

Björn Stensen, Johan Andréasson, Sten Bergström, Joel Dahné, Dan Eklund, Jonas German, Hanna Gustavsson, Kristoffer Hallberg, Sandra Martinsson, Signild Nerheim och Lennart Wern

Rapport Nr 2010-78

Regional klimatsammanställning — Stockholms län.



Pämbild: Stockholm sett från Västerbron. Foto: Sten Bergström, augusti 2010.



Författare:
Björn Stensen, m.fl.

Uppdragsgivare:
Statens geotekniska institut

Rapportnr:
78

Granskningsdatum:
2011-01-28

Granskare:
Sten Lindell

Dnr:
2010/2191/203

Version:
1.0

Regional klimatsammanställning - Stockholms län

Uppdragstagare
SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig
Björn Stensen
011-495 8452
bjorn.stensen@smhi.se

Uppdragsgivare
SGI

Kontaktperson
Yvonne Rogbeck

Distribution

Klassificering
(x) Allmän

Nyckelord
Klimatsammanställning, klimatscenarier, hydrologiska förändringar, havsvattenstånd

Övrigt

Sammanfattning

Länsstyrelsen i Stockholms län har uppdragit åt Statens geotekniska institut (SGI) att genomföra en analys av riskerna för naturolyckor till följd av klimatförändringar. Som underkonsult har SMHI utfört en regional klimatsammanställning för länet. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal klimatscenarier utnyttjats. Detta urval är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007.

Följande huvudsakliga slutsatser dras i rapporten:

- Klimatberäkningarna visar en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Men de visar också på stor spridning. Temperaturökningen är störst under vinterperioden men framträder under alla årstider. Förändringen av årsmedeltemperaturen ligger i medeltal på cirka 4-6 °C ökning mot slutet av seklet.
- Förändringen av årsmedelnederbörd ligger i medeltal på en ökning med 10 % till 30 % i slutet av seklet. Den största ökningen av nederbörden sker under vinterhalvåret.
- Analyser av extrem nederbörd visar på stor spridning. Medelvärde för förändringen från två oberoende analyser av intensiv korttidsnederbörd och extrem dygnsnederbörd är cirka 20 % under seklet.
- Snötillgången beräknas enligt samtliga beräkningar minska avsevärt i Stockholms län efterhand som klimatet blir varmare. Snöns maximala vatteninnehåll beräknas minska med cirka 70 % under seklet. Resultaten från beräkningarna visar att antalet dagar med snö på marken kommer att minska med mellan 65 och 100 dagar.
- Vattenföringens säsongsvariation går mot en flödesregim med högre flöden under höst och vinter och lägre vårflood. Dessa förändringar syns tydligast mot slutet av detta sekel. Det kan bli ökad risk för torka och vattenbrist under sommaren. Grundvattenförhållanden påverkas i motsvarande grad.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet väntas minska i de flesta av länets vattendrag.
- Det finns idag inget vetenskapligt underlag som entydigt visar på ändrade risker för kraftiga stormar i framtiden i Stockholms län. Men man bör vara beredd på att nya resultat från forskningen kan komma att ändra denna slutsats i framtiden.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden i Stockholms län behandlas också i rapporten. Kraftiga värmeböljor beräknas bli allt vanligare vilket ökar behovet av kyla i byggnader samtidigt som riskerna för skogsbränder beräknas öka. Antalet dagar med nollgenomgång av dygnstemperaturen beräknas minska samtidigt som uppvärmningsbehovet minskar då vintrarna blir mildare. Tjälén förväntas tränga mindre djupt ner i marken i ett varmare klimat. Det mildare klimatet medför också en kraftig förlängning av vegetationsperioden i länet.

För bedömningen av framtidens havsnivåer har i första hand en sammanställning från olika internationella källor utnyttjats. Även här råder stor osäkerhet, men det tycks som om det för närvarande är rimligt att anta att världshaven som högst stiger upp emot en meter från 1990 till slutet av 2100. Detta antagande har använts i denna studie. För den fortsatta utvecklingen har vi antagit att havet stiger 2 m fram till 2200. Denna relativt snabba stigning av havsnivåerna förutsätter en fortsatt drastisk ökning av utsläppen av växthusgaser under seklet. I utredningen har den globala havsnivåhöjningen omräknats till regionala effekter för länets kustkommuner i Stockholms län med hänsyn tagen till bl.a. landhöjningen.

Framtidens översvämningssrisker i Stockholms län är kopplade till skyfall, problem med höga flöden i vattendrag samt med höga havsnivåer. Mälaren intar dessutom en särställning eftersom riskerna beror av ett flertal samverkande faktorer. Generellt kan man dock dra följande slutsatser om framtidens översvämningssrisker i Stockholms län:

- Lokala översvämningssproblem kopplade till skyfall väntas öka generellt, eftersom de flesta klimatberäkningarna pekar mot ökad risk för kraftiga regn.
- Översvämningssproblem kopplade till vattendragen i länet väntas minska något efterhand som det blir mindre snö och kraftigare avdunstning i ett varmare klimat.
- Risken för översvämningar på grund av höga havsnivåer förändras endast långsamt och kompenseras till en början av landhöjningen. Först från mitten av seklet börjar effekten av ett stigande världshav ge sig till känna. Bortom år 2100 kan effekterna av ett stigande världshav bli betydande för Stockholms län.
- För närvarande betyder kortvariga oväder med lågt lufttryck och kraftig vind mer för översvämningssrisken än den globala höjningen av havsnivån. Ökningen på lång sikt av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdet. Föreliggande beräkningar av extremvärden bygger på en modellberäkning med ett klimatscenario. Det pågår för närvarande forskning vid SMHI, med nya klimatscenarier, vilket väntas leda till nya resultat under 2013.

De översvämningssrisker som är kopplade till Mälaren är idag oacceptabelt stora. I samband med den ombyggnad av Slussen, som Stockholms stad förbereder, avser man att öka förmågan att tappa vatten från Mälaren. Den utökade tappningsförmågan i kombination med en ny reglering gör att översvämningssriskerna därefter kommer att kunna kontrolleras och att översvämningssrisken inte längre kommer att vara ett hot i tidsperspektivet 50 -100 år.

När havet stiger kommer antalet tillfällen då Saltsjön står högre än Mälaren att öka. Detta betyder att de kulvertar som har förbindelse med Mälaren behöver kunna stängas för att undvika saltvatteninträngning.

