

Den svenska klimatscenariotjänsten för hydrologi

The Swedish climate scenario service for hydrology



Joel Dahné, SMHI, joel.dahne@smhi.se, Olivia Larsson, SMHI, olivia.larsson@smhi.se

Sammanfattning

Att anpassa sig till klimatförändringen och dess konsekvenser är en stor utmaning för samhällen världen över. Detta gäller både anpassningen till nya normalförhållanden, men också till förändrade extremväder. Samhällsaktörer som är involverade i planering och genomförande av anpassningsåtgärder behöver scenariobaserad information som beskriver pågående och framtida klimatförändring, inklusive osäkerheter, så att beslut som tas är grundande på den bästa tillgängliga vetenskapen.

Den svenska klimatscenariotjänsten, utvecklad av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI), innehåller information om klimatförändringen i form av klimatindikatorer. En klimatindikator är ett statistiskt mått för att följa och analysera klimatförändringar över tid. Ett exempel på en indikator är förändring i medelvattenföring.

Tjänsten innehåller för närvarande information för tre olika framtida perioder i kombination med tre olika utsläppsscenarioer uppdelat i sektioner för meteorologi, hydrologi och oceanografi. Denna artikel fokuserar på den hydrologiska delen av tjänsten.

Klimatförändringen beskrivs som förändringar i temperatur och nederbörd, vilket sedan matas in i en hydrologisk modell som beräknar förändringar för ett antal hydrologiska variabler såsom vattenflöde, markvatten och snö. Tillsammans med de beräknade förändringarna redovisas även osäkerheter kopplade till beräkningarna. En större uppdatering av tjänsten genomfördes i mars 2025 där användaren nu kan undersöka klimatförändringens påverkan på vattenföring i vattendrag under två olika antaganden om framtida strategier för vattenkraftsreglering.



Utforska tjänsten här.

Abstract

Adapting to climate change and its impacts is a big challenge for societies worldwide. This applies both to the adaptation to new and future normal conditions, but also to changing extremes. Societal actors involved in the planning and implementation of adaptation measures require scenario-based data describing ongoing and future climate change, including related uncertainties, so that their decisions are based on the best available science.

The Swedish Climate Change Scenario Tool, developed by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), provides information on projected climate change in the form of climate change indicators. The Scenario Tool currently contains projections for three different future periods in combination with three

different emission scenarios for meteorology, hydrology and oceanography. This article focuses on the hydrology part of the service.

Climate change is described as a change in temperature and precipitation, which is then fed into a hydrological model that calculates changes for a number of hydrological variables such as water flow, soil moisture and snow. Along with estimated changes, uncertainties related to the calculations are estimated. An update of the service was made in March 2025. With this update, the user can address the future impact of climate change on river discharge under two different assumptions on flow regulation from hydropower.

Keywords: hydrology, climate impact, scenario tool, climate indicator, emission scenario

Introduktion

Vi befinner oss i en mycket snabb klimatförändring. Det ger effekter på det hydrologiska kretsloppet så som förändringar i nederbördsmönster, ökad avdunstning och generellt minskat snötäck. Klimatförändringen gör att de flesta typerna av extremväder blir fler och kraftigare. I Sverige leder det till ökad risk för torka och förändrad risk för översvämning.

För att möta klimatförändringen och mildra dess negativa effekter krävs en genomgripande samhällsomställning, där olika sektorer anpassas i den mån det är möjligt. En effektiv klimatanpassning bör bygga på välgrundade beslut och den bästa tillgängliga vetenskapen. Ett viktigt verktyg för att möjliggöra detta är scenariobaserade tjänster som beskriver både pågående och framtida klimatförändring, och därmed ger samhällsaktörer ett underlag för att fatta välgrundade beslut om hur samhället kan anpassas. Det är mot denna bakgrund som Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), under 2021 lanserade den nuvarande versionen av klimatscenariotjänsten, vars hydrologiska del uppdaterades under våren 2025.

SMHI:s klimatscenariotjänst visar förväntade effekter av klimatförändringen på meteorologiska, hydrologiska och oceanografiska variabler i Sverige. Denna artikel fokuserar på den hydrologiska delen av tjänsten. I tjänsten presenteras förändringar i variabler i form av olika klimatindikatorer, som är statistiska mått beräknade från variablerna och som används för att följa och analysera klimatförändringar över tid. Exempel på hydrologiska variabler är vattenföring och markfuktighet, exempel på indikatorer är medelvattenföring och antal dagar med låg markfuktighet.

