observationerna kan den utföra en statistisk nedskalering till en högre upplösning.

Figur 23 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Efter anpassningen stämmer data väl överens med observerade data. Särskilt viktigt är att den överskattning av antal dagar med nederbörd med en viss intensitet, som ges av klimatmodellen, korrigeras.



Figur 23. Exempel på resultat av DBS metoden. Observationer (svart), rådata från en klimatmodells historiska period (blå) och data som anpassats med DBS-metoden (röd). Diagrammet till vänster visar hur temperaturen varierar under året enligt observationer (svart linje) och enligt regionala klimatmodelldata (blå linje). När modelldata har anpassats med DBS-metoden (röd linje) stämmer de väl med observationerna, dvs. svart och röd linje följs åt. I stapeldiagrammet till höger visas den klimatologiska fördelningen av månadsnederbörd (mm) under året. Efter att modelldata (blå staplar) har korrigerats (röda staplar) visar de en bättre överensstämmelse med den observerade nederbörden (svarta staplar).

I figur 23 används linjediagram för temperatur och stapeldiagram för nederbörd. Om vi istället väljer att visa temperaturen som månadsmedelvärden presenterade som staplar ser diagrammet annorlunda ut men innehåller samma information (figur 24).



Figur 24. Temperaturvariationer under året, samma data som i föregående bild. Observationer (svart), rådata från en klimatmodell (blå) och data som anpassats med DBS-metoden (röd).

3.11.2 Jämförelse med historiskt klimat krävs

En förutsättning när metoden används för klimatscenarier är att resultaten för framtida tidsperioder jämförs med historiskt klimat såsom det beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Det är inte heller möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

DBS utvecklades ursprungligen för variablerna temperatur och nederbörd, men rutiner för korrigering av vindhastighet, relativ luftfuktighet och strålning är under utveckling. Metoden har tillämpats i både lokal skala (stationsdata), nationell skala (t.ex. Sverige) och kontinental skala (t.ex. Europa).

Metoden har utvecklats inom flera forskningsprojekt och dokumenterats vetenskapligt. Det finns också en manual för användningen.²²

4 Vilka klimatscenarier finns?

Klimatscenarier finns att tillgå från SMHI men också från internationella källor. Det finns en del begrepp runt klimatscenarier som är bra att känna till.

Det finns klimatscenariodata att hämta från olika källor. Eftersom vi i denna vägledning främst vänder oss till den inte så initierade användaren håller vi oss primärt till det som produceras på SMHI för svenska användare.

Här beskrivs också klimatindikatorer och klimatindex. SMHI har valt att använda begreppet klimatindikator för olika mått att följa klimatets utveckling baserat på observationer. Begreppet klimatindex används för de mått som beskriver resultat från klimatscenarier dvs. innefattar även utvecklingen framåt i tiden

Klimatscenarier framtas ofta inom stora internationella projekt och används i internationella sammanhang. Här beskrivs därför några akronymer som är vanligt förekommande.

4.1 Varför finns olika klimatscenarier?

Det finns flera tänkbara vägar människan kan gå vad gäller utsläppen av växthusgaser till atmosfären. Det finns inte en global klimatmodell som är den bästa. Vi måste hantera dessa osäkerheter och därför finns flera olika klimatscenarier.

Ett klimatscenario beskriver en möjlig klimatutveckling baserad på antaganden om förändringar i atmosfären, beroende på människans aktiviteter. Flera klimatscenarier tas fram utifrån olika antaganden om förändringar i atmosfären och hur klimatmodeller omsätter dessa förändringar i klimat. Det finns ingen som kan säga vilket av de olika utsläppsscenarierna som inträffar i framtiden. Det är framförallt en internationell politisk fråga. Därför måste forskarna beskriva hur klimatet kan förändras med hänsyn taget till olika utsläppsscenarier.

Det finns inte heller en global klimatmodell som är den bästa. I IPCC:s AR5-rapport beskrivs hur pass väl olika modeller kan beskriva klimatet (t.ex. jämfört med klimatobservationer). En del är exempelvis bättre på temperatur och andra på nederbörd. Det finns också regionala skillnader så att modeller beskriver olika områden mer eller mindre bra. Forskare har i internationella projekt försökt samköra modeller för att kunna rangordna dem efter hur väl de beskriver klimatet. Tanken var att kunna använda denna rangordning för att vikta modeller vid en ensembleberäkning, så att sämre modeller får mindre påverkan på slutresultatet. Detta visade sig dock vara svårt och rekommendationen är fortfarande att inte sortera ut modeller från en ensemble.

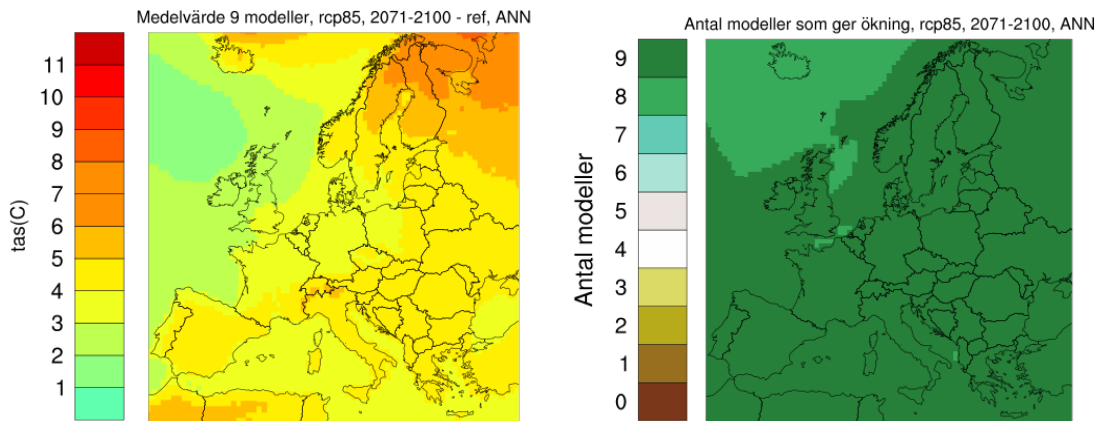
Även om forskarna skulle lyckas hitta ”den bästa klimatmodellen” så baseras en sådan analys på ett klimat som varit, en referensperiod. Man jämför modellens resultat med mätningar. Vi kan dock inte vara helt säkra på att modellen även är bäst i ett förändrat framtida klimat.

Ett klimatscenario är en uppskattning av hur klimatet kan komma att bli i framtiden. Resultatet, det simulerade klimatet, är en kombination av valt utsläppsscenario, val av klimatmodeller och vilken tidsperiod som simuleras. Eftersom klimatscenariot beror på hur dessa faktorer kombineras är det önskvärt att göra flera klimatscenarier med olika

²² <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/distributionsbaserad-skalering-1.30375>

kombinationer av utsläppsscenarier, modeller o.s.v. På så sätt går det att veta mer om hur stor betydelse till exempel valet av klimatmodell har för det slutgiltiga resultatet, det vill säga hur stor osäkerheten är.

Genom att använda utdata från flera modeller får vi ett robustare resultat. Om klimatmodeller visar överensstämmande resultat är det en tydligare signal än om de pekar åt olika håll. Det ger oss en bild av vad som är mer respektive mindre säkert (figur 25).



Figur 25. I exemplet visas förändring i årsmedeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) för 2071-2100 jämfört med 1971-2000 (vänster karta). Medelvärdena är beräknade utifrån beräkningar med nio klimatmodeller drivna med scenariot RCP 8.5. Den högra kartan visar att för merparten av Europa visar alla nio modeller på ökning av årstemperaturen. När alla nio modellerna ger en ökning i det framtida scenariot i en beräkningsruta kan detta ses som en robusthet/säkerhet i resultatet där. Detsamma gäller om samtliga indikerar en minskning. Om till exempel fyra modeller visar på en ökning och övriga fem en minskning betyder det att resultatet är osäkert.

4.2 Osäkerheter

För att få fram ett klimatscenario krävs en kedja av beräkningar och antaganden. Det finns alltså flera källor till osäkerheter; klimatets naturliga variationer, val av klimatmodell och utsläppsscenario.

Nedan följer en genomgång av de viktigaste osäkerheterna i ett klimatscenario och hur de påverkar resultatet.

4.2.1 Naturlig variabilitet

Med naturlig variabilitet menas hur mycket klimatet varierar mellan år eller mellan säsonger. Variationen i klimatet har inget med klimatförändringar att göra utan är en inneboende egenskap hos klimatet. Även för ett stabilt medelvärde för vintertemperaturen över flera år så är vissa vintrar kalla och andra vintrar milda. Vissa år är sommaren regnig och andra år är den torr. Naturlig variabilitet är olika beroende på vilka tidsskalor som studeras. Här diskuterar vi främst variabilitet på upp till ett par decennier, då främst påverkan sker genom olika cirkulationsmönster (NAO, El Niño, etc.).

Den naturliga variabiliteten beror inte på utsläppsscenariot, men måste beaktas vid tolkningen av resultaten. Är den naturliga variabiliteten stor, kan det vara svårt att se om klimatet faktiskt förändras. Denna osäkerhet är störst i klimatscenarier för en nära framtid eftersom klimatet inte hunnit förändra sig så mycket då. Man kan säga att klimatförändringen då inte går att skilja ut från den naturliga variationen i klimatet.

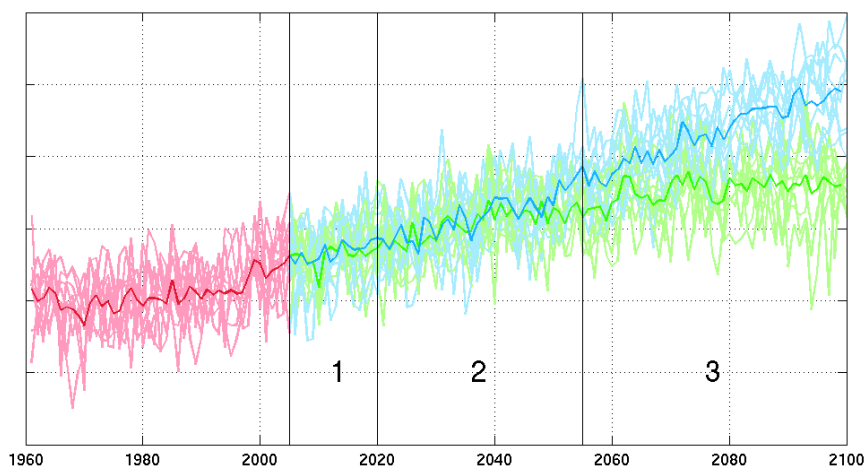
4.2.2 Klimatmodell

Alla klimatmodeller baseras på samma grundläggande kunskap om klimatsystemet och fungerar på ungefär samma sätt. Resultaten skiljer sig ändå. Det beror på att processerna i klimatsystemet kan beskrivas på olika sätt, och att fler eller färre processer inkluderas i modellerna. Ingen modell är perfekt, därför är det bra att jämföra resultaten från olika modeller för att se hur mycket de skiljer sig åt. Det ger ett mått på hur stor betydelse olika modellbeskrivningar har för det simulerade klimatet.

Klimatmodeller beskriver den naturliga variabiliteten, men det klimat som beskrivs av en klimatmodell kan inte förväntas vara i fas med det verkliga klimatet på kort tidsskala. En välfungerande klimatmodell ska dock kunna beskriva medelvärden och variabilitet med tillräcklig precision, t.ex. korrekt antal kalla och varma vintrar under en trettioårsperiod. Dessa vintrar kan infalla i en annan ordning än i det observerade klimatet.

4.2.3 Utsläppsscenario

Framtidens klimat beror på hur de framtida halterna av växthusgaser i atmosfären kommer att vara. Det är förändringar i atmosfärens sammansättning som driver på klimatets förändring. Hur mycket växthusgaser som släpps ut beror på hur världen utvecklar sig: till exempel med avseende på befolkningsmängd, globalisering, teknikutveckling och politik. Hur det verkligen blir går inte att veta på förhand, därför baseras klimatscenarier på antaganden om utsläpp och atmosfärens innehåll av växthusgaser. Sådana antaganden kallas utsläppsscenario. Ett sätt att hantera denna osäkerhet om framtiden är att göra flera klimatscenarier baserade på olika utsläppsscenario för att visa på olika tänkbara framtida klimat. Ett viktigt resultat, som kan utläsas i klimatscenarierna, är att valet av utsläppsscenario har mycket liten betydelse för de närmsta årtiondena. Detta beror på att den naturliga variabiliteten är då stor jämfört med vår klimatpåverkan. Mot mitten på seklet börjar valet av utsläppsscenario växa i betydelse för klimatets utveckling (figur 26).



Figur 26. Figuren beskriver klimatscenarier med två olika utsläppsscenario. Den första tidsperioden visar hur modellerna beskriver det historiska klimatet sedan 1961 (röd-rosa). 1) I början av framtidsförloppet kan det vara svårt att urskilja förändringssignalen på grund av den naturliga variabiliteten. Variationen mellan år är större än förändringen i medelklimat. 2) Efter en tid är det tydligt att klimatet har förändrats. Nu höjer sig medelklimatet över de högsta värdena i observationsperioden. Här har valet av modell störst betydelse för resultatet. 3) Mot slutet av seklet är valet av utsläppsscenario av störst betydelse för det simulerade klimatet.

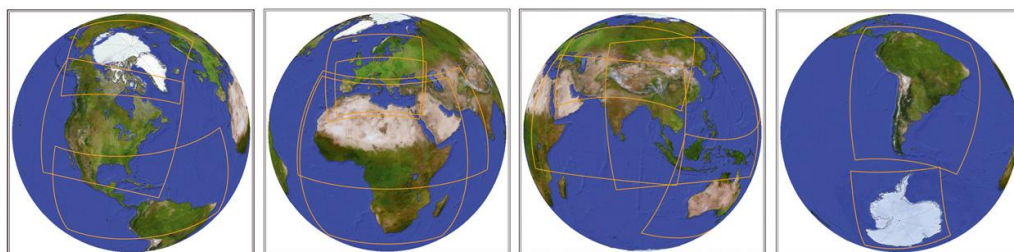
4.3 Vad är CMIP, ENSEMBLES och CORDEX?

Det förekommer en mängd förkortningar i det internationella samarbetet inom klimatmodellering. Här beskrivs kortfattat några ofta förekommande.

CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) är ett internationellt samarbetsprojekt där flera forskningsinstitut arbetar med koordinerade globalmodellexperiment. När modellerna körs på samma sätt blir det lättare att jämföra och använda resultaten. CMIP-resultat är en del av materialet för IPCC:s sammanfattande analyser. CMIP5 användes som underlag till IPCC AR5-rapporteringen.

EU-projektet ENSEMBLES syftade till att kvantifiera osäkerheter i klimatscenarier för 2000-talet genom koordinerade regionala modellexperiment över Europa. De av SMHI tidigare använda SRES-baserade scenarierna är huvudsakligen från ENSEMBLES-projektet.

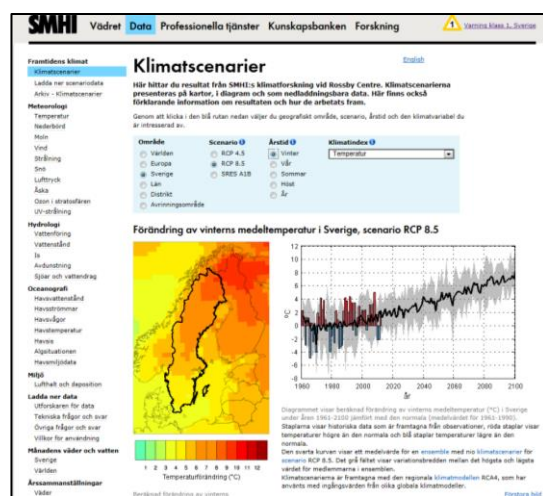
CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment)²³ är ett internationellt koordinerat ramverk som ska producera en förbättrad generation regionala klimatscenarier för användning i effekt- och anpassningsstudier. CORDEX kommer att skapa en ensemble av flera dynamiska och statistiska regionala modeller drivna av flera globalmodeller från CMIP5. CORDEX ska täcka alla jordens landområden (figur 27).



Figur 27. De olika regioner som ingår i CORDEX-samarbetet.

4.4 Var finns klimatscenarier?

På smhi.se under fliken Data > Framtidens klimat finns en applikation som visar resultat från Rossby Centre (figur 28). Resultaten presenteras som kartor, diagram och nedladdningsbara data. Här finns också förklarande information om resultaten och hur de arbetats fram.