Eftersom det sker en snabb ekonomisk utveckling i Stockholms län med ständig utbyggnad och omformning av bebyggelse och infrastruktur så ändras förutsättningar och riskexponering kontinuerligt. Detta är en faktor som troligen påverkar framtidens översvämningssrisker i minst lika hög grad som ett förändrat klimat.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	BAKGRUND	1
3	METOD	2
3.1	Referensperiod.....	2
3.2	Geografiskt analysområde	2
3.3	Variation och osäkerhet	3
3.4	Modeller för klimatberäkningar.....	4
3.5	Skalering av klimatdata för effektstudier	5
3.6	Utsläppsscenarier	6
3.7	Klimatscenarier	7
3.8	Nyttjade klimatscenarier	8
4	RESULTAT AV KLIMATANALYS.....	10
4.1	Temperatur	10
4.1.1	Temperatur i dagens klimat	10
4.1.2	Medeltemperatur för år och säsong i framtida klimat.....	10
4.1.3	Maxtemp: Antal dagar med dygnsmedeltemperatur > 20 °C.....	12
4.1.4	Värmeböljor: Antal 4-dagarsperioder med dygnsmedeltemperatur > 20 °C.....	13
4.1.5	Nollgenomgångar över dygnstemperatur.....	14
4.1.6	Antal graddagar med värmebehov.....	15
4.1.7	Antal graddagar med kylbehov	16
4.1.8	Vegetationsperiodens start	17
4.1.9	Vegetationsperiodens längd.....	18
4.2	Nederbörd.....	19
4.2.1	Nederbörd i dagens klimat	19
4.2.2	Medelnederbörd för år och säsong i ett framtida klimat.....	19
4.2.3	Antal dygn med dygnsmedelnederbörd >10 mm	21
4.2.4	Antal 3-dagarsperioder med nederbörd >10 mm/dygn	22
4.2.5	Antal torra dagar: nederbörd < 1 mm.....	23
4.2.6	Intensiv korttidsnederbörd.....	24
4.2.7	Den mest extrema nederbördens utveckling	26
4.3	Vind.....	29
4.3.1	Framtida extrema vindar	31
4.4	Brandrisk i ett framtida klimat	31
4.5	Klimatpåverkade flöden.....	34
4.5.1	Vattenföring i dagens klimat.....	34
4.5.2	Framtida förändring av vattenföringens säsongsvariation	35

4.5.3	Framtida förändring av medelvattenföring	37
4.5.4	100-årsflöden	43
4.6	Snö	48
4.6.1	Framtida maximalt snötäcke under året	48
4.6.2	Framtida antal snö dagar	51
4.7	Tjäle.....	54
4.7.1	Tjäle och framtida klimat	54
4.8	Klimatförändrade grundvattennivåer.....	56
4.8.1	Generella resultat i ett framtida klimat	57
4.8.2	Stockholmsregionen i ett framtida klimat	57
4.9	Havsvattenstånd	58
4.9.1	Det globala havsvattenståndet	58
4.9.2	Höjdsystem i Sverige	59
4.9.3	Medelvattenstånd i Stockholms län i dagens klimat	60
4.9.4	Faktorer som påverkar extrema vattenstånd	62
4.9.5	Framtida förändring av medelvattenstånd i Stockholms län	63
4.9.6	Framtida förändring av extrema havsvattenstånd i Stockholms län	65
4.10	Mälaren och projekt Slussen.....	72
4.10.1	Mälarens hydrologi	72
4.10.2	Översvämningsrisker idag	74
4.10.3	Projekt Slussen	75
4.10.4	Dimensionerande nivåer i dagens klimat	76
4.10.5	Dimensionerande nivåer i framtidens klimat	77
4.10.6	Risker idag och i framtiden	78
4.11	Övriga relevanta klimatfaktorer av intresse för Stockholms län	78
4.11.1	Solinstrålning.....	79
4.11.2	Relativ luftfuktighet och temperatur ("Mögelindex")	80
4.11.3	Underkylt regn.....	81
4.11.4	Dagnummer för islossning i sjöar.....	82
4.11.5	Salthalt, temperatur och isutbredning i havet.....	82
5	SLUTSATSER	82
6	REFERENSER.....	84
7	APPENDIX A	88

1 Inledning

I samband med den regionala klimatanpassningen i Stockholms län finns ett behov av att klargöra vilka risker som finns till följd av klimatförändringar. Det är angeläget att identifiera områden i länet där klimatförändringar kan komma att medföra ökade risker för naturolyckor. Länsstyrelsen i Stockholms län har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att genomföra en sådan analys och att också uppdatera befintliga förhållanden i dagens klimat genom inventeringsinsatser. Uppdraget har avgränsats till att omfatta områden med förutsättningar för naturolyckor av typen skred, ras, erosion och översvämning. Se vidare i *Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län – för dagens och framtidens klimat* (SGI, 2011).

Som en del av ovanstående har SMHI som underkonsult till SGI utfört en regional klimatsammanställning för Stockholms län. Sammanställningen redovisar en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Stockholms län såväl under dagens klimatförhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100.

Föreliggande rapport har utarbetats vid SMHIs avdelning för miljö och säkerhet. Synpunkter på innehållet har underhand lämnats av personal vid länsstyrelsen i Stockholms län. Vi vill speciellt rikta ett tack till Christina Frost vid länsstyrelsen för många värdefulla synpunkter på rapporten.

2 Bakgrund

Planering i långa tidsperspektiv baseras med fördel på ett underlag som tar hänsyn till de osäkerheter som ofrånkomligen finns i alla förutsägelser om framtiden. Ett sätt att ta hänsyn till möjliga framtida utvecklingar är att arbeta med så kallade scenarier som beskriver framtiden på olika sätt. Inom det internationella forskningssamhället genomförs stora ansträngningar för att beräkna och skatta ett framtida klimat.

Dynamiken och förekomsten av vatten kommer att förändras då ett förändrat klimat innebär väsentliga skillnader i årstidernas karaktär, speciellt med avseende på temperatur och nederbörd.