Tjänsten visar hur indikatorerna förväntas förändras under ett valt utsläppsscenario jämfört med en referensperiod. För närvarande innehåller tjänsten projektioner för tre olika framtida tidsperioder i kombination med tre olika scenarier för utsläpp (RCP:er – Representative Concentration Pathways).

Tidigare har de hydrologiska beräkningarna i tjänsten utgått ifrån nuvarande regleringar av vattenkraftsmagasin. Nytt i den uppdaterade versionen är att det även är möjligt att analysera resultaten i ett scenario där vattendragen är oreglerade. Detta tydliggör klimatförändringens effekter och underlättar därmed analysen av dess faktiska påverkan på hydrologin.

Förhoppningen med denna artikel är att nå ut med information om den uppdaterade klimatscenariotjänsten samt att samla in åsikter från användare kring tjänsten. Detta görs genom en web-baserad enkät som länkas till i slutet av artikeln.

Innehåll i Klimatscenariotjänsten-Hydrologi

Vilken typ av information kan då hittas i tjänsten? Jo, de flesta hydrologiska klimatindikatorerna visar förändring i medelvärde över 30 års-perioder, men vissa indikatorer visar även på förändring i olika typer av extremvärden. För flera av indikatorerna finns möjlighet att analysera förändringen månadsvis. En lista över vilka indikatorer som finns beräknade för de hydrologiska variablerna framgår av tabell 1. Nederbörd och lufttemperatur finns även i meteorologidelen av tjänsten, men här visas den som ett medelvärde över olika avrinningsområden.

Indikatorerna är beräknade för 263 geografiska områden i Sverige, baserade på landets huvudavrinningsområden. Större huvudavrinningsområden har

Tabell 1. Klimatindikatorer som går att nå via hydrologidelen av SMHI:s klimatscenariotjänst. Inom parentes anges för vilket tidsintervall som indikatorn finns tillgänglig.

Vattenföring	Nederbörd	Effektiv nederbörd*	Markfuktighet	Mark avrinning	Luft temperatur	Snövätern innehåll
Medel (år, månad)	Medel (år, månad)	Medel (månad)	Medel (år, månad)	Medel (år, månad)	Medel (år, månad)	Max (år)
MLQ Vattenföring**	Effektiv medelnederbörd (månad)		Antal dygn med låg markfuktighet**			
Antal dygn med låg vattenföring**						
Högflöden med 2, 5, 10 och 50 års återkomsttid**						

* Effektiv nederbörd är beräknad som nederbörd minus avdunstning
 ** Baserat på dygnsmedelvärde

delats in i mindre delar, medan mindre huvudavrinningsområden utgör egna områden. När det gäller indikatorer baserade på variabeln vattenföring visar värdet flödet i vattendragets mynningspunkt i avrinningsområdet, vilket exemplifieras i figur 1 som visar flödet vid Dalälvens mynningspunkt i havet. Indikatorer baserade på de andra variablerna visas som ett ytmedelvärde för hela det valda området.



Figur 1 Exempelbild från klimatscenariotjänsten där delavrinningsområdet nedre delen av "Dalälven" är valt. Markören i bilden visar mynningspunkten för det valda området.

Guidning bland scenarier

Att beräkna hur den svenska hydrologin kan komma att förändras i framtiden är komplicerat. Vi vet varken hur efterfrågan på energi eller framtida miljökrav kommer att påverka hur våra vattendrag regleras för vattenkraft. Inte heller vet vi hur stor klimatpåverkan blir, eftersom det beror på hur mycket växthusgaser

som släpps ut globalt. Därför använder vi oss av scenarier, och visar tre olika utsläppsscenarier och två regleringsscenarier. Klimatscenariotjänsten har alltså många val. Vad ska man då välja att använda?