Figur 28. Klimatscenarier på www.smhi.se

²³ <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr>

Användaren väljer område; Världen, Europa, Sverige, län, distrikt eller avrinningsområde. Därefter väljs utsläppsscenario; RCP8.5, RCP4.5, RCP 2.6 eller SRESA1B. Sedan väljs om resultaten ska visas som års- eller årstidsvärden och slutligen väljs klimatindex. Beräkningarna är gjorda med ett flertal klimatmodeller och presenteras som s.k. ensembler.

Användaren kan direkt ladda ned diagrammens data i excelformat; historiska data från 1961 och scenariodata 1961-2100. Figurerna (diagram och kartor) kan också sparas.

Klimatscenarier finns tillgängliga på SMHI:s webbplats.²⁴

Den mer avancerade användaren kan hämta data via datanoderna inom Earth System Grid Federation.²⁵

Data från ENSEMBLES-projektet finns tillgängliga på dess webbsida.²⁶

4.5 Klimatindikatorer

För att följa klimatets utveckling i Sverige har ett antal olika mått framtagits som på ett enkelt sätt beskriver ganska komplexa fenomen. Klimatindikatorerna är beräknande utifrån de observationer som sedan länge gjorts i Sverige av temperatur, nederbörd, vind, globalstrålning, havsvattenstånd och isutbredning.

SMHI har valt att använda begreppet klimatindikator för olika mått att följa klimatets utveckling baserat på observationer. Utifrån t.ex. temperatur- och nederbördsdata runt om i Sverige beräknas årsvärden för olika mått. Årsmedeltemperatur, vinternederbörd och vegetationsperiodens längd är exempel på sådana mått. De kallas klimatindikatorer. Eftersom SMHI har långa mätserier av temperatur och nederbörd kan vi alltså följa hur klimatet har utvecklats fram till idag. Det finns även klimatindikatorer baserade på andra mätserier, t.ex. havsvattenstånd.

Klimatindikatorerna används för att kunna se förändringar och för jämförelser med andra länders indikatorer eller andra klimatanalyser. Förändringar sker relativt långsamt och de naturliga variationerna är stora. Ju längre mätserierna är, för att kunna beräkna indikatorerna som visar klimatets utveckling, desto bättre.

SMHI har tagit fram Klimatindikatorer över temperatur och nederbörd för Sverige. Indikatorerna sträcker sig från 1860 fram till idag och visar års- och säsongsvärden. Vegetationsperioden finns beskriven sedan 1961 för norra och södra Sverige med måtten start- och sluttidpunkt samt periodens längd.

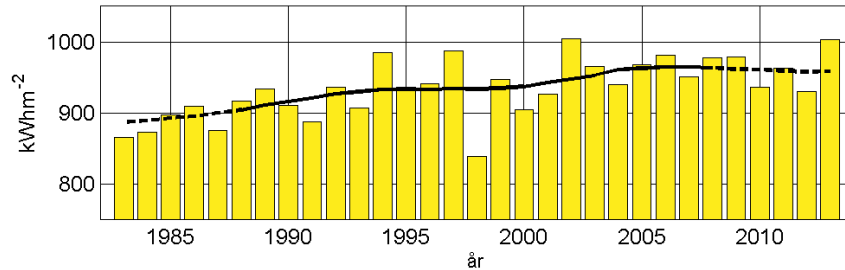
Extrem nederbörd beskrivs med olika indikatorer med start från år 1900; medel av årets största dygnsnederbörd, antal observationer med dygnsnederbörd på minst 40 mm och årets största dygnsnederbörd i Sverige. Klimatindikatorn extrem arealnederbörd visar antalet fall med minst 90 mm nederbörd över 1000 km² under 24 timmar sedan 1930-talet.

Globalstrålning i Sverige visas som årsvärden från 1983 och baseras på data från åtta mätstationer (figur 29).

²⁴ <http://www.smhi.se/klimatdata/Framtidens-klimat>

²⁵ <http://esg-dn1.nsc.liu.se/esgf-web-fe/>

²⁶ <http://www.ensembles-eu.org>

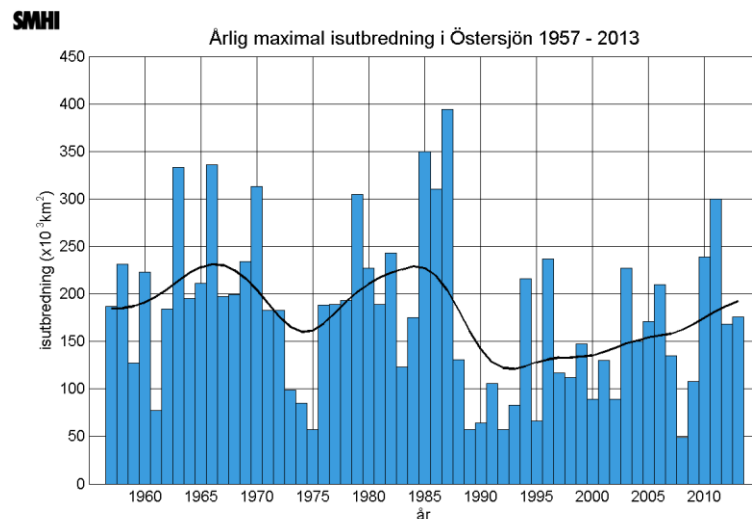


Figur 29. Figuren visar den totala globalstrålningen årligen över Sverige sedan 1983 för åtta stationer i Sverige. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp. Globalstrålningen är summan av strålningen direkt från solen och den diffusa strålningen från övriga himlen (dvs. solstrålning som sprids av molekyler och partiklar eller reflekteras av moln). Globalstrålningen uttrycks som kilowattimmar per kvadratmeter (kWh/m^2). Sedan mitten av 1980-talet och fram till omkring 2005-2006 ökade den årliga globalstrålningen med nära 8 % i Sverige. Liknande tendens ser man i stora delar av Europa.

Klimatindikatorn geostrofisk vind består av fyra olika vindmått; årets geostrofiska medelvindhastighet, årets största geostrofiska vindhastighet, antal fall med geostrofisk vindhastighet > 25 m/s och potentiell geostrofisk vindenergi. Man kan välja ett av nio områden (trianglar) i Sverige och då se ett stapeldiagram över hur vinden har varierat sedan 1901. Geostrofisk vind är beräknad från lufttrycksobservationer och är en genomsnittlig vind inom triangeln opåverkad av markens friktion och därför betydligt större än vinden närmare jordytan. Geostrofisk vind används därför att det inte finns några långa homogena tidsserier av uppmätt vindhastighet.

Havsvattenstånd mäts vid ett flertal stationer längs Sveriges kust och mätserierna är långa. Klimatindikatorn Förändring i havsvattenstånd i Sverige visar utvecklingen som årsvärden sedan 1886 och är kompenserad för landhöjningen.

Klimatindikatorn Maximal isutbredning baseras på digitaliserade dagliga kartor över isutbredningen under vintern sedan 1957 (figur 30).



Figur 30. Figuren visar ett exempel på en av de klimatindikatorer som SMHI använder. Den visar den maximala isutbredningen (arealen) i Östersjön och uttrycks i kvadratkilometer (km^2). Informationen kommer från kartor som visar isens utbredning och som produceras dagligen under vintern. Varje stapel representerar ett årsvärde för perioden 1957-2013 och figuren uppdateras årligen. Den svarta linjen visar ett utjämnat förlopp.

Klimatindikatorerna visas vanligen som stapeldiagram och det går att ladda hem data.²⁷

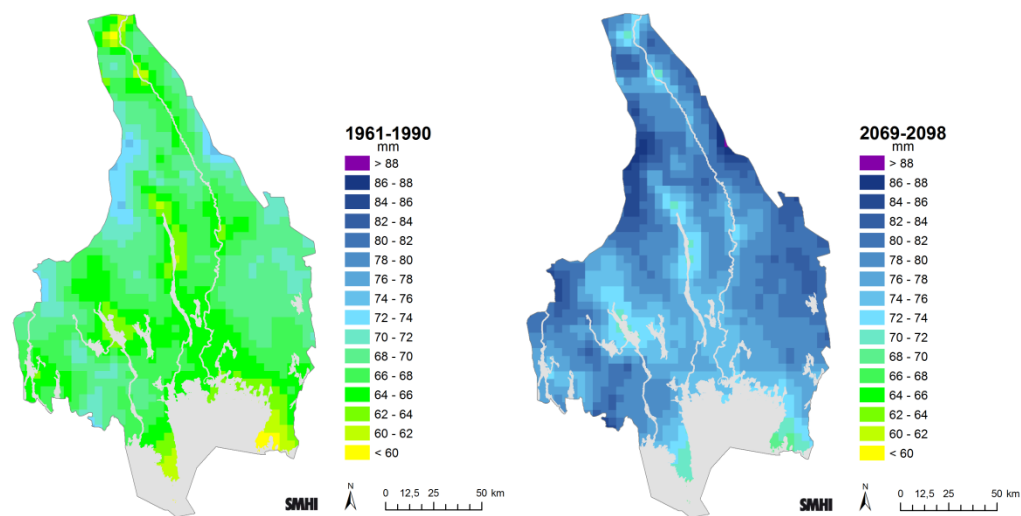
4.6 Om klimatindex

Information som kommer från beräkningar med klimatmodeller kan bearbetas och presenteras i form av klimatindex. De beskriver såväl medelvärden och säsongsvariationer som mer extrema förhållanden.

Begreppet klimatindex används för de mått som beskriver resultat från klimatscenarier dvs. innefattar även utvecklingen framåt i tiden.

Från beräkningar med klimatmodeller fås en oerhörd mängd data. För varje tidssteg i modellberäkningarna erhålls tillstånden för alla olika variabler (såsom temperatur vid ytan) i varje gridbox. Det går inte att lagra alla beräkningar, så innan modellkörningarna sätts igång bestäms vad som ska lagras. Det som oftast lagras med högst tidupplösning är nederbörd. På Rossby Centre, SMHI lagras vanligen nederbördsdata för varje halvtimme från beräkningarna. Med tanke på att det handlar om beräkningar på över 100 år, inses lätt att det enbart för en variabel (t.ex. nederbörd) blir väldigt mycket data. Dessa måste bearbetas för att kunna ge oss begriplig information.

Klimatet beskrivs vanligen i termer av temperatur och nederbörd, och då i form av årsmedelvärden och säsongsvariationer. Men det finns mer information att hämta ur den datamängd som klimatmodellerna ger. Klimatet består inte enbart av medelvärden. Mer ovanliga förhållanden, extremvärden, är också en del av klimatet. Kortvariga extremer som skyfall och vindbyar är oftast lokala företeelser. Exempel på mer långvariga extremer som täcker större områden är värmeböljor och längre köldperioder.



Figur 31. Kartorna över Värmland visar exempel på ett klimatindex, maximala 7-dygnsnederbörden. Den vänstra kartan avser medianvärden för perioden 1961-1990 (baserat på 16 klimatscenarier) och den högra visar medianvärden från 12 klimatscenarier för perioden 2069-2098.

Klimatindex räknas ut med hjälp av de meteorologiska data som modellen skriver ut. Det kan vara antalet kalla eller varma dagar, ackumulerad nederbörd under en vecka (figur 31) eller längden på vegetationsperioden.

Klimatextremer kan definieras som statistiskt mer eller mindre ovanliga händelser men också på vilken effekt de har på samhället och miljön. Det finns klimatologiskt extrema händelser som har liten påverkan t.ex. högt lufttryck. Det finns klimatologiskt sett inte så

²⁷ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatindikatorer-1.7050>

ovanliga händelser som har stor påverkan t.ex. häftiga snöfall, underkyllt regn eller stormar.

Klimatindex kan även baseras på maximum- och minimum värden, t.ex. lägsta temperatur under dagen i januari. Det kan också beräknas utifrån antal gånger ett tröskelvärde överskrids, t.ex. antal dagar då det regnar mer än 20 mm. Klimatindexet kan beskriva längsta period då förhållandena ligger under tröskelvärde, t.ex. sommartorka. Det kan också ange första eller sista datum på året för något speciellt väderförhållande, t.ex. sista vårfrost.

Index baserade på tröskelvärden (till exempel när temperaturen går över en viss gräns) är känsliga för precisionen i klimatmodellerna. Om en modell exempelvis är lite för kall kan det få stor betydelse för antalet riktigt varma dagar. Det behöver inte vara ett problem när det framtida klimatet analyseras, eftersom det intressanta då är hur ett index kan komma förändras i framtiden. Resonemanget förutsätter att modellen beskriver klimatet lite för kallt både för den historiska jämförelseperioden och för det framtida klimatet.

4.7 Exempel på klimatindex

Här beskrivs några av de klimatindex som ofta förekommit i de studier SMHI presenterat sedan ca 2007. De är framtagna efter önskemål av olika sektorsföreträdare.

Urvalet kommer ursprungligen från diskussioner med olika sektorsföreträdare om deras behov av information för att kunna göra bedömningar över respektive sektors sårbarhet i ljuset av framtida klimatförändringar. Diskussionerna hölls främst under Klimat- och sårbarhetsutredningens arbete (SOU 2007:60) men även med andra sektorer i fristående projekt.

Önskemålen är vanligen av generell natur och i ett brett sammanhang, vari klimatförändringar kan förväntas bli viktiga. De är sällan formulerade som specifika väldefinierade index. Den tekniska beskrivningen har därefter gjorts i enlighet med datatillgänglighet och tillförlitlighet. Det gör att en del önskemål som innefattar kombinationer av olika klimatvariabler inte är relevanta att ta fram. Det räcker inte att något är tekniskt möjligt att utföra, resultaten kan ändå vara alldeles för osäkra.

Klimatindex bygger på studier gjorda över tid och baseras därför på varierande scenariounderlag och perioder. Klimatindex med samma namn kan ha olika tröskelvärden och periodlängder. De kan också ha beräknats på lite olika sätt beroende på datatillgång.

De klimatindex som används i webbapplikationen Klimatscenarier finns beskrivna på smhi.se²⁸. De klimatindex som använts för länens klimatanalyser finns beskrivna i respektive rapport²⁹

Här beskrivs några klimatindex som visat sig vara svårtolkade.

4.7.1 Vegetationsperiod

Mått på vegetationsperiod utgår från lufttemperatur och anger när perioden startar och slutar samt antalet dagar däremellan dvs. vegetationsperiodens längd.

Relationen mellan klimat och vegetation är relativt väletablerad. Vegetationsperiodens längd samt start- och slutdatum används i många sammanhang. För jordbruk används vanligen tröskelvärde 5°C och för skog 2°C beroende på olika fysiologiska förhållanden. Det kan också förekomma andra tröskelvärden.

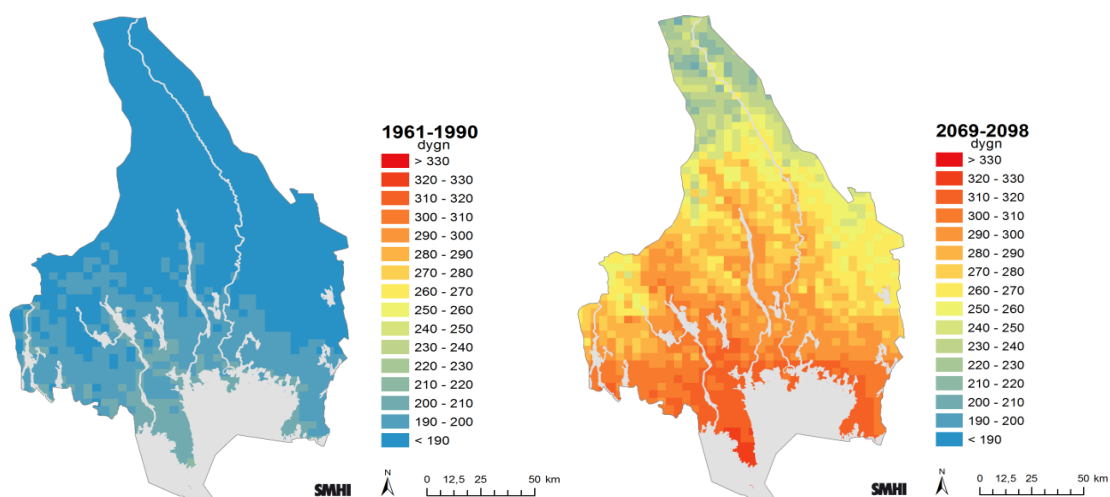
²⁸ <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatscenarier/indexdef.html>

²⁹ <http://www.klimatanpassning.se/2.481/vem-har-ansvaret/lansvisa-klimat-och-sarbarhetsanalyser-1.25071>

För att utesluta enstaka milda vinterdagar så startar vegetationsperioden, i SMHI:s beräkningar, den första dagen i den första sammanhängande perioden med minst 4 dagar med medeltemperatur över 5°C. På motsvarande sätt slutar vegetationsperioden den sista dagen i den sista sammanhängande perioden med minst 4 dagar med medeltemperatur över 5°C. Vegetationsperiodens längd är antalet dagar mellan dessa datum (tabell 2, figur 32).