Säsongsvariationen i vattenföring drivs till stor del av nederbördsmönster och lagring av vatten i landskapet i till exempel snö och sjöar. I de delar av Sverige som upplever längre köldperioder lagras betydande mängder vatten under vintern i form av snö som under en relativt kort period smälter när temperaturen stiger under vår och försommar. I ett klimat med högre temperatur kan denna säsongsvariation förändras och bli mindre accentuerad, samtidigt som höga flöden kan uppträda vintertid. Intensiva skyfall uppträder idag främst sommartid och orsakar ibland översvämningar, speciellt för vattensystem som inte dimensionerats för extrema flöden såsom exempelvis kombinerade dag- och spillvattensystem samt dränage i anslutning till infrastruktur. I ett framtida varmare klimat med ökad konvektiv nederbörd kan riskerna för skyfall komma att öka.

Beräkningar av framtida klimat har tidigare genomförts i bland annat den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). För dessa analyser användes sex klimatscenarier framtagna av SMHI (se mer beskrivning av dessa i avsnitt 3.7). Ett delbetänkande berörde även översvämningssamhället där höga flödets bakomliggande faktorer såsom exempelvis extrem nederbörd och intensiv snösmältning identifierades (SOU, 2006). Underlag till detta delbetänkande levererades av SMHI (Bergström, m.fl., 2006). Klimat- och sårbarhetsutredningen sammanställde även riskerna för naturolyckor i ett förändrat klimat (SOU, 2007b).

Inom det EU-finansierade projektet ENSEMBLES (van der Linden m.fl, 2009) har ett ensemblesystem utvecklats för beräkning av klimatförändringar baserat på de bästa europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarier tillgängliga än tidigare, och för analys av temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden i denna rapport har 16 olika klimatscenarier använts. Dessa scenarier kommer både från ENSEMBLES-

projektet och från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet. Analys av en samling klimatscenarier ger nya och bättre möjligheter att behandla de osäkerheter som är nära förknippade med frågeställningen.

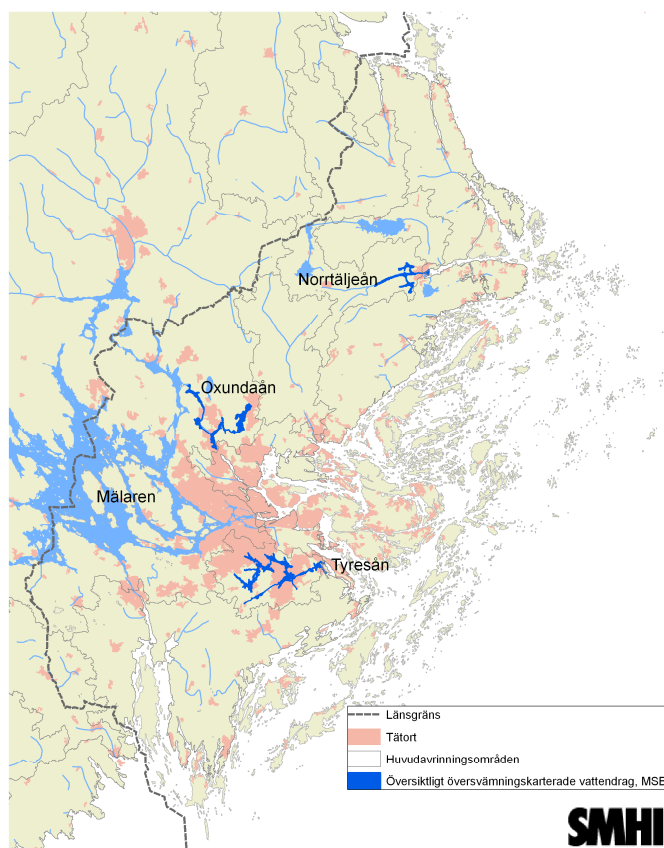
3 Metod

3.1 Referensperiod

I klimatstudier jämförs aktuella värden med medelvärden för en längre period, en referensperiod. I enlighet med internationell praxis används i denna rapport den så kallade standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Denna standardnormalperiod används fram till år 2021 då en ny 30-årsperiod, 1991-2020, är fullbordad. Referensperiod och analysperiod för olika undersökta parametrar i denna utredning kan variera med ett par år beroende på datatillgång och den tid det tar för modellerna att nå ett rimligt starttillstånd.

3.2 Geografiskt analysområde

Figur 3-1 visar Stockholms län, tätorter, dess större sjöar inklusive Mälaren, vattendrag och huvudavrinningsområden, samt av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (tidigare Räddningsverket) översiktligt översvämningskarterade vattendrag. Dessa är Mälaren, Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresån. För dessa områden studeras de hydrologiska parametrarna. För nederbörd och temperatur presenteras data för länet som helhet. Analyser gällande vattenföring presenteras i utvalda punkter, såväl som i kartformat. De delar av vattendragen som har avrinningsområden som ligger utanför länet ingår i beräkningsunderlaget men presenteras ej explicit.



Figur 3-1. Stockholms län och de avrinningsområden som ingår i analysen. Översiktligt karterade vattendrag (MSB) och dess mynningspunkter framgår.

3.3 Variation och osäkerhet

Det är viktigt vid tolkning av resultat från analyser av förändringar i ett framtida klimat att ursprunget till de variationer och osäkerheter som förekommer tydligt framgår och även hur denna variation kan bidra med information. Tolkningen av rapportens grafer bör koncentreras till långsiktiga trender snarare än till absoluta värden. Där det är tillämpligt presenteras spridningsmått i form av percentiler för att indikera spridningen i resultat mellan olika klimatmodeller. I denna rapport används 25:e resp. 75:e percentilen, vilket betyder att i princip all data förutom de fyra lägsta samt de fyra högsta scenarierna innefattas i datamängden när 16 olika scenarier används. Därmed fås en uppfattning av klimatsceniernas spridning. Detta underlättar tolkningen då det ger en mer samlad bild av den tänkbara framtidsutvecklingen.

Metoden som använts karakteriseras av att använda flera möjliga klimatscenarier, en så kallad *ensemble*, och bearbeta resultatet statistiskt. Syftet är att öka kvalitén i analysen och 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 där det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga och olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Hydrologisk respons som uppträder i flera olika klimatscenarier bedöms således mer trolig än hydrologisk respons som uppträder sporadiskt.

Osäkerheter i den typ av resultat som presenteras i denna analys påverkas av:

- Val av utsläppsscenarioer
- Val av global klimatmodell
- Val av regional klimatmodell
- Naturlig variabilitet

Spridningen i resultat kan vara betydande för somliga klimatvariabler delvis beroende på att olika modeller beskriver klimatologiska processer på olika sätt, exempelvis återkopplingen mellan atmosfärisk koncentration av växthusgaser och temperatur.