Utsläppsscenarier

Det finns förstås inget enkelt svar på frågan om hur stora de framtida utsläppen kommer att bli. När det gäller utsläppsscenarierna använder tjänsten RCP-scenarier som utvecklats och användes av FN:s klimatpanel IPCC i sin femte utvärderingsrapport (AR5). Utsläppsscenarierna är bland annat baserade på antaganden om framtida utveckling av världsekonomin, befolkningstillväxt och omställningen till miljövänlig teknik. Allt detta påverkar hur stora utsläppen av växthusgaser blir, vilket i sin tur påverkar växthuseffekten. Ett mått på hur växthuseffekten förändras i framtiden är strålningsdrivning, som mäts i effekt per kvadratmeter (W/m^2). Ju mer utsläpp av växthusgaser desto mer strålningsdrivning (Moss et al. 2010; van Vuuren et al. 2011). De tre utsläppsscenarierna som används i klimatscenariotjänsten är:

- RCP2,6: Kraftfull klimatpolitik gör att växthusgasutsläppen kulminerar omkring år 2020. Av de tre scenarierna ligger detta närmast ambitionerna i Parisavtalet. Strålningsdrivningen når $2,6 W/m^2$ år 2100. Den globala temperaturökningen jämfört med förindustriell tid uppgår i slutet av seklet till omkring $1,6 ^\circ C (\pm 0,4)$.
- RCP4,5: Strategier för reducerade växthusgasutsläpp medför att koldioxidutsläppen kulminerar

omkring 2040, detta gör att strålningsdrivningen når $4,5 \text{ W/m}^2$ före år 2100. Den globala temperaturökningen jämfört med förindustriell tid uppgår i slutet av seklet till omkring $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0,5$).

- RCP8,5: Växthusgasutsläpp fortsätter att öka och medför att strålningsdrivningen når $8,5 \text{ W/m}^2$ år 2100. Den globala temperaturökningen jämfört med förindustriell tid uppgår i slutet av seklet till omkring $4,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0,7$).

Om världens nuvarande klimatpolitik och utsläppsminskande åtgärder genomförs fullt ut, beräknas den globala uppvärmningen nå omkring $2,7$ grader Celsius över förindustriell nivå vid slutet av seklet. Det innebär en temperaturökning som är något högre än det mellersta utsläppsscenarioet (RCP4,5).

Då ett högre utsläppsscenario inte alltid behöver ge störst förändring för alla tidsperioder och för alla indikatorer, kan det vara bra att titta på resultat från flera utsläppsscenarioer och jämföra dem.

Regleringsscenarier

Klimatförändringar är inte den enda faktor som ger en långsiktig påverkan på vattenflödet. I många svenska vattendrag är en betydligt större påverkansfaktor hur vattendraget regleras, framförallt för vattenkraft, vilket kan göra det svårt att förstå klimatförändringens direkta effekt på hydrologin. Exempelvis påverkar klimatförändringen främst extremer och säsongsvariationer i vattenföringen, förändringar som ofta jämnas ut i reglerade vattendrag, där vattenflödet i hög grad styrs av elmarknadens efterfrågan snarare än av naturliga variationer.

För att undersöka hur ett förändrat klimat och reglering tillsammans påverkar flödet i ett vattendrag ges en möjlighet att välja mellan två olika scenarier för reglering, "Nuvarande regleringar" och "Oreglerat". Skillnaden mellan regleringsscenarierna blir som störst i älvar med kraftig reglering, som de stora vattenkraftälvarna i norra Sverige.

Det är svårt att säga något om rimligheten i antaganden om de två regleringsscenarierna. Den framtida regleringen av våra älvar beror på en rad faktorer. Utvecklingen av el- och energisystem, både i Sverige och på kontinenten, tillsammans med kommande miljöanpassningskrav, kan ha en stor påverkan på fördelningen av flödet. Antagande om ingen påverkan

från vattenkraften i de stora vattenkraftälvarna är ett orimligt antagande, samtidigt som regleringen vid mindre kraftverk kanske mer kommer följa en naturlig flödesvariation av miljöskäl. Möjliga scenarier för framtida reglering av våra vattendrag är ett utforskat område där det behövs mer kunskap och det finns idag inte tillräckligt med data för att inkludera mer realistiska scenarier i beräkningarna.