Tabell 2. Illustration av vegetationsperiodens definition i beräkningarna.

Vegetationsperioden								
startdatum								slutdatum
Dag 1 > 5°C	Dag 2 > 5°C	Dag 3 > 5°C	Dag 4 > 5°C		Dag 1 > 5°C	Dag 2 > 5°C	Dag 3 > 5°C	Dag 4 > 5°C



Figur 32. Vegetationsperiodens längd (antal dygn) i Värmland för referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Referensperioden är baserad på medianvärden av 16 klimatscenarier och framtidsperioden är baserad på medianvärden av 12 klimatscenarier.

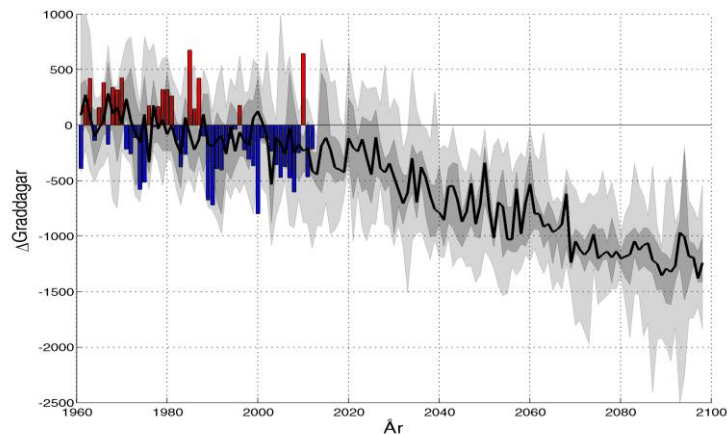
4.7.2 Värme- och kylbehov

Inom energibranschen används begreppet graddagar för att bedöma behovet av uppvärmning och för att följa upp energiförbrukningen.

Energiförbrukningen för att värma upp en byggnad är starkt korrelerad till utomhustemperaturen. Kylbehovet är i dagens läge mindre intressant men har t.ex. efter den varma sommaren 2014 rönt större uppmärksamhet.

För beräkningarna används tröskelvärden. I de beräkningar SMHI gjort baserade på klimatscenarier har vi utgått från den standard som används i produkten SMHI Graddagar. För uppvärmning antas att energisystemen behöver se till så att 17 grader uppnås i fastigheten. Övriga tillskott från solinstrålning, människor, apparatur, matlagning etc. ger sammanlagt en god inomhustemperatur. Graddagar beräknas som de tillskottsgrader som behövs för att nå 17 grader. Om utomhustemperaturen är -10 grader är antalet graddagar 27 (10+17), om utomhustemperaturen är +10 grader är antalet graddagar 7. För vår, sommar och höst kompenseras för en större instrålning.

Varje dags graddagar summeras för året i beräkningarna (figur 33).



Figur 33. Figuren visar ett exempel på hur uppvärmningsbehovet kan minska i framtiden för ett område i Sverige. De röda och blå staplarna är baserade på observationer av temperaturen och visar variationen i dagens klimat. Röda staplar indikerar kalla år då uppvärmningsbehovet är större. Diagrammet är normaliserat så att 0-värdet är medelvärdet för perioden 1961-1990. År 2010 sticker ut som ett år då uppvärmningsbehovet var ovanligt stort jämfört med de senaste årtiondena. För framtiden indikerar beräkningarna en stadig nedåtgående trend beroende på allt mildare vintrar.

På motsvarande sätt beräknas kylbehovet, men med tröskelvärde 20°C.

Måttet graddagar används också i samband med växtodling för att bedöma möjligheten att odla växter på olika platser, alltefter den temperatur som krävs för blomning, fruktsättning och så vidare.

4.7.3 Kraftig nederbörd

Begreppet Kraftig nederbörd är inget exakt begrepp men det beskriver tillfällen med mycket nederbörd utifrån ett modellsammanhang.

Intensiv konvektiv nederbörd (kraftig regnskur) är lokal och sker alltså på en skala som är mycket mindre än en gridbox i en regional klimatmodell. Detta fenomen omhändertas alltså på ett speciellt sätt i modellberäkningarna. Resultaten från modellberäkningarna är givna utifrån ett värde för varje gridbox. Det betyder att nederbörden är ett medelvärde för hela ytan. Det går alltså inte att direkt jämföra observerad nederbördsmängd med data från en klimatmodell, eftersom observerade nederbördsmängder är lokala.

Om det i verkligheten regnar t.ex. 100 mm på en yta som motsvaras av 10 % av en gridbox så kommer samma händelse i modellen att ge en nederbörd på 10 mm.

Klimatindexet Kraftig nederbörd har därför vanligen definierats som antal dagar med nederbörd över 10 mm, vilket kan betraktas som kraftig nederbörd i modellsammanhang.

4.7.4 Torka

Det finns många olika mått på torka och de varierar beroende på vilken tillämpning som avses. Mått på torka kan baseras på nederbörd, flöden eller markfuktighet.

De allra flesta förknippar torka med perioder med så lite nederbörd att vattentillgången börjar bli otillräcklig för växtligheten i naturen och i odlingar. Ett begrepp som är besläktat med torka är torrperiod, eller med andra ord en sammanhängande period med torra förhållanden t.ex. utan mätbar nederbörd. Torrperioder kan också relateras till perioder med låg vattenföring eller torra markförhållanden.

Meteorologisk torka

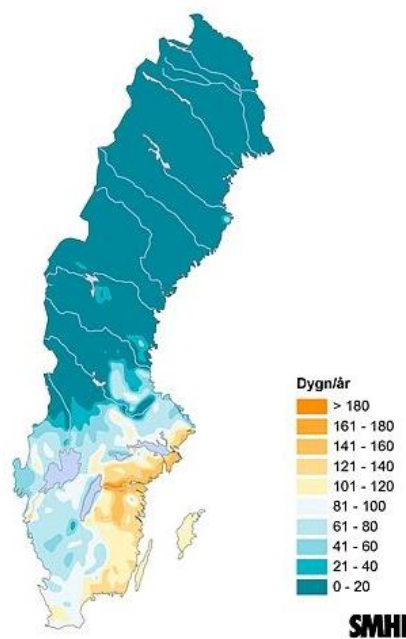
Torka är ett komplext fenomen och definieras av sammanhang och balans mellan vattentillgång och behov. Meteorologisk torka baseras på nederbördsdata t.ex. liten eller

ingen nederbörd. För mätningar brukar lägsta möjliga mängd att mäta vara 0,1 mm och utgör därmed ett naturligt tröskelvärde för att skilja ut torra dagar. I klimatmodeller beror tröskelvärdet på modell och rumslig upplösning. Tröskelvärdet bör ligga högre och SMHI har vanligen använt 1,0 mm/dygn för att skilja på våta och torra dagar. Torra dagar är alltså dagar då nederbörds mängden är mindre än 1,0 mm/dygn och vanligen är klimatindexet uttryckt som längsta sammanhängande period med torra dagar.

Lågvattenföring

Ytterligare ett sätt att beskriva torka är att beskriva perioder med låg vattenföring i vattendrag (figur 34). Under torrare perioder, vanligen sommartid, är tillgången på vatten i vattendragen viktig för många olika verksamheter. Klimatindexet som här använts är antal dygn per år då det är låg vattenföring i vattendragen. Den mer exakta definitionen är antal dygn per år då vattenföringen är lägre än medellågvattenföringen dvs. medelvärde av varje års lägsta värde för referensperioden.

För större delen av Sverige är det låg vattenföring (enligt den i analysen använda definitionen) 0-20 dygn/år i historiskt klimat (här: 1963-1992). I slutet på seklet ses kraftig ökning av antalet dagar med lågvattenföring för sydöstra Sverige. För norra Sverige framgår ingen förändring. För sydöstra Sverige kan den kraftigt ökade perioden med lågvattenföring ha betydande konsekvenser för vattentillgången för bevattning men även för dricksvatten.³⁰



Figur 34. Kartan visar antal dygn per år då det är låg vattenföring i vattendragen för perioden 2069-2098 enligt beräkningar med 12 klimatmodeller utifrån SRES-scenarier. Måttet är specifikt för varje plats.

Marktorka

Torka kan definieras på många olika sätt utifrån användningsområde. För skog och jordbruksgrödor är tillgången på vatten i marken viktigast. Ett sätt att beskriva torka är att utgå från markförhållanden dvs. fuktigheten i marken. Den mer exakta definitionen av torka har i dessa fall varit: Antal dagar per år med lägre markfuktighet än medellågmarkfuktigheten dvs. medelvärde av varje års lägsta värde för referensperioden (här: 1961-

³⁰ <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatanalyser/antal-dygn-per-ar-da-det-ar-lag-vattenforing-i-vattendragen-1.22650>

1992). För att ta fram detta klimatindex har beräkningar gjorts med en hydrologisk modell driven av regionala klimatmodelldata.³¹

5 Hur kan klimatscenarier användas?

Klimatscenarier är framtagna för att beskriva klimatets tänkbara utveckling. De är en ingrediens av många som behövs för att klimatanpassa.

Klimatscenarier kan användas på olika sätt. Utdata från klimatmodeller kan vara indata till effektmodeller för att studera hur olika sektorer påverkas av förändrat klimat. Klimatscenariodata kan aggregeras som olika klimatindex för att ge olika verksamheter information som är hanterbar t.ex. graddagar, växtsäsong. Kartor, diagram, tabeller och texter är sammantaget hjälpmedel för att beskriva hur klimatet kan komma att utvecklas i framtiden.

För att kunna använda klimatscenarier behövs dels förståelse för vad klimatscenarierna visar. Ännu viktigare är att användaren kan det område/ den verksamhet som ska klimatanpassas, och dess relation till klimatet.

5.1 Vilka klimatscenarier bör användas?

För mer övergripande frågeställningar ger regionala klimatscenarier en detaljerad bild. På lokal nivå önskas vanligen än mer detaljerad information, vilket kräver ytterligare nedskalning av data. Enstaka klimatscenarier kan inte utpekas som bättre än andra. Därför arbetar vi med flera.

Handlar det om klimatanpassning ett till tio år in i framtiden, så är klimatscenarier av föga intresse. Den naturliga variabiliteten i klimatet är för stor för att klimatförändringar ska kunna skiljas från t.ex. naturliga variationer i vädersystem. Däremot är det viktigt att känna till hur klimatet har varierat. Riktigt extrema händelser sker sällan och därför är långa mätserier av stort värde så att klimatvariationen kan täckas in.

Vilka klimatscenarier som bör användas för klimatanpassning, med längre tidsperspektiv, beror på frågeställningen. Vill planeraren ha en övergripande bild av hur klimatet kan komma att förändras över världen är globala klimatscenarier av stort värde. Är perspektivet en del av världen, som t.ex. Europa, ger regionala klimatscenarier en mer detaljerad bild. För klimatanpassning på mer lokal nivå, som t.ex. ett län eller kommun, önskas ofta ännu mer detaljerade klimatscenarier. Därför utvecklas metoder för ytterligare nedskalning av klimatdata.

Som diskuteras i avsnitt Vilka klimatscenarier finns? (kapitel 4), så finns flera olika klimatscenarier därför att vi måste hantera den osäkerhet som existerar. Genom att använda resultat från flera modeller får vi robustare resultat. Det har däremot visat sig omöjligt att peka ut vissa enstaka scenarier som bättre än andra.

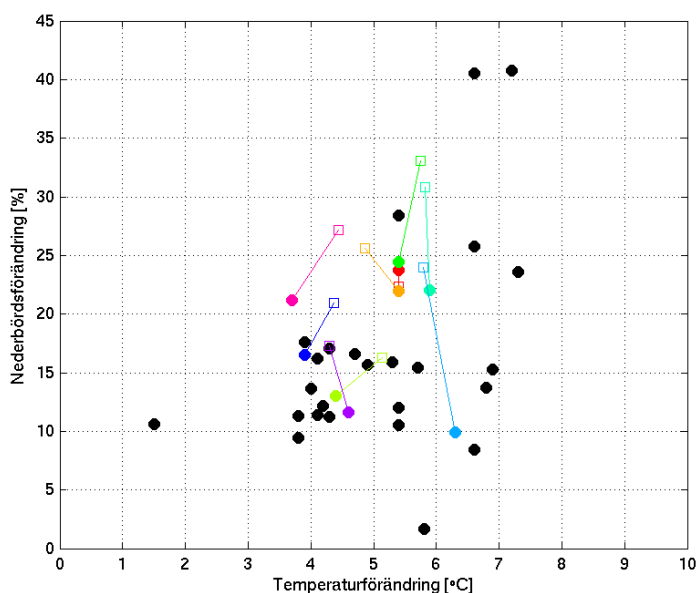
De nyare klimatscenarier som SMHI presenterar på smhi.se under Klimatscenarier benämns RCP 2.6, RCP 4.5 respektive RCP 8.5. De har alltså namn efter strålningsdrivningsscenariot, men bakom ligger nio olika globala klimatmodeller, alltså en ensemble med samma strålningsdrivningsscenario.

Det är inte enkelt att välja vilka klimatmodeller som ska ingå i en ensemble. En modell kan prestera bra över vissa delar av världen och sämre över andra. En annan modell kanske beskriver temperatur bra och nederbörd mindre bra. Det finns alltså ett värde i att ha stora ensembler eftersom de bättre fångar osäkerheten i resultaten. I praktiken styrs valet av ensemble till stor del av hur många och vilka modellsimuleringar som är

³¹ <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatanalyser/antal-dygn-per-ar-da-det-ar-relativt-torrt-i-marken-1.22646>

praktiskt möjliga att göra. De globala klimatscenarier som använts för nedskalning med den regionala modellen RCA4 kommer från CMIP5 dvs. underlaget till IPCC AR5. Ett urval av globala modeller har gjorts, baserat på tillgänglighet av data för att kunna driva den regionala modellen. Det är alltså inte ett aktivt kvalitetsinriktat val.

I figur 35 visas modellberäkningar av nederbörd och temperatur för Sverige. Dels resultat direkt tagna från alla CMIP5-modeller och dels resultat från de nio regionala nedskalningar som gjorts med RCA4. Resultaten visar att det urval av nio modeller som gjorts, på ett bra sätt representerar spridningen inom hela CMIP5. Ingen av de nio globala modellerna sticker ut som extrem. Jämförelsen visar också att temperaturförändringen efter nedskalning med RCA4 är liten, men att i åtta av de nio beräkningarna ökar nederbörden efter nedskalning (Linjerna går uppåt från global till regional modellberäkning, dvs. ökad nederbörd).



Figur 35. Beräknad förändring i nederbörd (%) och temperatur (°C) för Sverige perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1961-1990. Alla beräkningar avser strålningsdrivningsscenario RCP 8.5. De globala modellresultaten visas som fyllda cirklar. Av dessa har nio använts av Rossby Centre för nedskalning med den regionala klimatmodellen RCA4. De CMIP5-modeller som inte använts av RCA4 visas som svarta fyllda cirklar. Resultat från RCA4-beräkningarna visas som kvadrater och motsvarande CMIP5-modells resultat visas som färgade cirklar. Linjerna anger hur resultaten för Sverige förändras från de globala beräkningsmodellerna till den regionala modellen.

5.2 Variation i tid och rum

Klimatförändringen är inte linjär. Variationer framträder tydligare då skalor och tidsperspektiv ändras.

5.2.1 Tidsaspekten

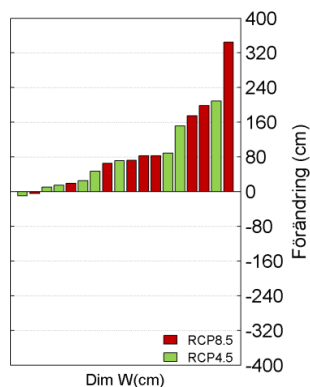
Tittar vi ca 10 år framåt är information om nutidsklimatet av större betydelse än klimatscenarier, dvs. det är svårt att urskilja förändringen beroende på att den naturliga variabiliteten är så stor. Längre fram i tiden och fram till mitten av seklet kan förändringssignalen urskiljas i klimatscenarierna. Den variation som ses i beräkningarna beror på klimatmodellerna. Det vill säga, den speglar den kaotiska utvecklingen i den naturliga variationen, samt att vi inte till fullo förstår klimatsystemet. För den tidsperioden spelar valet av utsläpps-/strålningsdrivningsscenario liten roll. Mot slutet av seklet däremot har valet av utsläpps-/strålningsdrivningsscenario störst betydelse för variationen i beräkningarna.