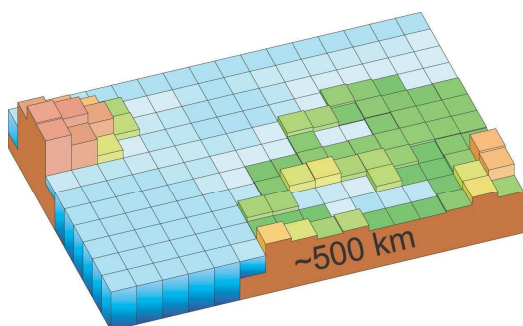
Det ligger i frågeställningens natur att det är svårt att på förhand definiera ett mått på responsen för ökade emissioner av växthusgaser, då detta är en effekt som modellerna syftar till att studera. Således är tillgången till flera olika klimatmodeller en stor fördel. Trender i respons som observeras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

Det klimat som beskrivs av en klimatmodell kan inte förväntas vara i fas med det verkliga klimatet på kort tidsskala, ett fenomen som benämns naturlig variabilitet. Dock ska en välfungerande klimatmodell beskriva medelvärden och variabilitet med tillräckligt precision, t ex korrekt antal kalla och varma vintrar under en trettioårsperiod. Dessa vintrar kan infalla i en annan sekvens än i det observerade klimatet.

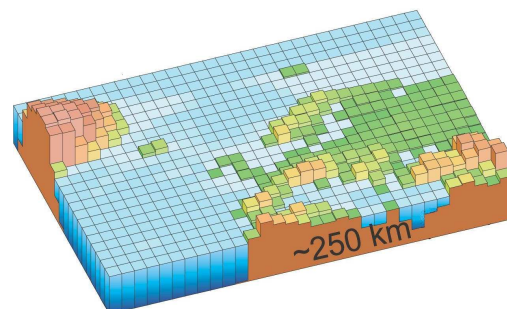
3.4 Modeller för klimatberäkningar

För att få en översiktlig bild av framtida klimat använder man sig av globala klimatmodeller (GCM) som beskriver luftströmmar och väderfenomen översiktligt över hela jorden. Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarier. Figur 3-2 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC utvecklats under de senaste 20 åren.

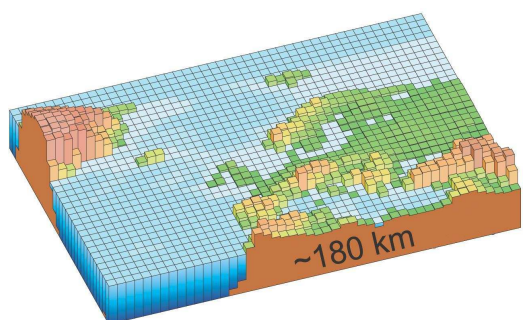
1990



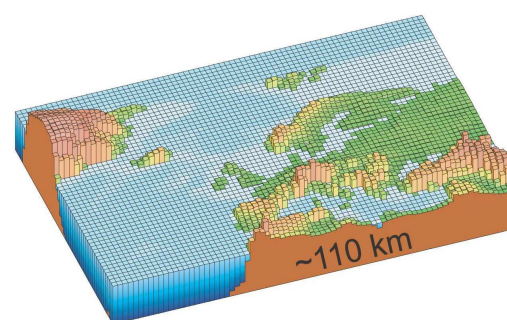
1996



2001

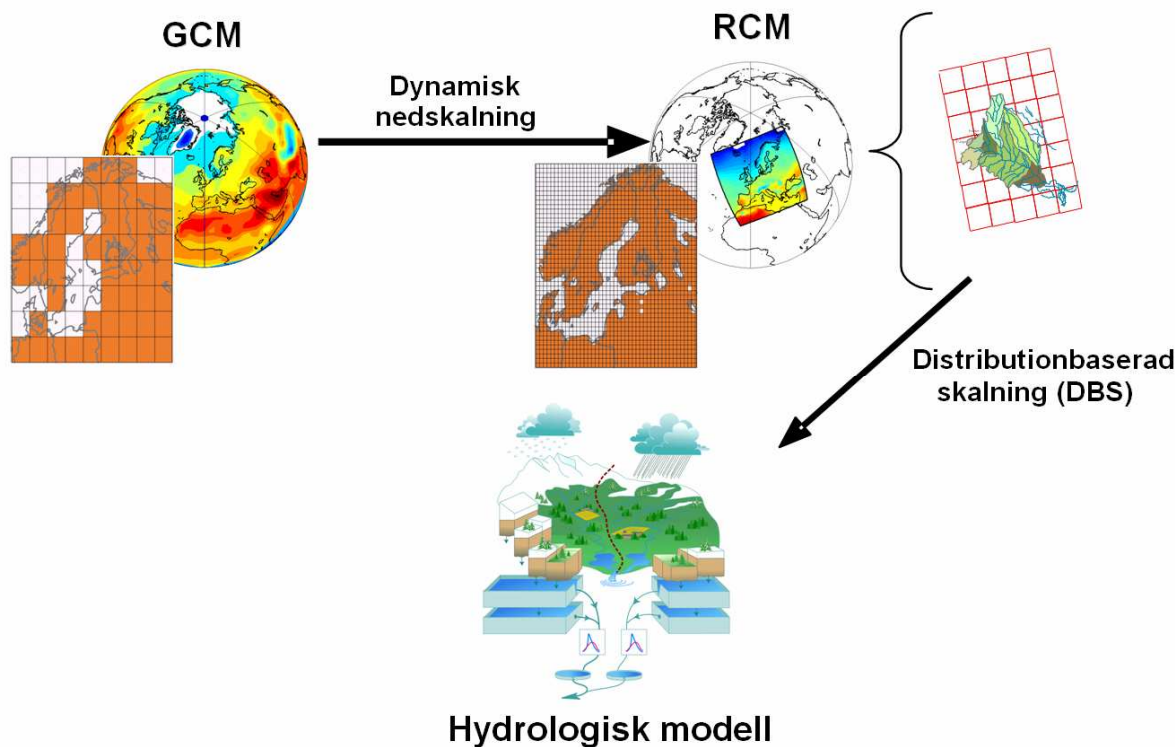


2007



Figur 3-2. Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.