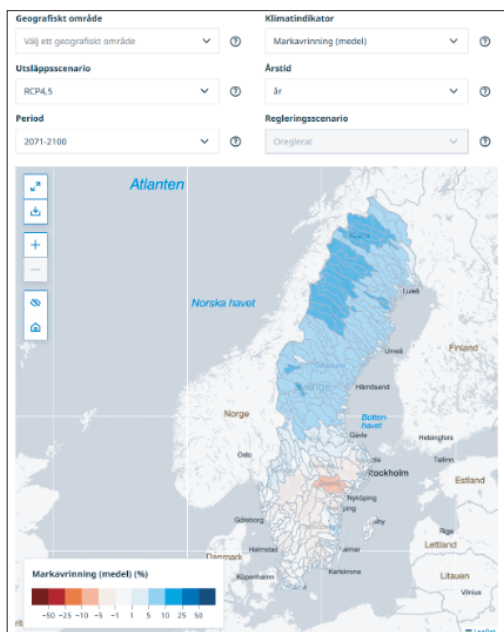
Som användare av tjänsten kan det förstås vara svårt att veta vilket av regleringsscenarierna man ska använda. Om syftet är att visa klimatförändringens direkta effekt på vattenflöden ska scenariot Oreglerat användas. Gör man ett antagande om att framtida regleringar troligen ser ut ungefär som idag kan man titta på scenariot Nuvarande regleringar. reglerscenariot Oreglerat kan också vara användbart då man själv vill räkna på olika regleralternativ för ett vattendrag.

Exempel på användningsområden

Klimatscenariotjänstens syfte kan ses som tvådelat. Det ena syftet är att kunna ge en överblick över klimatförändringen på nationell skala. Det andra syftet är att kunna bidra med mer detaljerad information för större avrinningsområden, till exempel som underlag vid olika typer av åtgärder. För att kunna uppfylla båda syften finns det olika sätt att arbeta med klimatscenariotjänsten.

En överblicksbild av hur klimatförändringen kan påverka olika aspekter av svensk hydrologi är viktigt i flera sammanhang. Det kan till exempel handla om underlag för att analysera risk för torka i jordbrukssektorn eller för regionala vattenförsörjningsplaner. Överblicken är också bra för studier med mer lokalt perspektiv för att förstå förändringarna i ett större sammanhang innan man zoomar in på sitt område.

För att få en överblick över klimatförändringens effekt på de olika indikatorerna finns en interaktiv karta där användare kan göra ett antal val (figur 2). Kartan visar beräknade förändringar mellan en vald framtida period och referensperioden (1971–2000). Värdena som visas är ett medelvärde från sjutton olika modellberäkningar (projektioner), se mer under "En titt bakom beräkningarna". Det finns en möjlighet för nedladdning av det som visas i kartan i shapefile-format. Shapefilen kan användas tillsammans med ett

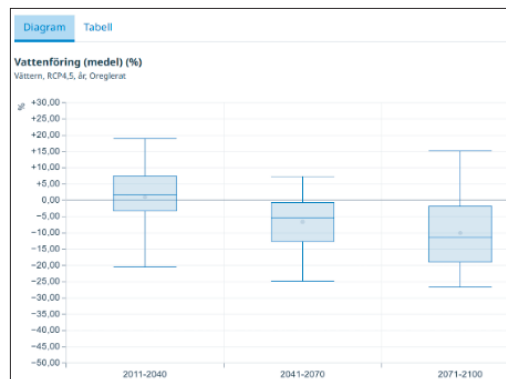


Figur 2 Exempel på överblick över förändringar i markavvinning som medelvärde för perioden 2071–2100 jämfört med perioden 1971–2000 enligt RCP4,5.

GIS-program för att djupare analysera materialet eller för att skapa en egen kartlayout.

Mer detaljerad information ges då användaren klickar på ett område i kartan eller väljer från menyn ”Geografiskt område”. Då fås mer detaljerad information kring det valda området och användaren kan se spridningen i resultatet mellan de sjuttion ingående klimatprojektionerna. Resultatet för enskilda områden presenteras som ett box-whisker-diagram (exempel i figur 3) eller som en tabell – datainnehållet är detsamma i båda fallen.

Den mer detaljerade informationen kring spridningen kan till exempel användas vid olika typer av dimensionering eller för att göra riskanalyser. Vid sådant användande av informationen är det ofta viktigt att sätta den i relation till hur det har varit, och hur det är idag, eftersom bara information om förändringen inte säger så mycket om den totala risk som en förändring kan innebära. Konkret, för exemplet vid dimensionering, betyder det att man först behöver analysera vilka risker ett system är dimensionerat för och om det stämmer med historisk statistik. Först därefter är det meningsfullt att blicka framåt för att se



Figur 3. Box-whisker-diagram för ett valt område i klimatscenario-tjänsten. Staplarna visar spridningen i förändringar från en referensperiod för sjuttion klimatprojektioner. Spridningen visas som median, 25e respektive 75e-percentilen samt max- och minvärden.

om ett förändrat klimat leder till en ökad risk och om ytterligare åtgärder behövs.