Det varierar dock beroende på vilken variabel som är av intresse. Medeltemperaturen är stabilare och har därför en tydligare klimatförändringssignal, medan medelnederbörd (eller extrem nederbörd) varierar kraftigt och behöver en starkare klimatförändringssignal innan den tydligt kan särskiljas från naturlig variabilitet.

5.2.2 Rumsligt perspektiv

Att ändra rumslig skala kan förändra perspektiv. Om vi tittar på globala resultat kan det te sig enkelt att RCP 8.5 ger kraftigare förändringar än RCP 4.5. Det är oftast även tydligt för regionala klimatscenarier, men gör vi analyser på andra skalor utifrån än mer detaljerade data blir bilden inte lika entydig. Då kan ett klimatscenario med RCP 8.5 ge lägre förändringssignal än ett klimatscenario med RCP 4.5.

Ett avancerat exempel syns i figuren. I en studie över *Dimensionerande flöden för dammanläggningar* (Elforsk) gjordes beräkningar av bland annat förändringar i dimensionerande vattenstånd för några olika dammar i Sverige. I figur 36 ses att de 18 olika klimatscenarierna blandas avseende strålningsdrivningsscenario. Den största förändringen ses för ett klimatscenario med högt strålningsdrivningsscenario men den näst högsta förändringen ses för ett klimatscenario med det lägre strålningsdrivningsscenariot och så vidare. Dock pekar nästan samtliga 18 scenarier på ökat vattenstånd.



Figur 36. Figuren visar ett exempel på en studie av dimensionerande vattenstånd för en dammanläggning i norra Sverige beräknat med indata från 18 klimatscenarier utifrån nio globala klimatmodeller och två strålningsdrivningsscenarier. I detta fall har regionala klimatscenarier nedskalats till hög upplösning och använts i hydrologiska studier. Jämförelsen avser perioden 2067-2096 jämfört med 1971-1990. Källa: Elforsk, 2014. *Dimensionerande flöden för dammanläggningar*.

5.3 Hur ska scenariodata tolkas?

De diagram som SMHI använder för att presentera olika resultat innehåller ofta mycket information och kan därför vara krångliga att förstå. I detta avsnitt visar vi hur ett sådant diagram är uppbyggt och vad som kan utläsas.

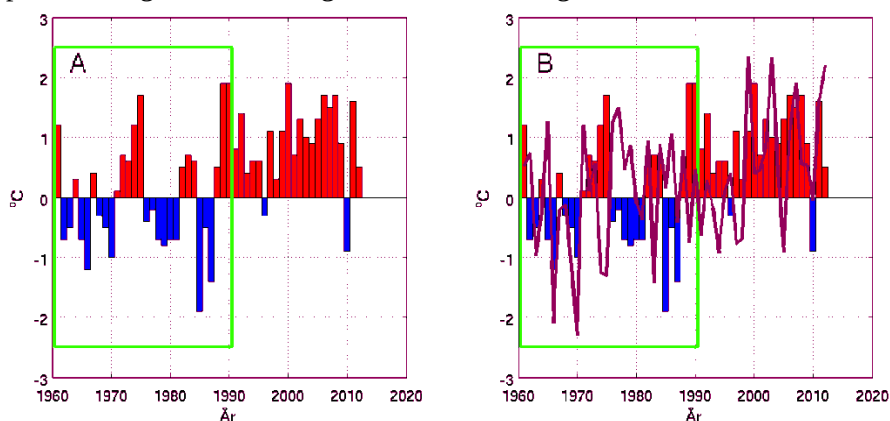
Att känna dagens klimat är grundläggande för alla uppskattningar av framtidens klimat. Om vi inte känner dagens klimat så kan vi inte veta om det förändras, och hur ett förändrat klimat påverkar oss.

Figur 37 visar observerad temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för perioden 1961-1990, dvs. hur mycket varmare eller kallare än medelvärdet som varje år är. Perioden 1961-1990 är markerad med en grön ruta. Medelvärdet för 1961-1990 har här normaliserats dvs. satts till noll och staplarna anger alltså hur mycket från medelvärdet som varje enskilt år avviker. Temperaturen varierar mycket mellan enskilda år. Ett år kan vara flera grader kallare eller varmare än föregående år. Efter 1991 så är alla år utom två

varmare än medelvärdet för 1961-1990. Perioden 1991-2012 är varmare än perioden 1961-1990, vilket syns tydligt som en anhopning av röda staplar.

Det går också att simulera (beräkna) dagens klimat med en klimatmodell. I figur 37B visas en simulering av dagens klimat med heldragen lila linje. Även den visas som avvikelser från medelvärdet för 1961-1990. Klimatmodellsimuleringen styrs endast av konstant solinstrålning och halter av växthusgaser, och skapar sitt eget klimat utifrån dessa klimatologiska förutsättningar. Det betyder att svängningarna mellan t.ex. kalla och varma år (som visas i figur 37B) i modellen kan vara ur fas med observationerna. Dessa påverkas ju även av solens intensitetscykel, effekter från vulkanutbrott med mera. Vi ser i figuren att skillnaden mellan modell och observationer kan vara flera grader för enskilda år. Det betyder inte att modellen är dålig.

Eftersom modellen skapar sitt eget klimat kan vi inte förväntas oss att den ska vara i fas med observationerna. Däremot ska vi förvänta oss att modellsimuleringen har samma variabilitet (lika många kalla och varma år som i observationerna) och samma amplitud (lika kalla och varma år som i observationerna). De statistiska egenskaperna i det simulerade klimatet ska alltså vara samma som i observationerna. Modellen utvärderas med hjälp av statistiska mått och inte år för år. Kontrollperioden är 30 år lång eftersom en kortare period inte ger ett tillräckligt statistiskt underlag.



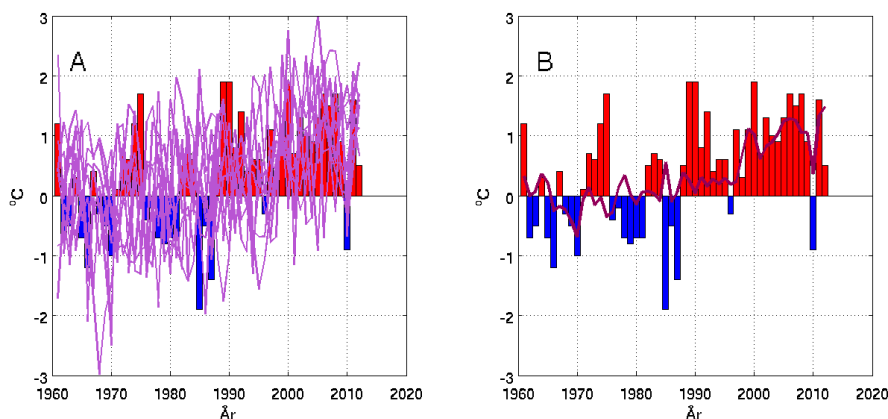
Figur 37. A) Observerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990. Varma år markeras med röda staplar, kalla år markeras med blåa staplar. Referensperioden 1961-1990 är markerad med en grön ruta. B) Samma som A) samt simulerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990 enligt en klimatmodell (lila linje).

Även om modellsimuleringen i figur 37B verkar beskriva dagens klimat på ett bra sätt så är det bara en beskrivning av flera möjliga. Olika modeller ger olika resultat och med små ändringar i startvillkor ger även samma modell olika resultat, eftersom klimatsystemet är kaotiskt till sin natur. Det kan alltså vara bra att titta på flera olika modellsimuleringar för att se på spridningen mellan olika beskrivningar av klimatet. Om vi bara tittar på en enskild simulering som i figur 37B kan det av en slump vara så att simuleringen är väldigt lik (eller olik) observationerna och att vi därför förleds att tro att våra resultat är bättre (eller sämre) än vad de egentligen är. Genom att titta på fler modellsimuleringar samtidigt, en så kallad ensemble, så undgår vi det problemet. Ensemblen säger dessutom något om säkerheten i våra resultat, om alla modeller visar samma sak är resultatet säkrare än om alla modeller ger olika resultat.

I figur 38A visas observerad och modellerad temperatur i dagens klimat på samma sätt som i figur 37B, men nu med 9 olika modellsimuleringar. Fram träder ett spagettiliknande virrvarr. Alla medlemmar i ensemblen ses som lika trolig som någon annan, och eftersom det dessutom är svårt att urskilja enskilda medlemmar, bör ensemblen

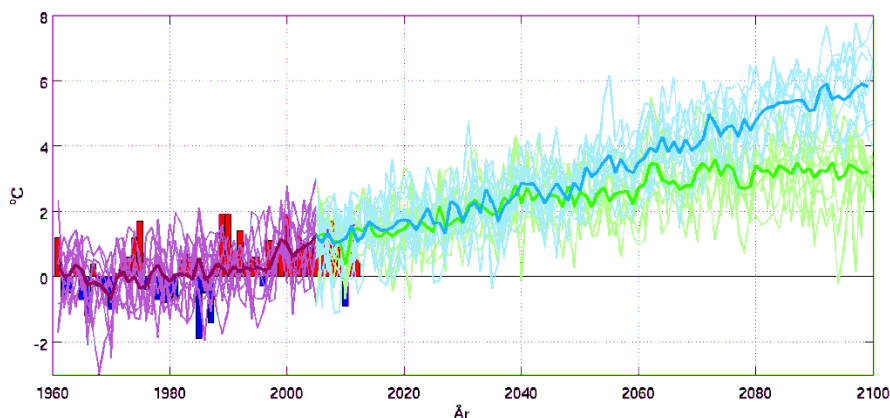
snarast tolkas som en enhet. På samma sätt som i figur 37B kontrollerar vi att ensemblen har liknande statistiska egenskaper som observationerna.

Ett virrvarr av linjer som i figur 38A kan vara svårt att tolka; det är t.ex. inte lätt att se om ensemblen uppvisar en trend. Ett sätt att göra ensemblen mer lättolkad är att titta på ensemble-medelvärden. I figur 38B ser vi att ensemble-medelvärdet visar en uppvärmningstrend de sista 20 åren i serien. En signal som kan vara svår att fånga i bruset i figur 38A. Samtidigt försvinner en del information. Mellanårsvariationen försvinner i ensemble-medelvärdet. Jämför hur de lila linjerna i figur 37B varierar från år till år med den mer utslätade lila linjen i figur 38B. Medelvärdet kan alltså inte jämföras direkt med observationer eftersom det tar bort variationerna mellan år. Ensemble-medelvärdet visar den långsiktiga trenden, observationerna visar enskilda år.



Figur 38. A) Observerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990. Varma år markeras med röda staplar, kalla år markeras med blå staplar. Simulerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990 från olika klimatmodeller markeras med lila linjer. B) Samma som A) men endast med ensemble-medelvärdet av modellsimuleringarna (lila linje).

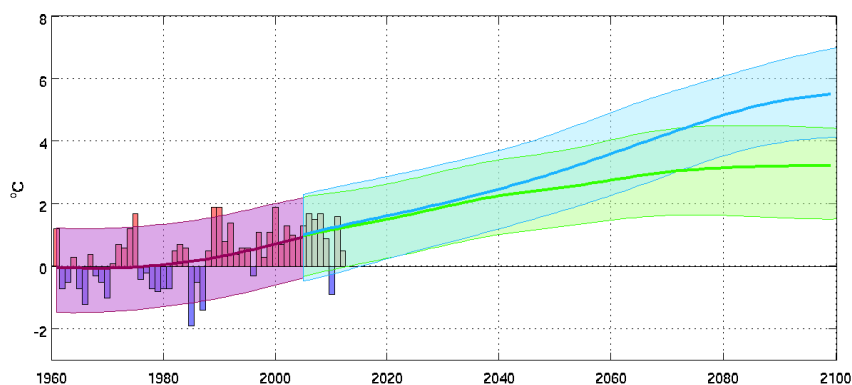
”Spagettidiagrammet” kan förlängas in i framtiden för olika scenarier. I figur 39 kombineras de enskilda ensemble-medlemmarna med ensemble-medelvärdet. Då kan vi se både den långsiktiga trenden och variationen mellan enskilda år. I figur 39 ser vi att det blå scenariot i medeltal blir knappt 6 grader varmare i slutet av seklet, och att enskilda år kan vara 4-8 grader varmare.



Figur 39. Observerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990. Varma år markeras med röda staplar, kalla år markeras med blå staplar. Simulerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990 från olika klimatmodeller markeras med lila linjer för den historiska perioden, gröna linjer för scenario RCP4.5 samt blå linjer för scenario RCP8.5. Feta linjer markerar ensemble-medelvärden.

Trots att ensemble-medelvärdet bara visar den långsiktiga trenden så rör den sig fortfarande upp och ned mellan åren. Dessa variationer är bara en rest av de slumpmässiga variationerna i de enskilda ensemble-medlemmarna. Inte desto mindre kan de förleda oss att tro att vi vet mer om klimatets utveckling än vi verkligen vet. I figur 39 kan det se ut som om vissa fem- eller tioårsperioder kommer att bli kallare eller varmare än vad trenden säger, men det är slumpmässiga variationer och inte information som modellerna ger oss.

För att undvika sådana missförstånd kan kurvorna förenklas ytterligare (figur 40). Genom att göra långtidsmedelvärden, så att ett år representerar en 30 årsperiod istället för bara ett år, fås en mjukare kurva. Samtidigt finns all viktig information kvar: vi ser den genomsnittliga, långsiktiga trenden, hur stor variationen mellan enskilda år är samt hur dessa förhåller sig till observationer.



Figur 40. Observerad årsvis temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990. Varma år markeras med röda staplar, kalla år markeras med blå staplar. Simulerad temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för 1961-1990 från olika klimatmodeller markeras med lila linje för den historiska perioden, grön linje för strålningsdrivningsscenario RCP4.5 samt blå linje för RCP8.5. Linjerna är utjämnade för att representera 30 års-medelvärden. Lila, grönt och blått fält visar spridningen mellan modeller, som min- och maxvärden, utjämnat till 30 års-medelvärden.

5.4 Exempel

Här visas några exempel på diagram och kartor och hur dessa kan tolkas.

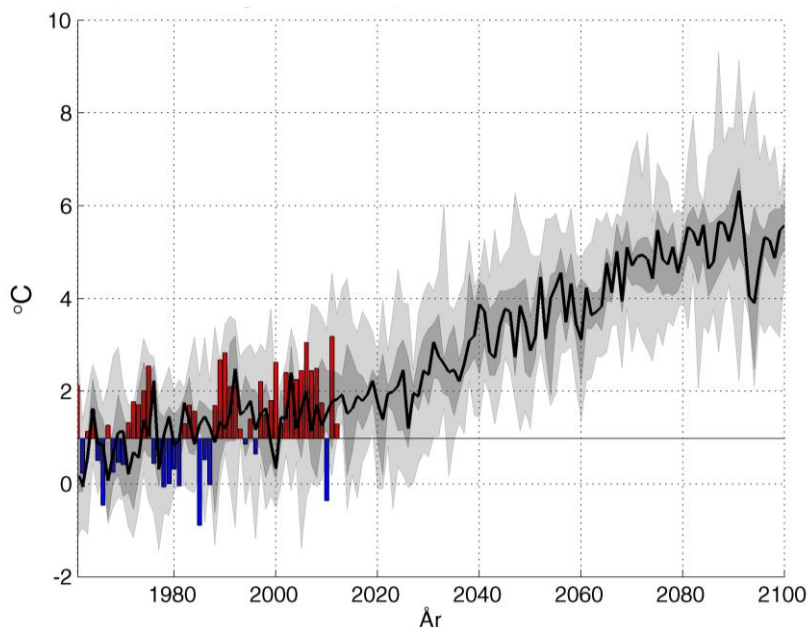
5.4.1 Årsmedeltemperatur

Eftersom det klimat som beskrivs av klimatmodeller inte är i fas med det verkliga klimatet går det inte att använda information om enskilda år, varken för passerad tid eller framtid. I de diagram som SMHI förmedlar läggs vanligen observationsdata in. I exemplet nedan (figur 41) visas uppmätt årsmedeltemperatur för Jämtland i form av staplar för perioden 1961-2012. I detta fall har medeltemperaturen för 1961-1990, 1°C, lagts in som horisontell linje. Temperaturopobservationerna visar en ökande temperatur. De modellberäknade värdena visar den statistiska utvecklingen och följer väl mönstret i observationerna. De speglar dock inte enskilda års värden.

I exemplet nedan (figur 41) visas modellberäkningarnas medianvärde. Fördelen med att använda medianvärde istället för medelvärde är att det är mindre känsligt för asymmetri i datamaterialet. Om det t.ex. finns ett extremt värde så kan det påverka medelvärdet mycket men medianvärdet representerar det mittersta värdet i en grupp. Hälften av beräkningarna har alltså värden som är större än medianvärdet och andra hälften har värden som är mindre.