För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningar till regionala klimatmodeller (RCM) med bättre upplösning och beskrivning av detaljer såsom exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen drivs av resultat från den globala modellen på randen av sitt modellområde. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Regionala klimatmodeller finns bland annat vid forskningsenheten Rossby Centre på SMHI:s forskningsavdelning. Figur 3-3 visar hur dataflödet ser ut mellan klimatmodeller på olika skalor och hur indata levereras till en hydrologisk modell där det är möjligt att studera effekter på vattenföring, magasineringen etc.



Figur 3-3. Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell

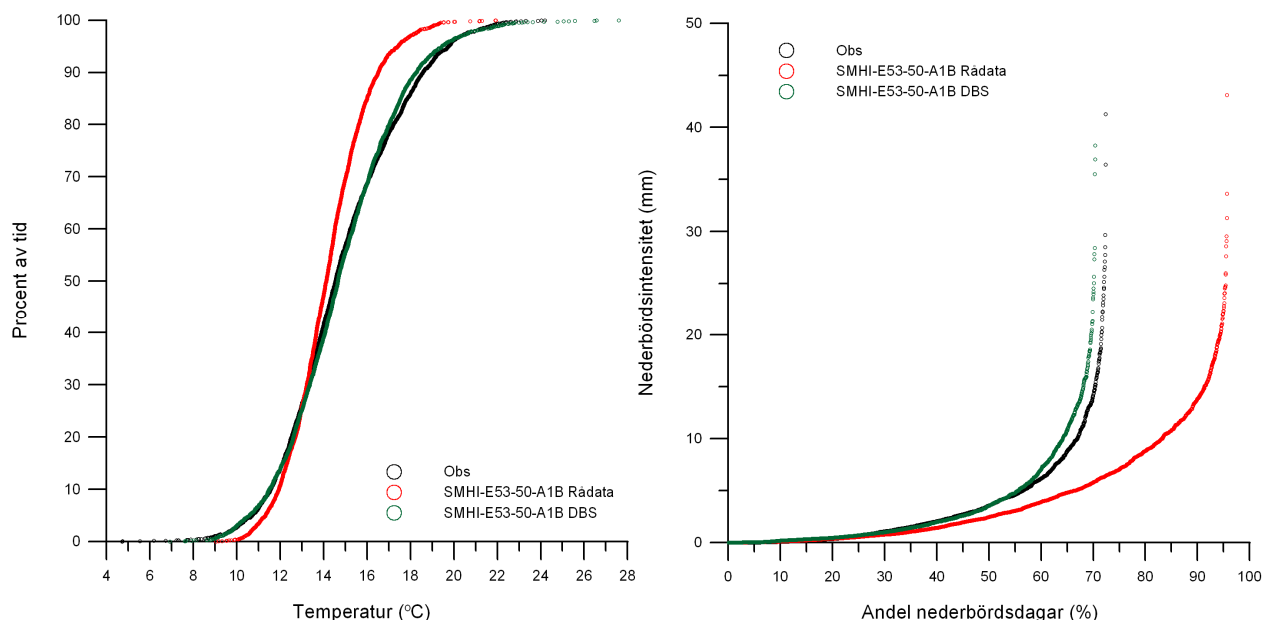
Den hydrologiska modell som används är HBV-modellen, vilket är en konceptuell avrinningsmodell som har utvecklats vid SMHI sedan slutet av 70-talet (Lindström, m.fl., 1997). Modellen byggs upp av rutiner för markfuktighet, snöackumulation och snösmältning, grundvatten och routing (beskrivning av vattnets väg). Indata till modellen har i denna studie hämtats från regionala klimatmodeller efter DBS-skalering, som beskrivs i avsnitt 3.5. Analyser med HBV-modellen är gjorda för oreglerade förhållanden.

3.5 Skalering av klimatdata för effektstudier

För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons, när utdata från klimatmodellen används direkt som indata till en hydrologisk modell.

Under senare år har en ny metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Yang m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. De korrigeringsfaktorer som då införs bibehålls vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och direkt kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man vid övergången till den hydrologiska modellen därmed, förutom förändringar i medelvärden, även de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Metoden har tidigare använts för hydrologiska modellberäkningar av Andréasson m.fl., (2009).

Figur 3-4 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur och andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell, samt när dessa rådata anpassats med DBS-metoden. I figuren visas att data efter anpassningen stämmer 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 3-4. Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbörsintensitet)).

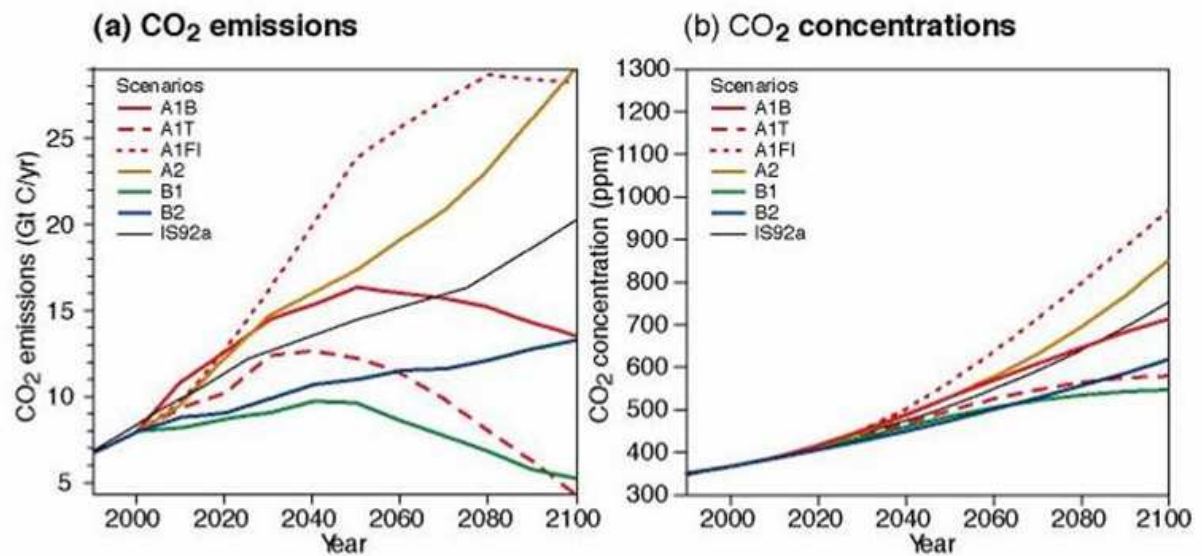
En förutsättning när DBS-metoden används är att resultaten för framtida tidsperioder måste jämföras med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Metoden innebär också att det inte är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

Anpassning av klimatmodellsdata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur, vilket också är drivvariablerna för den hydrologiska modellen.