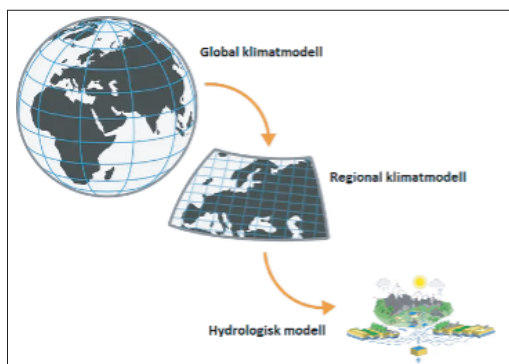
En titt bakom beräkningarna

Klimatsimuleringar, från global skala till avrinningsområde

Det finns idag inte en modell som klarar av beräkningarna för hela jordens vädersystem på den fina skalan som behövs för att bli användbart för lokala anpassningar. Istället används en kedja av modeller och statistiska metoder (figur 4) för att höja upplösningen i resultatet från de globala modellerna och kunna beskriva viktiga detaljer. För hydrologiska tillämpningar är exempel på sådana detaljer sjöar, vattenkraftsmagasin och reglerrutiner, eller högre upplösning på data för markanvändning. Dessa ger i sin tur en bättre beskrivning av till exempel vattenföringen.

Kedjan börjar med de globala klimatmodellerna som beskriver hela jordens vädersystem i ett rutnät. Hur grovt upplösningen är, alltså hur grovt rutnätet är, varierar mellan modellerna men är i storleksordningen 2,5–5,5° (ca 300–600 km vid ekvatorn) och med några tiotal vertikala lager för atmosfären och i haven. Modellerna beskriver utvecklingen av en mängd variabler som till exempel temperatur, lufttryck och vattentemperatur i haven. Det är via de globala modellerna som antaganden om olika utsläppsscenarioer kan göras (Taylor et al., 2012).

För att gå från den globala skalan till en kontinental skala, till exempel Europa, används en så kallad



Figur 4. Beräkningskedja från globala klimatmodeller till högupplöst hydrologisk modell.

regional klimatmodell. Den tar in resultat från de globala modellerna och höjer upplösningen i resultaten genom att tillföra mer högupplöst information om till exempel topografi, hav och större sjöar. Då de regionala modellerna är mindre i geografisk utsträckning kan de arbeta på en högre rumslig upplösning än de globala modellerna. De regionala modeller som används till tjänsten kommer från forskarsamarbetet CORDEX (Giorgi et al. 2009) och har upplösningen 12,5 km. I klimatscenariotjänsten används sjutton kombinationer av globala och regionala modeller som underlag för varje utsläppsscenario, varje sådan kombination kallas för projektion.

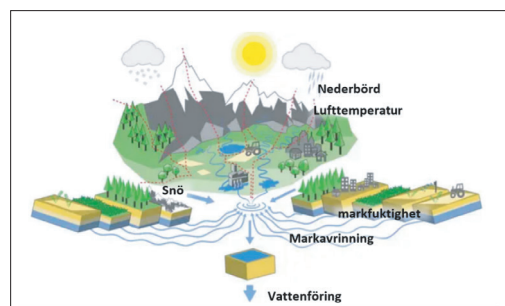
Från de regionala modellerna används tidsserier med dagliga värden för temperatur och nederbörd som indatas till den hydrologiska modellen, från vilken resultatet sedan används för att beräkna de hydrologiska variablerna och indikatorerna. Men innan data från de regionala modellerna kan användas i den hydrologiska modellen behöver dessa justeras för systematiska fel, vilka annars påverkar resultatet av de hydrologiska simuleringarna. Detta sker genom att man under en referensperiod kompenserar resultatet från varje regional modell för skillnader mot observationer för att efterlikna de tidsserier på temperatur och nederbörd som den hydrologiska modellen är kalibrerad på. Man antar sedan att samma avvikelser som fanns under referensperioden också gäller för framtiden, där inga observation finns att tillgå (se vidare Berg m.fl. 2021). Efter justeringen fås tidsserier av temperatur och nederbörd från de regionala modellerna som lämpar sig som indata till den hydrologiska modellen.