Det går inte att titta på enskilda år för framtidsberäkningarna heller. Klimatmodellerna beskriver det statistiska beteendet, inte hur årsmedeltemperaturen år 2041 blir.

Ur figuren kan alltså utläsas att årsmedeltemperaturen har ökat under perioden 1961-2012 och att variationsbredden mellan år är ca fyra grader ($-1^{\circ}\text{C} - +3^{\circ}\text{C}$). Det varmaste året under perioden var 2011 och det kallaste 1986. Den beräknade framtida temperaturen visar på en fortsatt ökning, framförallt efter mitten på seklet. I slutet på seklet nås ca 5°C i medeltal. Om vi tittar på hela spännvidden av vad klimatscenerierna visar så kan årsmedeltemperaturer på ca 8°C uppnås såväl som ned mot 3°C . Det senare är att jämföra med de allra varmaste åren idag (jämför med staplarna).



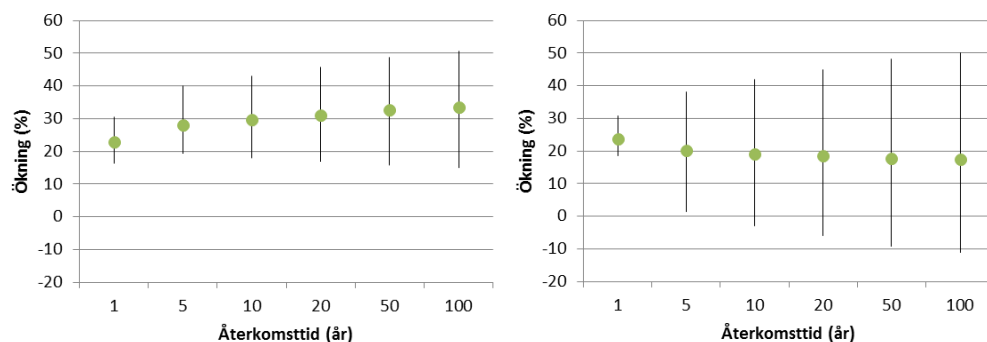
Figur 41. Årsmedeltemperatur för Jämtland. För referensperioden 1961-1990 var årsmedeltemperaturen 1°C , vilket markeras som en horisontell linje. Observerade värden 1961-2012 visas som staplar och modellberäkningarnas medianvärden som svart linje. Osäkerheten i beräkningarna representeras här av 25:e och 75:e percentilen som ett mörkare grått fält och de absoluta maximi- och minimivärdena som ljusare grått fält.

5.4.2 Extrem nederbörd

Extremnederbörd, i termer av mycket nederbörd på kort tid, kan förväntas öka enligt forskningen. De termer som används är vanligen varaktighet och återkomsttid. Varaktighet är den tidsperiod som regnet varar och återkomsttid är ett mått på hur vanligt förekommande ett sådant regn är. Vid analysen plockas maximala värden ut för olika tidslängder, exempelvis 30 minuter, 1 timme, 3 timmar osv., för varje år. Dessa anpassas till en fördelningsfunktion så att olika återkomsttider kan utläsas.

I det vänstra diagrammet (figur 42) ses en ökning av 1-timmes regn (maximal nederbörd under en timme) för samtliga återkomsttider. Eftersom det här handlar om procentuell ökning betyder 30% ökning för 1-årsregn mindre än 30% ökning för 20-årsregn, om vi talar om mängder. Ett maximalt 1-timmes regn kan röra sig om 10-15 mm för återkomsttiden 1 år och 30-50 mm för återkomsttiden 20 år. Det betyder att en ökning med 30% uppgår till några mm för 1 års återkomsttid men uppåt 15 mm för 20 års återkomsttid.

I det högra diagrammet (figur 42) visar klimatscenerierna samstämmigt på ökande extremregn. I det vänstra diagrammet, som avser en annan plats, är inte resultaten lika samstämmiga. Spridningen mellan klimatscenerierna är större (längre svarta lodräta linjer). För återkomsttiden 1 år (mer vanliga kraftiga regn) visar klimatscenerierna på en ökning med ca 25%. Ju längre återkomsttid (mer sällsynta kraftiga regn) desto större är spridningen mellan klimatscenerierna. Dock visar medelvärdena på ca 20% ökning.

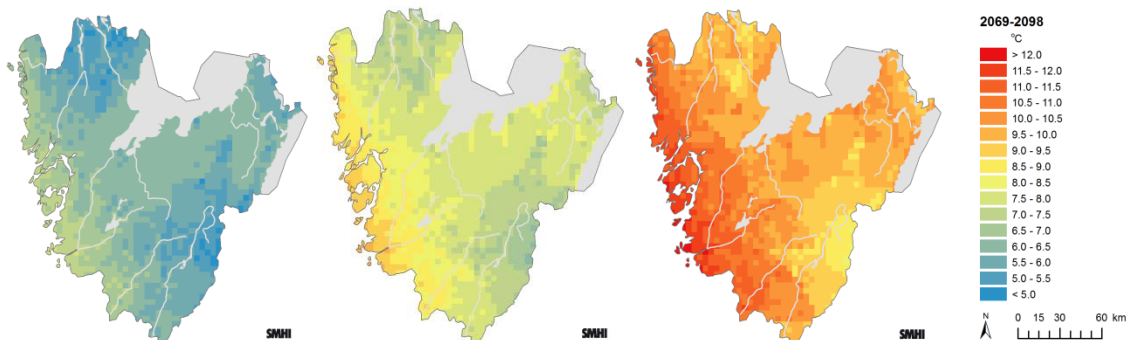


Figur 42. Diagrammen visar hur nederbörd med varaktighet 1 timme kan komma att förändras procentuellt i framtiden enligt beräkningar med 6 regionala klimatscenarier för två olika platser. Punkterna är medelvärden och de lodräta linjerna visar spridningen för de sex beräkningarna.

5.4.3 Kartor och diagram kompletterar

En karta kan beskriva rumsliga variationer men är statisk i tiden dvs. ger ingen information om eventuella förändringar med tiden. Kartor som visar variationer för olika tidpunkter kan tillsammans ge en bild av utvecklingen. Kartorna nedan visar 30-årsmedelvärden för tre olika perioder (figur 43). Det är varmast längs kusten och kallast på höjdpartierna. Det mönstret är genomgående för alla kartorna men de visar på en successiv temperaturhöjning under seklet.

Kartorna visar enbart medelvärden för 30-årsperioder och ger därför inte heller någon uppfattning om skillnader mellan år.



Figur 43. Beräknad årsmedeltemperatur för Västra Götaland. Vänstra kartan avser medelvärden för perioden 1961-1990, i mitten 2021-2050 och till höger 2069-2098. Skalan är densamma för alla kartor.

Ett diagram beskriver utveckling i tiden men ger inte information om den rumsliga variationen. Däremot ger det information om variationer mellan år. Därför kompletterar kartor och diagram varandra.

Kartorna ovan baseras på nedskalningar av regionala klimatscenarier. Resultaten presenteras alltså med upplösningen $4 \times 4 \text{ km}^2$. Klimatsignalen från klimatmodellerna har inte denna höga upplösning. Den största delen av klimatets rumsliga variation kommer från variationer som beror på topografin och närheten till havet. Det blir särskilt tydligt i kustzoner där klimatsceniernas gridboxar blir synligt för vissa variabler. Det beror på att resultaten från de gridboxar som huvudsakligen representerar havsytor även speglas över land.

Vi vill här påpeka att kartorna visar på generella mönster men det är direkt olämpligt att plocka ut värden för enskilda rutor.

5.5 Hur hanterar vi osäkerheter?

Osäkerhet är en del i processen att fatta beslut. Frågan om klimatets utveckling skiljer sig därvidlag inte från andra osäkerheter om framtiden.

Ju längre beräkningskedjor ju fler osäkerheter införs. I resonemanget om klimatmodellering diskuterades osäkerheter i modellberäkningarna. Dessa finns kvar i effektstudierna. Dessutom införs fler osäkerheter i och med att ytterligare modeller används och beräkningar och antaganden görs.

Osäkerheter måste alltså kunna hanteras. De är en del av själva frågeställningarna om framtiden. Osäkerhet är en del av allt beslutsfattande som sker dagligen i samhället. Jämför exempelvis med ekonomiska frågeställningar som berör valutor, räntor och utvecklingen på börsen.

Allt är dock inte osäkert vad gäller klimatutvecklingen och effekter av densamma. Metoden SMHI vanligen tillämpar för hydrologiska effektstudier innebär att flera möjliga klimatscenarier ingår, en så kallad ensemble. Resultaten bearbetas statistiskt för att öka kvaliteten i analysen och att identifiera trender som är generella mellan olika scenarier. För att utnyttja fördelarna med ensembleanalys bör det finnas ett visst mått av variation. Speciellt gäller detta klimatsimuleringar, då det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga och olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Om liknande förändringar erhålls i flera klimatscenarier bedöms de således mer troliga än om resultaten är mer spretiga.

Spridningen i resultat kan vara betydande för en del klimatvariabler, vilket delvis beror på att olika modeller beskriver klimatologiska processer på olika sätt, exempelvis återkopplingsprocesser som påverkar förhållandet mellan atmosfärisk koncentration av växthusgaser och temperatur.

Det ligger i frågeställningens natur att det är svårt att på förhand definiera ett mått på responsen för ökade emissioner av växthusgaser, då detta är en effekt som modellerna syftar till att studera. Således är tillgången till flera olika klimatmodeller en stor fördel. Trender i respons som observeras i flertalet klimatmodeller och för flertalet utsläppsscenarier är därför att betrakta som mer robust eftersom samma resultat uppnått från olika oberoende förutsättningar. Om resultaten från olika modeller och utsläppsscenarier är mycket olika är osäkerheten större.

"Låt inte sikten skymmas av osäkerheter"

(Ulrika Björkstén, Vetenskapsradion, kommenterar IPCC:s rapport.)

5.6 Att tänka på

Tidsperspektiv, risker och kostnad-nytta är några saker att tänka på vid klimatanpassning.

När klimatscenarier ska användas för klimatanpassning är det viktigt att tänka på tidsperspektivet för den verksamhet som ska anpassas. För många, idag pågående, infrastrukturprojekt behövs en lång planeringshorisont. Byggnader har lång livslängd, oftast över 100 år. Broar och vägars livslängd beror på flera faktorer som t.ex. belastning men också på strukturella förändringar. Vi kan dock konstatera att infrastruktur tenderar att användas under mycket lång tid. De svenska tågen går till stor del på järnväg som anlades under förrförra seklet. VA-systemen i städer används också under mycket lång tid.

Alltså bör för dessa system ett långt tidsperspektiv tas med i planeringen. Det innebär att omfatta dagens och framtidens klimat.

Risker är olika för olika verksamheter. Risk är en funktion av sannolikhet och konsekvens. Om konsekvensen är stor bör verksamheten anpassas så att sannolikheten för händelsen är liten. Närbesläktat är analyser av kostnad och nytta. Hur mycket kostar det att ta höjd för förändringar och vilken nytta får det?

Exempel Mälaren

Det pågår ett stort arbete för att bygga om Slussen i Stockholm. Som underlag för att bedöma behovet av att kunna släppa ut vatten från Mälaren har många beräkningar gjorts. Eftersom det är mycket stora värden som ska skyddas och kostsamma byggnationer som ska stå i många år måste hänsyn tas till klimatets förändring och hur det kan påverka flödena. Tidsperspektivet i detta fall är alltså 100 år.

Mälaren är en dricksvattentäkt. I ett ännu längre perspektiv, ett par hundra år, år så kan havet ha stigit så pass mycket att det blir svårt att behålla sjön som sötvattenresurs utan drastiska åtgärder exempelvis i form av skyddsvallar i Saltsjön. Scenarier med denna långa horisont är mycket osäkra, men för planeringen är det viktigt att tänka långt.

Exempel pumpanläggning

En pump har livslängd på kanske 30 år men den byggnad som pumpen finns i kanske står i 100 år. Pumpen bör alltså dimensioneras för dagens och de närmsta 30 årens behov men om man kan förvänta att utpumpningsbehovet ökar därefter så bör huset dimensioneras för en större pump. Då tar man inte onödiga kostnader för en överdimensionerad pump de första 30 åren och huset behöver inte rivas för tidigt.

Exempel risker

För Klass 1-dammar har utvecklats en metod att beräkna dimensionerande flöde. Det anses motsvara en återkomsttid på över 10.000 år. Det betyder att dammar ska anläggas att kunna hantera mycket höga flöden. Man anger en hög säkerhetsmarginal. I sammanhanget har man alltså bedömt att konsekvenserna för ett dammbrott är så stora att sannolikheten för en händelse ska vara minimal.

Så hög säkerhetsmarginal behövs inte för alla verksamheter. Det är väldigt kostsamt med hög säkerhetsmarginal. Om konsekvenserna av att verksamheten drabbas av en väderhändelse är liten så kan sannolikheten vara högre än om konsekvenserna är stora. Väderhändelser kan vara höga flöden, värmeböljor, skyfall, högt havsvattenstånd eller torka.

På Klimatanpassningsportalen finns exempel på klimatanpassning.³²

6 Effektstudier till stöd

Klimatscenarier ger svar på frågor om klimatets tänkbara utveckling i framtiden. Effektstudier görs för att belysa hur klimatets förändringar påverkar olika sektorer. Det kan exempelvis gälla biologiska system eller vattentillgång.

För att titta på hur olika sektorer påverkas av klimatförändringar behövs oftast information om meteorologiska variabler som nederbörd och temperatur. Det kan dock vara svårt att direkt utifrån sådan information bedöma effekter för olika sektorer.

Kunskap om hur vattenförhållanden kan komma att ändras är också viktigt. Andra frågor kan gälla grödors eller skogens tillväxt, risker för skogsbränder eller djurarters utbredning.

Med effektstudier menar vi analyser där klimatscenarier används för att studera andra effekter av klimatförändringen än de meteorologiska. I detta avsnitt behandlas

³² <http://www.klimatanpassning.se/atgarder/exempel-pa-anpassning/anpassningsexempel-1.34254>

effektstudier översiktligt, med fokus på hydrologiska sådana. Effektstudier kan vara viktiga underlag i klimatanpassningsstudier.



Foto: Länsstyrelsen Skåne

6.1 Effekter på olika sektorer

Olika verksamheter och miljöer påverkas inte på samma sätt av förändringar av olika faktorer. Dessutom kan det geografiska läget göra att samma typ av verksamhet men på olika platser i landet påverkas olika (ex. skidanläggningar). Klimatförändringarna har alltså olika konsekvenser för olika sektorer i samhället.

I Kunskapsbanken på smhi.se kan man läsa om hur olika sektorer kan påverkas av klimatförändringarna och vilka faktorer som är viktiga för respektive sektor; skogsbruk, jordbruk, rennäring och fiske, stadsplanering och bebyggelse, energisektorn, teknisk infrastruktur, försäkrings- och finansbransch, turism och hälsoeffekter. Andra områden som behandlas är Östersjön och vattenflöden.³³

En del av de faktorer som påverkar sektorerna är direkt relaterade till meteorologiska variabler som vi kan få information om från klimatmodeller t.ex. temperatur och nederbörd. Andra faktorer behöver räknas fram via hydrologiska modeller (effektstudier) t.ex. flöden men även tjäle och grundvatten. När det gäller exempelvis skogstillväxt, utvecklingen av skadegörare i jordbruket och virussjukdomar behövs andra modellredskap för att beskriva framtida förhållanden. Dessa effektstudier använder klimatscenarier som drivdata för beräkningar eller som underlag för bedömningar.

Det finns även arbeten där klimatmodeller kopplas samman med effektmodeller så att ett utbyte av information mellan modellerna sker under beräkningarna. Det blir en interaktion (samverkan) mellan systemen. Här är ett exempel:

När klimatet förändras ändras förutsättningarna för naturen, vegetationens sammansättning förändras och det påverkar klimatet. I vanliga klimatmodeller är beskrivningen av vegetationen statisk dvs. den förändras inte med tiden. I kopplade modeller sker en mer dynamisk utveckling. Klimatmodellen gör beräkningar av klimatvariabler som matas in i vegetationsmodellen, som i sin tur utför beräkningar av vegetationen som tillförs klimatmodellen. Detta sker kontinuerligt under beräkningarnas gång. Det är ett exempel på den forskning som bedrivs för att utveckla klimatmodellerna.



³³ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimatforandringens-konsekvenser-for-samhallet-1.3880>

6.2 Vad är effektstudier?

Klimatförändringen påverkar många sektorer. Effektstudier avser analyser som använder klimatscenarier för att studera hur klimatförändringar kan påverka sektorn. Effektstudier kan vara värdefulla bidrag till sårbarhetsanalyser.