3.6 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i Figur 3-5. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović m.fl., 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens folkmängd, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden har man sedan uppskattat hur mycket klimatpåverkande gaser och partiklar som kommer att släppas ut. Dessa utsläpp ger upphov till förändringar i atmosfärens sammansättning, som till exempel mängden koldioxid i luften, vilket i sin tur har en inverkan på klimatet.

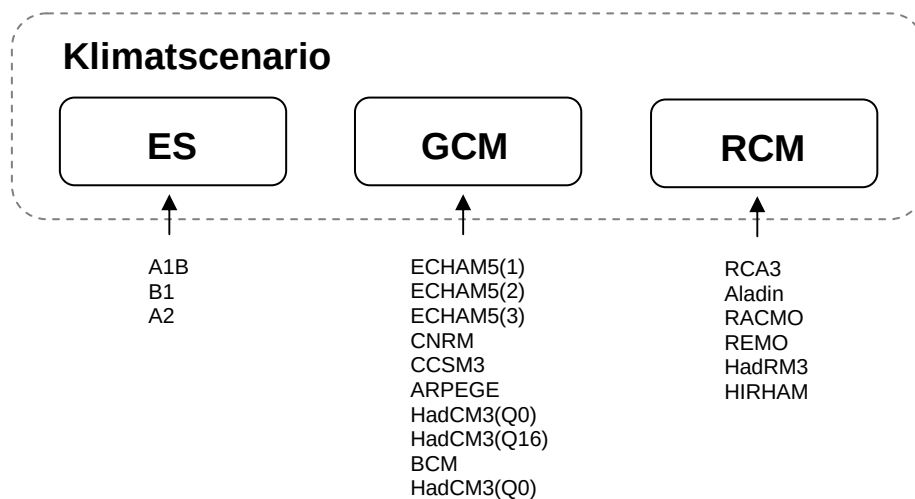
Genom att göra simuleringar i klimatmodellerna med växthusgaskoncentrationer som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet.



Figur 3-5. Antagande om framtida utsläpp av CO₂ (a) och resulterande CO₂-koncentrationer (b) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

3.7 Klimatscenarier

Ett klimatscenario är en successiv realisering av ett utsläppsscenario i en global och regional klimat modell enligt dataflödet som beskrivs i Figur 3-3. Samma utsläppsscenario kan således rendera olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. De tre komponenterna illustreras i Figur 3-6 där också de möjliga alternativen för utsläppsscenario (ES), global klimatsmodell (GCM) och regional klimatsmodell (RCM) som används i denna studie framgår (se vidare avsnitt 3.8).



Figur 3-6. Ett klimatscenario består av en kombination av global modell (GCM), regional modell (RCM) och utsläppsscenario (ES).

Under flera år användes huvudsakligen sex klimatscenarier för de flesta studier av klimateffekter i Sverige, inklusive av den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007). Dessa sex klimatscenarier bygger på en global klimatmodell från Hadley Centre i England (HadCM3/AM3H) och en från Max-Planck-institutet i Tyskland (ECHAM4/OPYC3). Dessa globala modeller har körts med utsläppsscenario A2 respektive B2 som de beskrivs av Nakićenović m.fl. (2000). I tillägg till detta användes två olika regionala modellversioner. Dessa benämns RCAO och RCA3 och kommer från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet.

Numera finns det tillgång till ett stort antal regionala klimatscenarier beräknade med nyare globala och regionala klimatmodeller. För Östersjön finns dock inga senare resultat än de som fanns tillgängliga vid tidpunkten för Klimat- och sårbarhetsutredningen. Det europeiska ENSEMBLES-projektet (van der Linden m.fl, 2009) syftade till att utveckla ett system för samordnade beräkningar av klimatförändringar baserat på ett antal europeiska och några utomeuropeiska globala och regionala klimatmodeller. Rossby Centre deltog i ENSEMBLES-samarbetet med den regionala klimatmodellen RCA3. ENSEMBLES-projektet fokuserade i huvudsak på klimatförändringar i ett tidsperspektiv fram till år 2050, varför en del klimatscenarier bara sträcker sig fram till mitten på seklet. Det utsläppsscenario som huvudsakligen användes inom ENSEMBLES benämns A1B (Nakićenović & Swart, 2000), men ett scenario med kraftigare utsläpp, A2, och ett med lägre utsläpp, B1, användes också.

I Figur 3-5 visas ett antal utsläppsscenarioer, där A1B, A2 och B1 ingår. Ur figuren framgår bland annat att A1B är ett scenario där koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050 på grund av systemets tröghet. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

3.8 Nyttjade klimatscenarier

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd, klimatpåverkade flöden och snö (avsnitt 4.1, 4.2.1-4.2.5, 4.5 och 4.6) bygger på DBS-skalerade data från klimatscenarierna i Tabell 3-1. I övriga avsnitt används olika klimatscenarier som beskrivs inom respektive avsnitt.

Tabell 3-1 innehåller klimatscenarier från ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100. De övriga 4 sträcker sig fram till 2050. Till största delen har utsläppsscenario A1B använts eftersom de flesta modellkörningar inom ENSEMBLES-projektet använt sig av detta, men även A2 och B1 finns representerade.

Den globala klimatmodellen ECHAM5 kommer från Max-Planck-institutet för meteorologi i Tyskland och HadCM3 från Hadley Center i England. Resultat baserade på ECHAM5 finns också från tre simuleringar som har startats från olika initialtillstånd i slutet på 1800-talet, vilka betecknas ECHAM5(1), ECHAM5(2) respektive ECHAM5(3). ECHAM5(3) är den simulering av de tre som har bäst överensstämmelse med faktisk klimatutveckling i Europa under slutet av 1900-talet och har därför pekats ut som huvudalternativ för ENSEMBLES-projektets beräkningar. Denna modell är därför den vanligaste globala klimatmodell som används i denna rapport.

Även HadCM3 har använts med två olika initialtillstånd, men då har också modellen varit parametriserad med olika klimatkänslighet, som är ett mått på den temperaturökning som kan förväntas om mängden koldioxid i atmosfären fördubblas. En av dessa simuleringar refereras som Q0 och betraktas som mest trolig. Den version som har högre klimatkänslighet, Q16, ligger dock även den inom vad som klimatforskarna betraktar som rimliga gränser.