Den hydrologiska modellen S-HYPE

Sista steget i modellkedjan, där de hydrologiska variablerna beräknas, är den nationella hydrologiska modellen S-HYPE (Strömqvist m.fl. 2012). S-HYPE bygger på den hydrologiska modellkoden HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) utvecklad vid SMHI (Lindström m.fl. 2010). S:et i S-HYPE står för att det är den svenska tillämpningen av denna modellkod. Utifrån tidsserier på nederbörd och temperatur, och med information om bland annat markanvändning, jordarter, flödesvägar, sjöar/magasin och regleringar beräknar HYPE bland annat ut variablerna snödjup, avdunstning, markvattenhalt, avrinning samt flöden via åar, älvar och sjöar ner till havet (se figur 5). För den version som ligger till grund för uppdateringen i klimatscenariotjänsten våren 2025, S-HYPE version 2016e, beräknas detta för ca 40 000 delavrinningsområden i Sverige och till Sverige rinnande vattendrag från Norge och Finland. S-HYPE används även i SMHI:s varningstjänst och är underlaget till informationen som visas i Vattenwebb. Mer information om HYPE och S-HYPE finns på SMHI:s Vattenwebb (www.smhi.se/vattenwebb) där också modellresultat för perioden 2010 till 2023 finns att tillgå på hög rumslig upplösning.

Kommande utvecklingar inom klimatscenariotjänsten - Hydrologi

SMHI:s klimatscenariotjänst uppdateras fortlöpande. Inom hydrologi-delen i tjänsten kommer det under 2025 bland annat undersökas vilka indikatorer för is på sjöar och vattendrag samt för vattentemperatur som är relevanta att visa i tjänsten. Det sker också



Figur 5 Schematisk bild över HYPE-modellen, med de hydrologiska variablerna som används för beräkning av indikatorer i klimatscenariotjänsten-Hydrologi.

arbete kring att minska osäkerheterna i data som visas, bland annat genom att utveckla kopplingen mellan klimatmodellerna och den hydrologiska modellen. På lite längre sikt kommer klimatscenariotjänsten att uppdateras med data från nästa generations klimatmodeller där data idag håller på att produceras. De har bland annat en högre rumslig upplösning vilket framförallt kommer att förbättra resultaten i områden med kraftig topografi.

Kravet på högupplöst klimatinformation, till exempel för lokala anpassningar och åtgärder, är en generell utmaning eftersom osäkerheten i scenariobereäkningar ökar ju finare den rumsliga upplösningen blir. Ambitionen är att på sikt öka upplösningen på informationen i klimatscenariotjänsten.

Användarfeedback

För att samla in synpunkter i syfte att göra tjänsten mer användarvänlig och relevant finns en kort enkät som nås via denna QR-kod.

Det går även bra att skicka synpunkter till kundtjanst@smhi.se.



Referenser

- ClimateActionTracker (2024) As the climate crisis worsens, the warming outlook stagnates. <https://climateactiontracker.org/>
- Berg, P., Bosshard, T., Yang, W., & Zimmermann, K, 2021: MIdAS version 0.1 - framtagande och utvärdering av ett nytt verktyg för biasjustering, KLIMATOLOGI, 63, SMHI.
- Giorgi, F. and C. Jones, and G. R. Asrar, 2009: Addressing climate information needs at the regional level: The C DEX framework. WMO Bull., 58, 175–183.
- Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömquist, J. & Arheimer, B. (2010) Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. Hydrology Research 41.3–4, 295–319.
- Moss, R. H. et al. 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, Vol 463, 11 February 2010, DOI: 10.1038/nature08823.
- Strömquist, J. Arheimer B., Dahné, J., Donnelly C., Lindström J., 2012. Water and nutrient predictions in ungauged basins: set-up and evaluation of a model at the national scale. Hydrological Sciences Journal, 57 (2) 2012, 229–247.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485–498
- van Vuuren, D. P. et al., 2011: The representative concentration pathways: an overview, Climatic Change (2011) 109:5–31, DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z