Med effektstudier menar vi analyser där utdata från klimatmodeller används för att studera andra effekter av klimatförändringen än de meteorologiska. Det kan vara hydrologiska effekter som flödesförändringar i vattendragen eller markfuktigheten. Andra exempel är skogstillväxt, risk för skogsbränder, grödoproduktion eller ändrad utbredning av djurarter.

En effektstudie består ofta av en modell som beskriver fenomenet av intresse, t.ex. vilka klimatologiska förhållanden där fästingar trivs eller hur vattenföringen påverkas av nederbörd och temperatur. För att studera fenomenet utifrån perspektivet förändringar i framtiden behövs information om hur klimatet kan tänkas förändras. Därför används klimatscenarier, som hämtas från globala eller regionala klimatmodeller beroende på hur detaljerad information som behövs.

I de effektstudier där utdata från klimatmodeller används som drivande indata till effektmodeller dyker ofta termen biaskorrigering upp (läs mer i kapitel 3.11 Vad är DBS-metoden?). Detta är en statistisk korrigering av olika variabler (t.ex. nederbörd) från klimatscenarier så att de kommer närmare observerade värden. Modellerna som ligger till grund för klimatscenarierna producerar nämligen olika avvikelser från observerade värden, vilka kan variera beroende på regionen som studeras. Generellt sett är effektmodellen starkt kalibrerad till observerade värden, och behöver data som stämmer väl överens med dessa för att ge användbara resultat. Här kan biaskorrigering (på SMHI används främst DBS-metoden) användas för att statistiskt anpassa de modellerade värdena mot de observerade. I vissa fall används metoden även för att ytterligare öka den rumsliga upplösningen och kallas då statistisk nedskalning.

Det finns flera faktorer som kan påverka en sektor, inte bara klimatets förändringar. Vattendragens flödesmönster påverkas exempelvis kraftigt av regleringsåtgärder. Ett annat exempel är effekter av skyfall, som är större i urbana områden än i naturområden. En orsak är den stora andelen hårdgjorda ytor i urbana områden. De försvårar infiltrationen i marken och ökar därmed de ytliga flödena. En annan orsak är den ökade sårbarheten i urbana områden. Regleringar och ökad urbanisering har ofta större effekter än förändringar i klimatet.

Inom projektet Hydroimpacts har en video (11 min) producerats, "Urban Water Vision", för att beskriva hur urbana områden påverkas av intensiv nederbörd och hur data från klimatmodeller hanteras.³⁴



³⁴ <http://www.smhi.se/en/research/research-departments/hydrology/wp4-hydroimpacts2-0-1.22967>

6.3 Var finns effektstudier?

Effektstudier finns inte i koordinerade sammanställningar utan är utspridda på olika institut- och projektsidor. Nedan följer ett par exempel på var man kan hitta effektstudier både inom och utanför SMHI:s webbsidor.

På Klimatanpassningsportalen³⁵ finns fliken ”Åtgärder”. Där kan olika verktyg för klimatanpassning hämtas bl.a. effektstudier från forskningen.

Hydrologiska effektstudier av framtida förändringar i vattenförling (vattentillgång, torka, hög/låg vattenförling, vårfod, etc.) som SMHI utfört finns sammanställda på Klimatanpassningsportalen.³⁶

Skogbrandrisker har analyserats utifrån klimatscenarier och presenteras i rapporten *Framtida perioder med hög risk för skogsbrand*³⁷. En sammanfattande presentation över skogsbrandrisk i framtida klimat baserad på klimatmodeller och brandriskmodeller finns också.³⁸

Klimat- och sårbarhetsutredningens slutrapport (SOU 2007:60) har 35 bilagor. Det är sammanställningar över hur ett förändrat klimat kan komma att påverka olika verksamheter i samhället. Infrastruktur, energiförsörjning, dricksvattentillgång, skogs- och jordbruk behandlas bland annat. Klimatscenarier har, i olika utsträckning, använts som underlag för bedömningarna. Bilaga 23 är en modellstudie över vegetationsförskjutningar, och klimatscenariodata har använts som indata till en vegetationsmodell.³⁹

Forskningsprogrammet CLEO, Klimatförändringar och miljömålen, studerar hur klimatförändringen påverkar möjligheterna att uppnå miljömålen Frisk luft, Bara naturlig försurning, Ingen övergödning och Giftfri miljö. CLEO har producerat en underlagsrapport inför Fördjupad utvärdering 2015 baserad på två klimatscenarier.⁴⁰

På Skogforsk webbsidor finns en applikation för plantval⁴¹. Inom forskningsprogrammet Mistra-Swecia, har applikationen utvecklats avseende tall med hänsyn till klimatscenarier.

Exempel på översvämningskarteringarna med klimatanpassade 100-årsflöden och 200-årsflöden finns att tillgå via MSB:s översvämningskartering⁴².

³⁵ www.klimatanpassning.se

³⁶ <http://www.klimatanpassning.se/atgarder/planera-for-anpassning/framtidens-vattenforhallanden-1.77377>

³⁷ <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26595.pdf>

³⁸

https://www.msb.se/Upload/Insats_och_beredskap/naturoluckykor/Skogsbrand/PP%20Nordiskt%20s kogsbrandssem%202014/02%20Brandrisk%20SMHI.pdf

³⁹ <http://www.regeringen.se/sb/d/8704/a/89334>

⁴⁰ <http://www.cleoresearch.se/publications>

⁴¹ <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Alla-Verktyg/Plantval/>

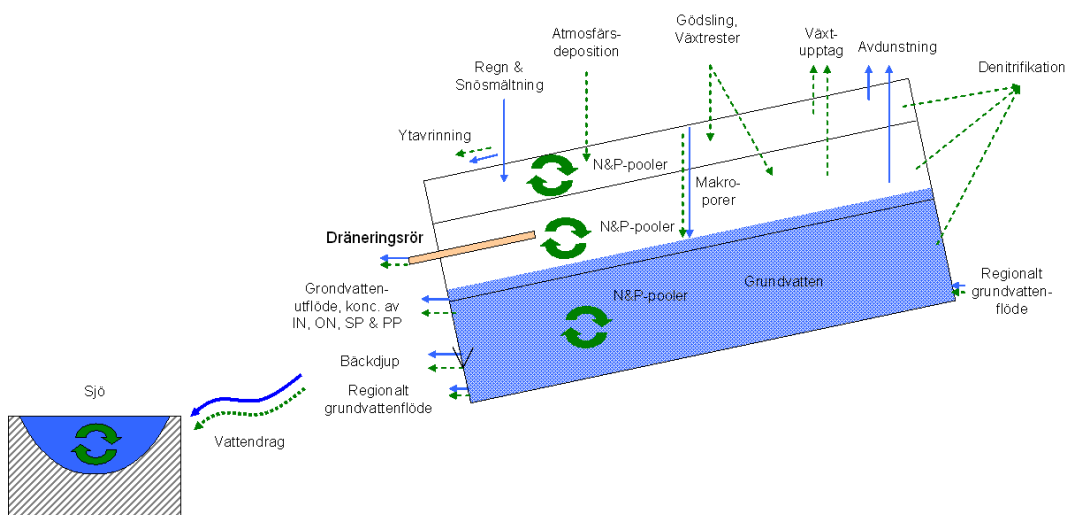
⁴² <http://gisapps.msb.se/Oversvamningskartering/Oversiktliga/framework.html>



6.4 Vad är hydrologiska modeller?

Hydrologiska modeller beskriver vattentillstånd och flöden. De har vanligen beräkningsrutiner för markfuktighet, snöackumulation, snösmältning och grundvatten samt beskriver vattnets väg i avrinningsområdet.

Det finns flera hydrologiska modeller. På SMHI används HBV⁴³ och HYPE (figur 44). De används rutinmässigt i prognosproduktionen men även för att beräkna hydrologiska effekter i framtida klimat. Det finns stora konceptuella likheter (fysikaliska antaganden) mellan modellerna, men HYPE hanterar till skillnad från HBV t.ex. vattnets flödesvägar i mark och ämnesomsättningen i marken för olika markklasser. HYPE är under aktiv utveckling och appliceras på allt fler områden i världen.⁴⁴



Figur 44 .Schematisk beskrivning av HYPE-modellen. I detta exempel uppsatt för en markklass uppdelad i tre markskikt, med flöden och omsättning av vatten och näringsämnen i mark, vattendrag och sjö.

Ett annat exempel på en hydrologisk modell som används för bl.a. klimateffektstudier är Coup-modellen från KTH.⁴⁵

⁴³ <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/hbv-1.1566>

⁴⁴ <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/hype-1.557>

⁴⁵ <http://www2.lwr.kth.se/Vara%20Datorprogram/CoupModel/>

6.5 Vad visar hydrologiska effektstudier?

Allteftersom klimatet förändras påverkas årstidernas karaktär, speciellt avseende temperatur och nederbörd. Det innebär att dynamiken och förekomsten av vatten kommer att förändras.

Hydrologi handlar om vatten på land och särskilt om vattendragen. Vattenföringens säsongsvariationer, medelvattenföring och kraftiga flöden är exempel på vad hydrologiska studier kan beskriva.

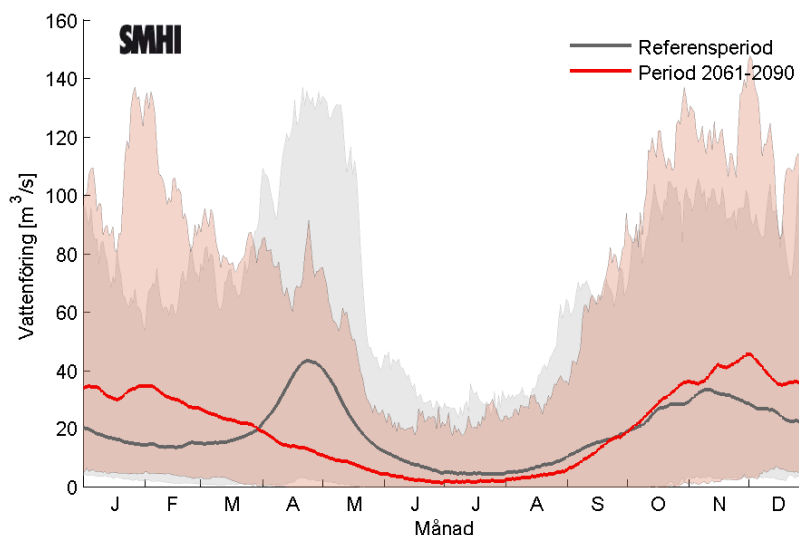
Säsongsvariationen i vattenföring drivs till stor del av nederbördsmönster och lagring av vatten i landskapet som snö, i mark eller i sjöar. Hur stor medel-, låg och högvattenföring ett vattendrag har beror delvis på klimatet men givetvis också på hur stort avrinningsområdet är och landskapsförhållanden.

Varje vattendrag är unikt. Det går inte att studera enbart ett vattendrag t.ex. i ett län och sedan generalisera för alla vattendrag i länet. De hydrologiska mönstren är lika för närbelägna avrinningsområden med likartade landskapsförhållanden. Avrinningsområden med stora höjdskillnader kan bete sig väldigt olika jämfört med mer slättlandsbetonade områden. Även om de är närbelägna. Snöförhållandena spelar härvidlag stor roll.

För att studera hur hydrologin kan påverkas av klimatets framtida förändringar används hydrologiska modeller, som drivs med temperatur- och nederbördsdata. Hydrologiska modeller har vanligen beräkningsrutiner för markfuktighet, snöackumulation, snösmältning och grundvatten samt beskriver vattnets väg i avrinningsområdet.

Temperatur- och nederbördsdata matas in för varje tidssteg som beräkningarna görs och resultatet är värden på vattenföring vid varje tidssteg. Dessa data används sedan för att beräkna medelvattenföring, 100-årsflöden osv.

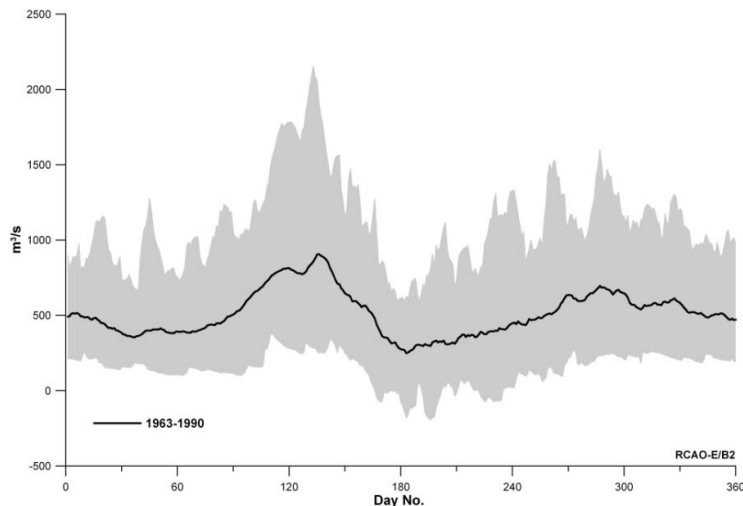
Viktigt påpekande: Tolkningen av grafer bör koncentreras till långsiktiga trender snarare än till absoluta värden.



Figur 45. En typ av diagram som SMHI ofta använder beskriver flödesmönstret under året. Figuren visar vattenföring för Upperudsälvens utlopp ur Foxen i Värmlands län beräknad för referensperioden 1963-1992 och för framtidsperioden 2061-2090.

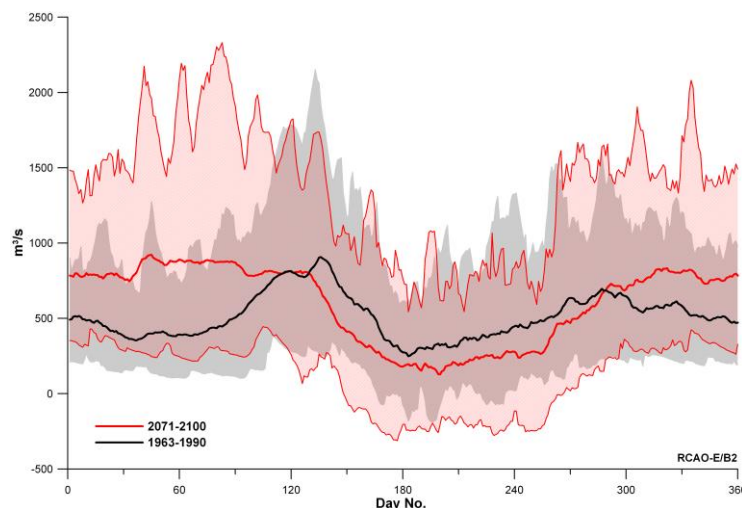
Den här typen av diagram (figur 45) innehåller en hel del information. Låt oss ta det stegvis. I figuren nedan (figur 46) visas en beräkning för perioden 1963-1990 för Vänerns utlopp. Observera att det enbart är ett exempel. Flödet uttrycks i kubikmeter per sekund (m^3/s) och tidsskalan är 360 dagar dvs. ett år med start 1 januari. Den svarta linjen visar medeldygnsvattenföringen. Det betyder att medelvärdet har beräknats för respektive dag

för perioden 1963-1990, det vill säga medelvärdet av 28 stycken första januari ger det första värdet i figuren och så vidare. Det grå fältet visar variationen för varje dag. Den övre gränsen av det grå fältet motsvarar kvartilvärdet för maximala värden och den undre gränsen av det grå fältet motsvarar kvartilvärdet av de minimala värdena. Kvartilvärde betyder att 25% (en kvart) av alla värden överstiger det värdet. Det är alltså inte absoluta största respektive lägsta vattenföring som visas.



Figur 46. Exempel på flödesmönster för Vänerns utlopp beräknat för perioden 1963-1990.

I nästa diagram (figur 47) har ett framtidsscenario lagrats på. Här visas perioden 2071-2100 utifrån beräkningar med 12 olika klimatscenarier. Medeldygnsvattenföringen visas som röd linje och variationen som ett rosa fält. För att åskådliggöra både det grå och det rosa fältet har en transparens effekt använts.