Övriga använda globala klimatmodeller är ARPEGE från CNRM i Frankrike, BCM från METNO i Norge och den nordamerikanska modellen CCSM3.

De klimatscenarier som använts är de som funnits tillgängliga vid genomförandet, d.v.s inget aktivt urval av scenarier har gjorts. Allt eftersom fler klimatscenarier blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatensemblesimuleringar. På så sätt kan fler tänkbara

utvecklingar av klimatet simuleras. En större ensemble ger starkare statistiska mått på hur en framtida utveckling kan se ut. Den idag tillgängliga ensemblen är dock en stor förbättring mot vad som fanns tillgängligt för några år sedan, även om urvalet inte är systematiskt.

Tabell 3-1. Sammanställning av använda klimatscenarier. Nationsflaggorna avser instituten som har genomfört den regionala nedskalningen (RCM). Den globala klimatmodellen (GCM) ECHAM5 kommer från Max Planck Institute i Tyskland, ARPEGE från CNRM i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från METNO i Norge. CCSM3 är en nordamerikansk modell som körts vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100.

Nation	Institut	Scenario	GCM	RCM	Upplösning	Period
	SMHI	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2100
	SMHI	B1	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CNRM	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CCSM3	RCA3	50 km	1961-2100
	CNRM	A1B	ARPEGE	Aladin	25 km	1961-2050
	KNMI	A1B	ECHAM5(3)	RACMO	25 km	1961-2100
	MPI	A1B	ECHAM5(3)	REMO	25 km	1961-2100
	C4I	A2	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2050
	HC	A1B	HadCM3(Q0)	HadRM3	25 km	1961-2100
	C4I	A1B	HadCM3(Q16)	RCA3	25 km	1961-2100
	METNO	A1B	BCM	HIRHAM	25 km	1961-2050
	METNO	A1B	HadCM3(Q0)	HIRHAM	25 km	1961-2050
	DMI	A1B	ECHAM5(3)	HIRHAM	25 km	1961-2100

4 Resultat av klimatanalys

4.1 Temperatur

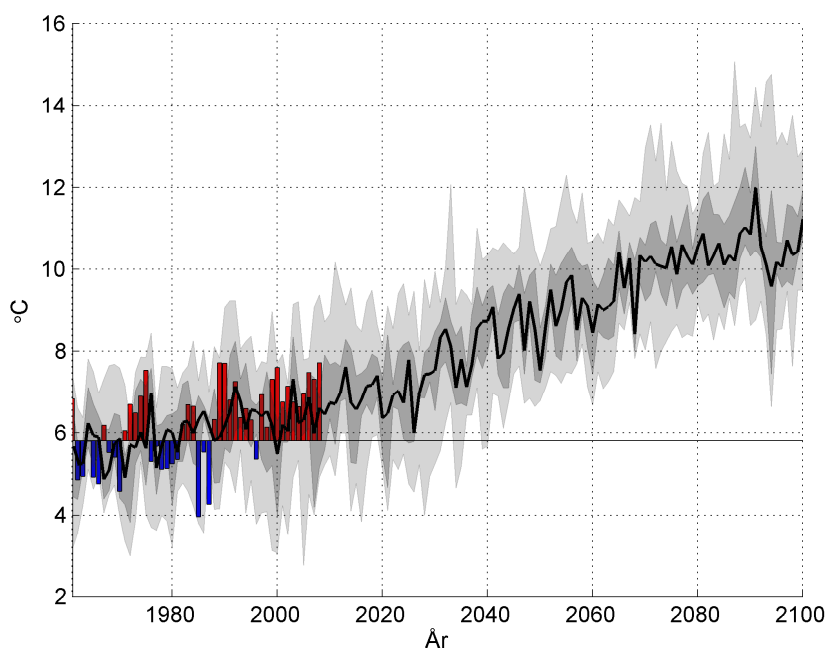
4.1.1 Temperatur i dagens klimat

För att sammanställa statistik för dagens klimat för Stockholms län har observationer för temperatur hämtats från SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2003; 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4×4 km och har data från och med året 1961. En analys av medeltemperaturen i Stockholms län för referensperioden 1961 – 1990 (30 år) ger att den var 5,8 °C. För perioden 1991-2008 (18 år) var medeltemperaturen 6,9 °C, det vill säga 1,1 °C högre än i den föregående 30-årsperioden.

4.1.2 Medeltemperatur för år och säsong i framtida klimat

Beräknad utveckling av årsmedeltemperaturen för Stockholms län baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1 visas i Figur 4-1. Årsmedeltemperaturen under referensperioden 1961-1990 visas som en horisontell linje. Historiska observationer för länet illustreras som avvikelser från medeltemperaturen med staplar. Positiv avvikelse visas i röda staplar och negativ avvikelse visas i blå staplar.

De olika skuggningarna beskriver variationen i resultat mellan olika klimatscenarier. Dessa fält är uppifrån och nedåt: maximalt värde, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärde från samtliga klimatscenarier jämfört med referensperioden. Medianvärdet av alla klimatscenarier visas med en svart linje.

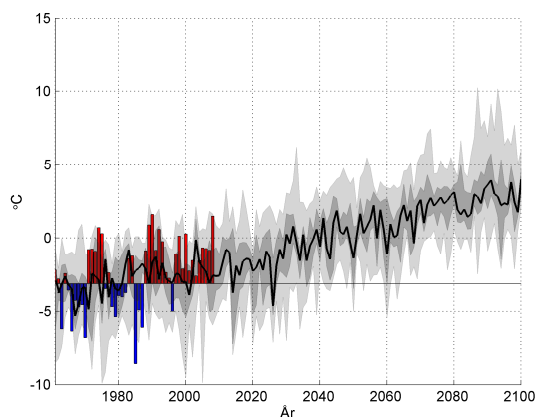


Figur 4-1. Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Stockholms län baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 5,8 °C. Figuren visar en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under resten av seklet.