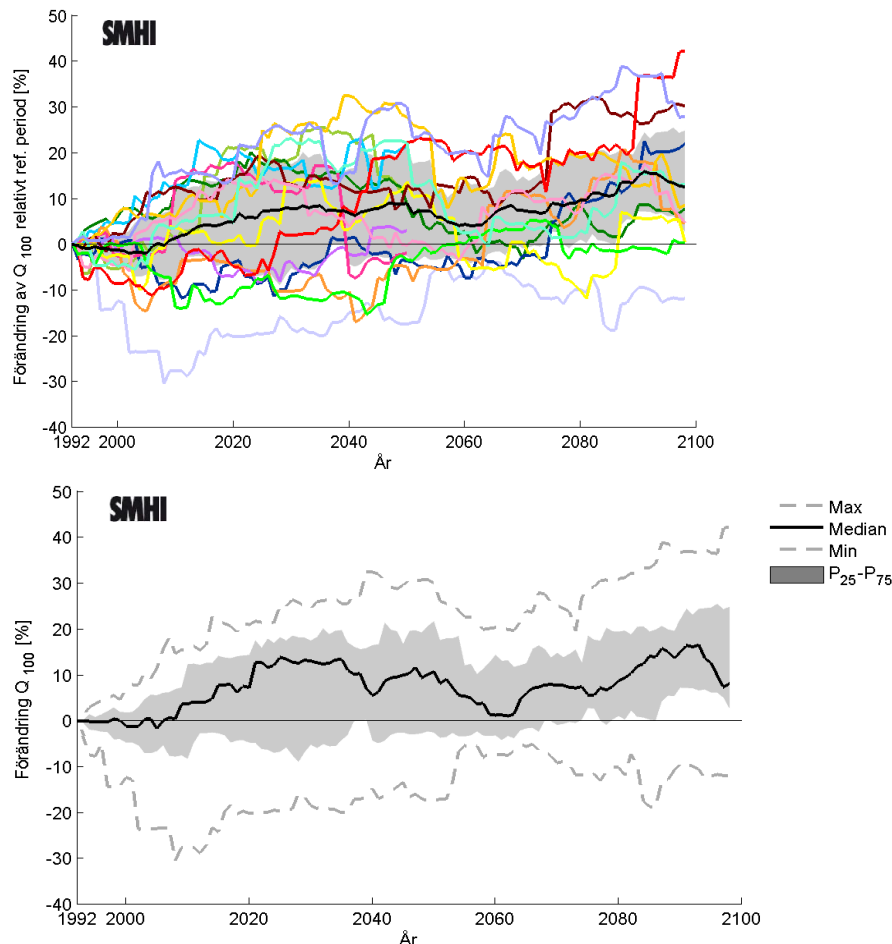


Figur 47. Exempel på flödesmönster för Vänerns utlopp beräknat för perioderna 1963-1990 och framtidsperioden 2071-2100.

Om vi jämför perioderna ses en tydlig förändring i flödesmönstret. Referensperioden uppvisar en tydlig vårfloedestopp kring april-maj, därefter en minskande vattenföring som ökar under hösten och sedan minskar under vintern igen. Perioden mot slutet av seklet visar enligt beräkningarna på högre vinterflöden och lägre sommarflöden. Enkelt uttryckt; fyra säsonger har blivit två.

[I webb-versionen finns en bildserie där förändringarna kan följas stegvis, årtionde för årtionde. Observera att det är enbart ett exempel.]

Hydrologiska effektstudier innehåller även information om medelvattenföring och höga flöden (ofta uttryckta som flöden med återkomsttid 100 år, s.k. 100-årsflöden). I exemplet nedan (figur 48) visas procentuell förändring av 100-årsflödet beräknat med 16 klimatscenarier. En ensemble med många klimatscenarier ger starkare statistiska mått på hur en framtida utveckling kan se ut. De ger en möjlighet att presentera klimatsceniernas spridning och att se eventuella trender.



Figur 48. Exempel på beräknad förändring av 100-årsflödet, uttryckt som procentuell avvikelse från referensperioden 1961-1990. Övre diagrammet visar alla 16 modellberäkningar och det nedre diagrammet visar en statistisk beskrivning av samma material.

I den övre figuren visas alla individuella klimatscenarier. Det kan vara svårt att tolka resultaten, därför används oftare figuren nedanför. Den innehåller samma information, men här har resultaten bearbetats statistiskt och presenteras som medianvärden (svarta linjen). Som ett mått på spridning i resultaten används 25:e och 75:e percentilerna (det grå fältet). Det betyder att de fyra lägsta och de fyra högsta scenarierna ligger utanför när sexton olika scenarier används. De streckade linjerna anger de högsta och lägsta värdena för varje år som något av de 16 klimatscenierna beräknat (jämför med den övre figuren).

6.6 Varför olika underlag?

Många önskar sig homogena material av klimatscenarier och effektstudier. Det finns svårigheter att uppnå detta av flera skäl, som beskrivs här.

Det material vi har att tillgå är inte homogent vad gäller vilka klimatscenarier, effektmodeller eller andra redskap som använts. Det är också olika rumsliga och

tidsmässiga skalor som representeras. Det finns även många frågeställningar om effekter av klimatets förändring som är bristfälligt eller inte alls studerade. Oftast beroende på att de komplexa förhållandena inte är beskrivna på ett sätt så att de är beräkningsbara. För att kunna använda utdata från klimatmodeller direkt som indata, måste de sektorer som ska studeras vara matematiskt formulerade.

Eftersom det är en lång kedja av beräkningar tills att effektstudier finns tillgängliga är inte allt arbete i fas. Även om resultat från de regionala klimatmodellerna har tagits fram dröjer det tills data från desamma har använts i effektstudier. Det är dessutom ett tidskrävande och kostsamt arbete.

En annan aspekt är att arbete med klimatmodellutveckling, klimatscenarioberäkningar, nedskalning av data, effektmodellering, bearbetning och lagring av data samt rapportering och tillgängliggörande av resultat, inte sker samordnat. Allt material som framtagits sker med olika uppdragsgivare och finansieringskällor. Samarbeten inom nationella och internationella forskningsprojekt, uppdrag från myndigheter eller andra aktörer leder fram till den flora av material som finns att tillgå.

Det gör att analyser framtagits på olika sätt, med olika klimatscenarier och med olika syften.

Modeller och metoder utvecklas ständigt. Det betyder inte att äldre analyser ska förkastas. Tvärsom, det är viktigt att se huruvida nya resultat går i samma riktning eller avviker. Och om de avviker, försöka hitta orsakerna till det.

De huvudsakliga resultaten av det första klimatscenario som Rossby Centre beskrev 1998 står sig fortfarande. Idag har vi dock betydligt mer kunskap och mer detaljer.

7 Klimatanpassa – att starta

Här presenteras en generell guide till hur en verksamhets anpassningsstrategi kan arbetas fram.

Vi utgår här ifrån ett perspektiv med fokus på användningen av kunskap om historiskt och framtida klimat. Det finns flera mer utvecklade guider och du finner några tips under ”Fler faktorer att tänka på”.

Det bör betonas att det absolut viktigaste vid klimatanpassning är att känna till hur verksamheten är anpassad till rådande klimat och dess naturliga variabilitet över år och decennier. Studier av hur verksamheten påverkats av olika väderhändelser på lång och kort sikt ger ett oumbärligt underlag till vilken information som är nödvändig för en eventuell anpassning till framtida klimat.

Guiden följer fyra huvudsteg enligt figuren nedan och syftet är att besvara följande grundfrågor:



1. **Målsättning:** Varför klimatanpassa verksamheten?
2. **Rådande klimat:** Hur påverkas verksamheten av rådande klimat?
3. **Framtida klimat:** Hur kan verksamheten påverkas av förändringar i klimatet?
4. **Anpassningsplan:** Hur kan verksamheten klimatanpassas för att bättre hantera rådande klimat och framtida förändringar?

I guiden använder vi begreppet ”verksamhet” som en generell term för objektet eller företeelsen som skall undersökas för klimatanpassning. Begreppet ”väder” används i betydelsen av enskilda väderhändelser inom ramen av ett givet klimat; det rådande eller ett framtida klimatscenario.

7.1 Steg 1– Varför klimatanpassa verksamheten?



De flesta verksamheter påverkas på något sätt av klimat och väder. Det kan vara genom värme eller kylbehov av lokaler, eller väderpåverkan på lokalerna på lång sikt (fuktbelastning, slitage på fasader etc.) eller på kort sikt (källaröversvämningar eller mekanisk påverkan av stormar). Det kan också vara genom mikroklimat på allmänna platser, såsom parker och torg, eller mer storskaliga förhållanden som påverkar jord- och skogsbruk.

Det kan även finnas olika anledningar till varför en verksamhet skall klimatanpassas. Till exempel kan det vara för planering av långsiktig infrastruktur, förebyggande åtgärder för extrema väderhändelser, långtidsplanering av projekt, eller expansion/nyetablering i nya områden med annat klimat.

I första stadiet av en klimatanpassningsstrategi är det därför viktigt att tänka igenom vilka aspekter av klimatet och verksamheten som skall behandlas. Det har att göra med hur känslig verksamheten är för olika väderhändelser eller klimatutvecklingar, samt vilken tolerans verksamheten har för olika typer av störningar eller vilka möjligheter som öppnar sig vid ett förändrat klimat. Till exempel planerar en anläggning i fjällen sin vinterverksamhet efter snötäcke, men har ofta också andra aktiviteter som kan utövas när det är snöbrist.

I det här stadiet är det även viktigt att tänka igenom vad målet med anpassningsstudien är. Det kan till exempel vara att ställa upp riktlinjer för beslutsprocesser vid expansion av verksamheten, långtidsplanering, eller anpassning av lokaler. En viktig aspekt är att veta vilken planeringshorisont som är av intresse? Kanske flera?

På kort sikt, ett eller ett par decennier framåt är de flesta eventuella klimatförändringssignaler svåra att särskilja från den naturliga variationen i klimatet. Därför bör fokus i anpassningsarbetet läggas på steg 2 som innebär en studie av hur verksamheten påverkas av rådande klimat. Klimatscenarier kan bidra med information om hur klimatet kan utvecklas, det vill säga om dagens situation väntas förbättras, försämrans eller skapar nya behov.

På längre sikt, fram till mitten av århundradet framträder många klimatförändringssignaler tydligare. I detta tidsperspektiv är det fortfarande en liten skillnad mellan de olika utsläppsscenarierna. Osäkerheten över utsläppsscenarierna spelar alltså mindre roll. Det går därför att använda en större ensemble av klimatscenarier där flera olika utsläppsscenarier ingår.

Är planeringshorisonten fram till slutet av århundradet förstärks generellt klimatförändringssignalerna. Samtidigt ökar inflytandet av utsläppsscenarierna och därmed spretar klimatscenarierna mer. Därför bör skillnader mellan olika utsläppsscenarier tas med i beräkningarna, det vill säga att olika utsläppsscenarier bör åtskiljas i analysen.

7.2 Steg 2 – Hur påverkas verksamheten av rådande klimat?



Saknas kunskap om hur verksamheten påverkas av nuvarande klimatet, så är det mycket svårt att få ut något konkret ur en studie av påverkan av klimatförändringar. Det viktigaste steget i en anpassningsstrategi för framtida klimat är att undersöka om verksamheten är anpassad till rådande klimat. Följande frågeställningar kan vara av intresse:

- Hur relaterar verksamheten till väder och klimat? Är t.ex. produktionen beroende av väder- eller vattenförhållanden? Är byggnader anpassade till rådande klimat avseende inomhuskomfort?
- Hur har verksamheten påverkats av tidigare väderhändelser, till exempel ovanligt varma eller kalla säsonger, eller olika extrema vädersituationer som exempelvis skyfall?
- Vad var konsekvenserna?
- Har problemen åtgärdats? Har det varit möjligt att utvärdera åtgärderna vid liknande situationer efteråt?
- Är det möjligt att identifiera kritiska tröskelvärden för när verksamheten störs? Har dessa tröskelvärden tidigare överskridits eller varit nära att överskridas?
- Påverkas verksamheten av andra mänskliga aktiviteter som kan tänkas ha en större påverkan än klimatförändringar? Till exempel reglering av älvar, markanvändning, hårdgjorda ytor.

Vissa verksamheter har redan en ingående kunskap i hur den påverkas av klimat och väder, medan andra helt saknar denna insikt. En anpassningsstudie kan även innebära planering för ny verksamhet eller geografisk förflyttning, vilket skapar behov av att undersöka och jämföra klimatet för olika platser och/eller vattenförhållanden. En ingående studie av verksamheten inom rådande klimat ger en god kunskap om vad som är intressant att undersöka för framtida klimatförändringar.

Under rådande klimat finns eventuellt även möjligheten att studera hur andra faktorer påverkar verksamheten. Ökad urbanisering kan påverka översvämningsrisker med fler hårdgjorda ytor och eventuellt ökad närhet till vattendrag. Med förtätning i städerna kan mikroklimatet förändras och innebära ökad känslighet för värmeböljor.

7.3 Steg 3 – Hur kan verksamheten påverkas av förändringar i klimatet?



Efter att ha gått igenom Steg 2, så är de väder-/klimatfenomen som påverkar verksamheten identifierade och i bästa fall finns det även kunskap om hur verksamheten (eller liknande verksamheter) kan hantera dessa. I Steg 3 studeras vad klimatscenarier säger om den framtida utvecklingen av dessa fenomen. Relevanta frågeställningar är:

- Är det möjligt att få information om relevanta fenomen från klimatscenarierna?
- Behövs ytterligare effektstudier för att ta fram den nödvändiga informationen?
- Hur stora är osäkerheterna för den aktuella planeringshorisonten?
- Hur förändras riskerna eller möjligheterna för verksamheten givet olika klimatscenarier?
- Behövs ytterligare kunskap eller information?

Att förutsättningarna för verksamheten ändras på en plats, kan betyda att nya möjligheter öppnar sig på en annan och det kan därför vara av intresse att ta ett steg tillbaka och titta på det större perspektivet. Till exempel kan skidanläggningar i ett internationellt

perspektiv bli mer konkurrenskraftiga gentemot nya kunder. Ökade vattenflöden kan, om de hanteras rätt, ge mer elkraft, vilket bör belysas i ett internationellt perspektiv.

7.4 Steg 4 – Hur kan verksamheten klimatanpassas?



I steg 2 och steg 3 har den nödvändiga informationen samlats in för att uppnå målen som satts upp i steg 1. Eventuellt har ny information eller kunskap fördjupat eller ifrågasatt målen. I ett sådant läge kan det vara nödvändigt att upprepa steg 1 till steg 3 igen, åtminstone för de delar av målen som förändrats.

I steg 4 analyseras all information för att sammanställa behoven av att klimatanpassa verksamheten och de för- och nackdelar förändringar i klimatet kan innebära.

- Är verksamheten rustad att hantera rådande klimat?
- Förväntas problem under rådande klimat att förvärras eller mildras?
- Uppstår nya möjligheter eller risker för verksamheten i ett förändrat klimat?

Nu kan olika möjligheter för klimatanpassningen av verksamheten utforskas med noggrann utvärdering av risker med olika vägval och under olika klimatscenarier. Olika vägval kan även leda till nya frågeställningar under steg 1 och ytterligare genomgångar av de olika stegen kan vara nödvändigt.

7.5 Fler faktorer att tänka på

De fyra steg för hur en verksamhets anpassningsstrategi kan arbetas fram är beskriven mycket generellt och med fokus på användningen av kunskap om historiskt och framtida klimat. Förutom de klimatanalysen som gjorts för de flesta länen⁴⁶ finns mycket information och data om klimat på smhi.se. Ett annat tips är applikationen ”Hur var vädret?”⁴⁷

Det finns andra metodbeskrivningar som även behandlar hur arbetet förankras i organisationen. På klimatanpassningsportalen finns flera metoder beskrivna.⁴⁸

Som stöd för arbetet med att ta fram en anpassningsplan kan även nämnas de verktyg som forskningsprogrammet Climatools tog fram för att identifiera och värdera klimatkonsekvenser samt konsekvenser av anpassningsåtgärder.⁴⁹

Fler verktyg nås på Klimatanpassningsportalen.⁵⁰

7.6 Länkar till klimatanpassning

Här listas exempel på rapporter och webbsidor till stöd för klimatanpassning.

EU adaptation to climate change (webb)

http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/index_en.htm

I april 2013 antog Europeiska kommissionen en EU-strategi för klimatanpassning.

⁴⁶ <http://www.klimatanpassning.se/2.481/vem-har-ansvaret/lansvisa-klimat-och-sarbarhetsanalyser-1.25071>

⁴⁷ <http://www.hurvarvadret.se/>

⁴⁸ <http://www.klimatanpassning.se/atgarder>

⁴⁹ <http://www.foi.se/sv/Kunder--Partners/Projekt/Climatools/Climatools/Verktyg1/>

⁵⁰ www.klimatanpassning.se

EU:s strategi för klimatanpassning (Sveriges riksdag, 2013)

http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/EU/Fakta-PM-om-EU-forslag/EUs-strategi-for-klimatanpass_H006FPM102/

EU:s strategi för klimatanpassning på svenska.

EU climate adaptation

www.climateadaptation.eu

Websidan syftar till att hjälpa dem som letar efter en sammanfattning över konsekvenser av klimatförändringar i sitt land eller intresseområde.

<http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

På EU:s climate adapt sida finns t.ex. en flik Tools. En är Adaptation Support Tool framtagen av Climate-ADAPT för att hjälpa användare som är involverade i att utveckla riktlinjer för klimatanpassning.

Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making (UKCIP, 2003)

<http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/UKCIP-Risk-framework.pdf>

En omfattande teknisk rapport (166s) från UK climate impact programme. Något ålderstigen men ger fortfarande många bra tips för beslutsfattande.

Vad är rättvis klimatanpassning? (climatools, 2012)

<http://www.foi.se/Global/Kunder%20och%20Partners/Projekt/Climatools/Rapporter%20och%20artiklar/Rattvis%20klimatanpassning.pdf>

En filosofisk introduktion till kommunala beslutsfattare om klimatfrågor och rättvisa på det lokala planet.

Klimatanpassning i Sverige – en översikt (Nationell plattform, 2010)

https://www.msb.se/Upload/Forebyggande/Naturolyckor_klimat/nationell_plattform/Rapport_Nat_sam_klimatanpass_atgarder_webb.pdf

Den Nationella plattformen för arbete med naturolyckor har sammanställt aktiviteter och resultat från myndigheternas uppdrag avseende klimatanpassning.

Klimatanpassning (Klimatkommunerna) (webbsidor)

<http://www.klimatkommunerna.se/sv/Tips-och-material/Klimatanpassning/>

<http://www.klimatkommunerna.se/sv/Tips-och-material/Klimatanpassning/Mer-om-klimatanpassning/>

Klimatkommunernas syn på klimatanpassning med exempel från enskilda kommuner.

Verktyslåda för klimatanpassningsprocesser: Från sårbarhetsbedömning till sårbarhetshantering (CSPR-rapport, 2011)

<http://www.cspr.se/verktysladan?l=sv>

Centrum för klimatpolitisk forskning (CSPR) har gjort en verktyslåda som hjälp vid klimatanpassning, framförallt till den som vill klimatanpassa sin kommun eller organisation.

Klimatanpassning i fysisk planering (Länsstyrelserna, 2012)

<http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/klimat-och-energi/Klimatanpassning/klimatanpassning-i%20fysisk-planering-vagledning-fran-lansstyrelserna.pdf>

En omfattande (161 s) vägledning från länsstyrelserna framtagna för att ge tips och råd främst till kommunernas planerare och berörda tjänstemän.

Klimatanpassningsguide – en introduktion till klimatanpassning i V:a Götalands län (Lst, 2012)

<http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2012/201203.pdf>

En skrift (20s) som syftar till att sprida kunskap om klimatanpassning samt inspirera och vägleda för att påbörja arbetet.

Stigande vatten (V:a Götalands och Värmlands län, 2011)

<http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2011/2011-72.pdf>

En handbok (76 s) för fysisk planering i översvämningshotade områden.

Strategier och styrande dokument för klimatanpassning och katastrofriskreducering (MSB, 2012)

<https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26229.pdf>

Rapporten (37s) sammanfattar en inventering av som sammanställts inom ramen för Sveriges nationella plattform för arbete med naturolyckor.

Klimatanpassning i planering och byggande (Boverket, 2010)

<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2011/klimatanpassning-i-planering-och-byggande-webb.pdf>

Rapport av ett regeringsuppdrag om av hur tillämpningen av systemet för planering och byggande i kommunerna kan främja klimatanpassningen. Rapporten har texter med karaktär av allmänna råd.

Mångfunktionella ytor (Boverket, 2010)

<http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2010/mangfunktionella-ytor/>

Rapporten (90 s) behandlar klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur.

Grönytor för en klimatanpassad stad (BTH-kandidatarbete, 2013)

[http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/bb96887fee94a748c1257c360023716c/\\$file/bth2013ashman.pdf](http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/bb96887fee94a748c1257c360023716c/$file/bth2013ashman.pdf)

Fallstudier från Göteborg och Malmö.

Klimatanpassning av vägkonstruktion, drift och underhåll (VTI, 2012)

<http://www.vti.se/en/publications/pdf/climate-change-adaptation-of-road-construction-operation-and-maintenance.pdf>

Rapporten (77s) är en redovisning av en temastudie och beskriver bland annat faktorer viktiga att analysera för vägkonstruktioner i förändrat klimat.

Klimatanpassad skogsskötsel (LU, 2013)

http://www4.lu.se/upload/cec/BECC/Klimatanpassad_skogsskotsel_02_2013_final.pdf

En enkel folder om skogsskötsel.

Lathund för klimatanpassade skogsvägar

<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/vagar/Skogsbilvagar-och-andra-enskilda-vagar/Behover-vi-fler-och-bättre-vagar/Vagen-och-klimatet/Lathund-for-klimatanpassad-projektering/?si=DAA74A4BDB6635F1B6CC53C58C599284&rid=1983690368&sn=SFSearchIndex>

En kortfattat punktlista vid projektering.

8 Ordlista

Eftersom klimatscenarier omfattar flera vetenskaper och vänder sig till en mångfald sektorer förekommer många begrepp i beskrivningar av metod, resultat och tolkningar. Här är sammanställt en del av dessa till stöd för läsaren.

Några begrepp är allmänt använda och kan därför ha lite olika betydelse i skilda sammanhang. Vi har i beskrivningarna i denna vägledning försökt vara konsekventa i användandet av olika termer så att inte samma term används i olika betydelse.

Det gäller dock inte alla sammanhang. Ett exempel är ordet klimatscenarier, som kan användas i en vidare bemärkelse i annan litteratur och beroende på sammanhang. Vi har här valt att tala om effektstudier då klimatdata används som indata till beräkningar av exempelvis vattenflöden eller skogstillväxt.

Avrinning	Vattenflödet från ett område i naturen som orsakas av regn eller snösmältning.
Beräkningsmodeller	I detta sammanhang avses matematiskt formulerade beskrivningar av naturen och de fysikaliska processer som sker. Modellerna används för att beräkna exempelvis klimat eller vattenflöden.
CMIP5 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 5	CMIP5 ⁵¹ är ett globalt samarbete kring globala klimatberäkningar. CMIP5 är etablerat av World Climate Research Programme.
CORDEX - Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment	CORDEX ⁵² är ett modelleringsprojekt under World Climate Research Programme. De regionala klimatsimuleringarna baseras på de nya RCP:erna (Representative Concentration Pathways) och data från CMIP5, som också ligger till grund för IPCC:s femte klimatrapport ⁵³ . SMHI är en av huvudaktörerna inom CORDEX. Beräkningar har gjorts över en stor del av världens landområden. ⁵⁴
DBS-metoden	”Distribution Based Scaling” är ett verktyg för att korrigera klimatmodellernas utdata så att de kan användas som indata till hydrologisk modellering. Läs mer i kapitel 3 <i>Vad är klimatscenarier?</i>
Effektstudier	Effektstudier avser analyser där klimatscenarier används för att studera effekter av klimatförändringen på olika sektorer. Läs

⁵¹ <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5>

⁵² <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>

⁵³ <http://www.climatechange2013.org/>

⁵⁴ <http://www.smhi.se/forskning/forskningsnyheter/over-100-klimatsimuleringar-visar-framtida-klimat-1.32871>

	mer i kapitel 6 <i>Effektstudier till stöd</i>
El Niño	El Niño är den varma fasen av El Niño Southern Oscillation (ENSO). ENSO beskriver variationen på temperaturen i östra Stilla havet. Temperaturen pendlar naturligt mellan varma och kalla faser vilket får betydelse för det globala klimatet.
Emissioner	Utsläpp. I klimatsammanhang är det främst växthusgaser (koldioxid, metan, lustgas, halogenerade kolväten m.fl.) och svaveldioxid (som bildar små partiklar i luften) samt sot som är av intresse.
Ensemble	En ensemble avser en samling klimatscenarier (beräkningar av det framtida klimatet), där de enskilda scenarierna skiljer sig åt. Klimatscenarierna kan till exempel skilja sig åt med avseende på val av klimatmodell eller utsläpps- eller strålningsdrivningsscenario. Ett klimatscenario som ingår i en ensemble kallas för en medlem.
Global klimatmodell (GCM)	På engelska "Global Circulation Model" eller "Global Climate Model". En global klimatmodell beskriver hela jordklotet och de processer som sker i atmosfären, havet, havsisen och marken. Läs mer i kapitel 3 <i>Vad är klimatscenarier?</i>
Graddagar	Ett mått som används inom energisektorn för att bestämma uppvärmnings- respektive avkylningsbehoven. För beräkningarna används tröskelvärden av temperatur. Läs mer i kapitel 4 <i>Vilka klimatscenarier finns?</i>
Gridbox	I en klimatmodell delas atmosfären upp i tredimensionella lådor, så kallade gridboxar. I varje gridbox räknas alla klimatologiska variabler ut som beskriver klimatet i den boxen.
Klimatextremer	Klimatextremer kan definieras utifrån att de förekommer sällan (klimatologiskt är extrema) eller utifrån att de påverkar samhälle och miljö på ett kännbart sätt. I det senare fallet definieras klimatextremer utifrån de gränser som samhälle och miljö klarar utan att en allvarlig påfrestning uppstår.
Klimatindex	Bearbetade utdata från klimatmodeller. De kan beskriva medelvärden, säsongsvariationer men också mer extrema förhållanden. Läs mer i kapitel 4 <i>Vilka klimatscenarier finns?</i>
Klimatindikator	Olika mått som används för att följa klimatets utveckling. Läs mer i kapitel 4 <i>Vilka klimatscenarier finns?</i>
Klimatscenario	En beskrivning av en tänkbar klimatutveckling i framtiden. Läs mer i kapitel 3 <i>Vad är klimatscenarier?</i>
Klimatsignal	Ett allmänt begrepp som avser vad som kan utläsas i klimatscenarier i termer av ökad, minskad eller ingen förändring.
Kontrollperiod	Här används begreppet synonymt med Referensperiod (se nedan), den tidsperiod som används för att jämföra med framtida perioder. Vanligen är kontrollperioden 1961-1990 men den kan variera.
Kvalitativ	Avser i vilken riktning, hur något ändras. Begreppet har andra betydelser i andra sammanhang.
Kvantitativ	Avser hur mycket, hur stor en förändring är.
Markfuktighet	I marken finns vatten och mängden varierar. Markfuktighet är ett mått på markens vatteninnehåll.

NAO	NAO (North Atlantic Oscillation) är en naturlig variation i lufttrycket i atmosfären över Nordatlanten. Det påverkar lågtryckens banor och har betydelse för klimatet i Europa.
Nedskalning	Nedskalning kallas det när data från en modell bearbetas för att få högre upplösning (ökad detaljeringsgrad). Nedskalning kan göras med modeller och statistiska metoder.
Osäkerhet	Det finns olika källor till osäkerheter i frågan om framtidens klimat. Läs mer i kapitel 5 <i>Hur kan klimatscenarier användas?</i>
Percentil	En percentil är det värde för en variabel som en viss procent av observationerna av variabeln hamnar lägre än. Exempelvis är 25:e percentilen det värde som delar observationsvärdena så att 25 procent av dem är mindre än värdet och 75 procent är större.
RCA	Rosby Centre regional climate model (RCA) är en regional klimatmodell som utvecklas och används av SMHI:s klimatforskningsgrupp.
RCP-Representative Concentration Pathways	RCP-er är möjliga utvecklingsvägar för strålningsdrivningen med det gemensamma namnet "representativa koncentrationsutvecklingsbanor" från engelskans "Representative Concentration Pathways" (RCP). RCP-erna är namngivna efter den nivå av strålningsdrivning som uppnås år 2100. ⁵⁵
Referensperiod	SMHI använder referensperioden 1961-1990 för att definiera dagens klimat. Nya observationer jämförs med medelvärdet för 1961-1990 för att säga hur de avviker från det normala. Om t.ex. sommaren är varmare än normalt så betyder det att den är varmare än medelvärdet för somrarna 1961-1990. Meteorologiska världsorganisationen, WMO, definierar referensperioderna, nästa period blir 1991-2020. Klimatscenarier presenteras ofta som förändringar jämfört med dagens klimat. Ofta används referensperioden 1961-1990 precis som för observationer. Eftersom klimatet förändras så är perioden 1961-1990 inte helt representativ för det vi upplever som dagens klimat. Därför har senare referensperioder börjat användas, t.ex. 1971-2000.
Regional klimatmodell (RCM)	Beskriver en del av jordklotet, en region. Läs mer i kapitel 3 <i>Vad är klimatscenarier?</i>
Respons	Avser hur klimatet svarar på förändringar i atmosfärens sammansättning. Med hydrologisk respons avses hur vattenförhållanden förändras till följd av förändrat klimat.
Robust	Med robust i detta sammanhang avses att resultat är samstämmiga i många beräkningar och/eller står sig över tiden.
Spridningsmått	Används för att beskriva graden av osäkerhet i resultat, med olika statistiska mått. Här används vanligen percentiler.
Strålningsdrivning	Strålningsdrivningen är skillnaden mellan hur mycket energi solstrålningen som träffar jorden innehåller och hur mycket energi som jorden strålar ut i rymden igen. Denna energi mäts i

⁵⁵ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914>

	enheten watt per kvadratmeter, W/m². Den totala strålningsdrivningen bestäms av både positiv och negativ drivning. Positiv strålningsdrivning innebär att jordytan värms, medan negativ strålningsdrivning innebär att den kyls ner. Den dominerande faktorn idag är den positiva strålningsdrivningen från mer koldioxid och andra långlivade växthusgaser. När strålningsdrivningen ökar, stiger den globala temperaturen.
Torka	Ett begrepp med många definitioner beroende på tillämpning. Läs mer i kapitel 4 <i>Vilka klimatscenarier finns?</i>
Trend	Här används begreppet som "en förändring över tid".
Upplösning	Upplösningen är storleken på gridboxarna i klimatmodellen. Låg upplösning (stora gridboxar) ger mindre detaljerad information, men kostar mindre datorkraft. Hög upplösning (små gridboxar) ger mer detaljerad information, men kostar mer datorkraft.
Utsläppsscenarioer	Antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Läs mer i kapitel 3 <i>Vad är klimatscenarier?</i>
Variabilitet	Variabilitet är en viktig faktor inom klimatologin. Klimatet är inte bara genomsnittliga värden utan klimat kännetecknas av variationer i tid och rum som kan hänga ihop med till exempel växelverkan mellan atmosfären och havet. Två tidsperioder kan ha samma medelvärde men den ena kan ha stora skillnader mellan höga och låga värden medan den andra endast varierar lite runt medelvärdet.
Värmebölja	Värmebölja används vanligen som ett begrepp för en längre period med höga dagstemperaturer. Vad som kan betraktas som höga dagstemperaturer varierar stort mellan olika länder och klimat. Det finns heller ingen allmänt vedertagen internationell definition av värmebölja. Även i Sverige förekommer flera olika definitioner och begrepp. Klimatscenarierna baseras ofta på dygnsmedeltemperatur och därför har gränsen >20° i dygnsmedeltemperatur använts i stället för att relatera till maximitemperatur. ⁵⁶
Växthusgaser	Atmosfären som omger jorden har förmågan att fördela energin från solen så att jordytan blir varmare än vad den skulle varit om atmosfären inte fanns. Den s.k. naturliga växthuseffekten bygger på naturlig förekomst av en viss mängd vattenånga och koldioxid i atmosfären. Vattenånga och koldioxid är de viktigaste växthusgaserna. Atmosfärens sammansättning har sedan den förindustriella tiden successivt förändrats på grund av mänsklig aktivitet. De vanligaste antropogent (av människans aktiviteter) påverkade växthusgaserna är koldioxid, metan, dikväveoxid (lustgas) och ozon, men även en rad industrigaserna spelar roll. ⁵⁷
Årstider	Årstiderna representeras här av tremånadersperioderna: vinter (december, januari, februari),

⁵⁶ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/varmebolja-1.22372>

⁵⁷ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844>

	vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november).
Återkoppling	Med återkoppling menas en mekanism som gör att temperaturökning kan förstärka olika processer som gör att temperaturen ökar ytterligare, eller begränsas. Exempelvis när snö-och isytor minskar ökar absorberas mer energi och temperaturen höjs.

SMHI:s publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|--|
| <p>1 Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation</p> <p>2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete</p> <p>3 Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem</p> <p>4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter</p> | <p>5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012</p> <p>6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige</p> <p>7 FNs Klimatpanel – Sammanfattning för Beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet (2014)
Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC</p> <p>8 Att begränsa klimatförändringar (2014) (Ej publicerad)</p> <p>9. Erik Kjellström (SMHI), Reino Abrahamsson, Pelle Boberg, Eva Jernbäcker (Naturvårdsverket), Marie Karlberg, Julien Morel (Energimyndigheten), Åsa Sjöström (SMHI) (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget</p> <p>10. SMHI (2014)
Risker, konsekvenser och sårbarhet för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt</p> |
|--|--|



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 1654-2258