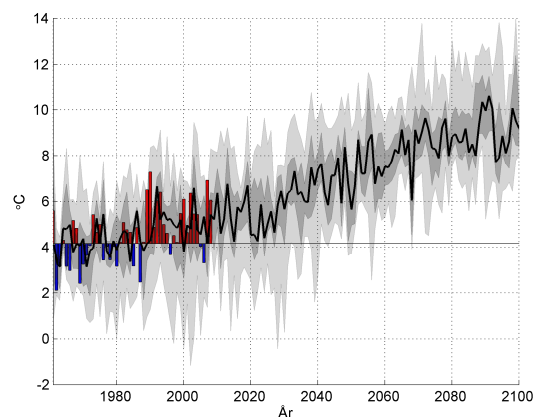
Resultaten visar på en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under resten av seklet men också på en stor spridning. Det kan exempelvis inte uteslutas att vi får kallare år en bra bit in på seklet. Förändringen av årsmedeltemperaturen ligger i medeltal på cirka 4-6 °C ökning mot slutet av seklet.

I Figur 4-2 som visar säsongvariationer av medeltemperatur är det värt att notera att temperaturökningen är störst under vinterperioden men att den framträder under alla årstider. Vinter definieras som december – februari (DJF), vår som mars – maj (MAM), sommar som juni – augusti (JJA) och höst som september – november (SON).

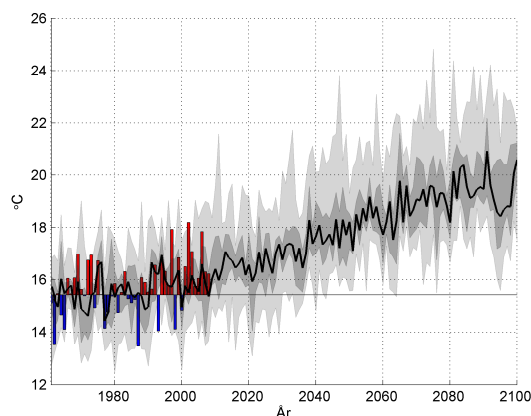
Rent generellt för figurerna är att trenden är likartad för de flesta klimatscenarier och att även de lägsta temperaturerna mot slutet av seklet ligger på ett högre värde än referensperiodens medeltemperatur.



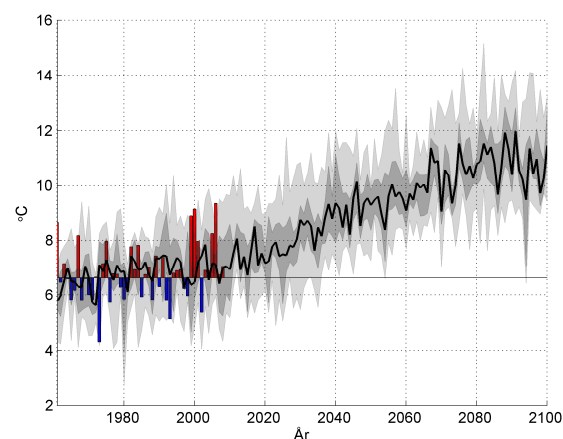
Vinter (DJF)



Vår (MAM)



Sommar (JJA)



Höst (SON)

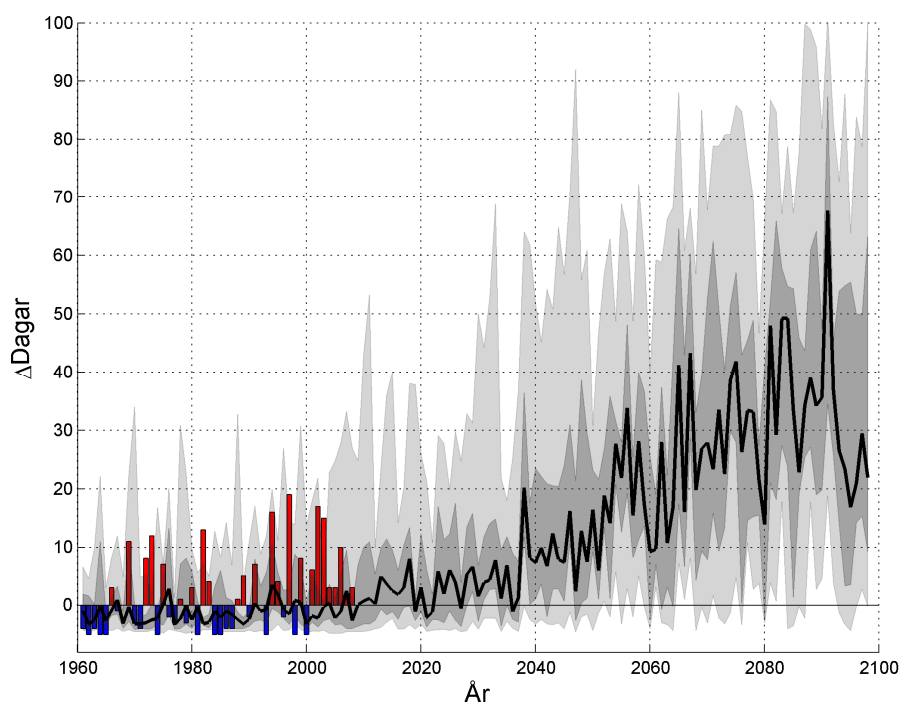
Figur 4-2. Beräknad temperaturutveckling i Stockholms län för de olika årstiderna baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Observera att skalorna skiljer sig mellan figurerna.

4.1.3 Maxtemp: Antal dagar med dygnsmedeltemperatur > 20 °C

Analys av maxtemperatur bör egentligen göras utgående från dygnets högsta temperatur. Det datamaterial som har använts i denna studie beskriver enbart dygnsmedelvärden och denna analys har därför istället gjorts utgående från dessa data. Korrelationen mellan maxtemperatur och dygnsmedeltemperatur är mycket god (omkring 0,9), vilket gör analysen möjlig. Det är dock viktigt att poängtera att tröskelvärde för vilken temperatur som är hög skiljer sig åt beroende på om det är dygnets maxtemperatur eller dygnsmedeltemperatur som analyseras. Tröskeltemperaturen som har valts för analysen av dygnsmedeltemperatur är 20 °C, vilket motsvarar en maxtemperatur på ca 25 °C.

Analys har gjorts över antal dagar per år som dygnsmedeltemperaturen överstiger 20 °C. Resultatet presenteras i Figur 4-3 och visar antalet dygn per år relativt referensperioden 1961-1990. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 5 dagar per år. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

Trenden som kan ses i figuren ger att antalet dagar med hög dygnsmedeltemperatur förväntas att öka. Mot slutet av seklet visar medianlinjen på en ökning på cirka 30-40 dagar jämfört med referensperioden. Det förekommer dock en stor spridning på resultaten.



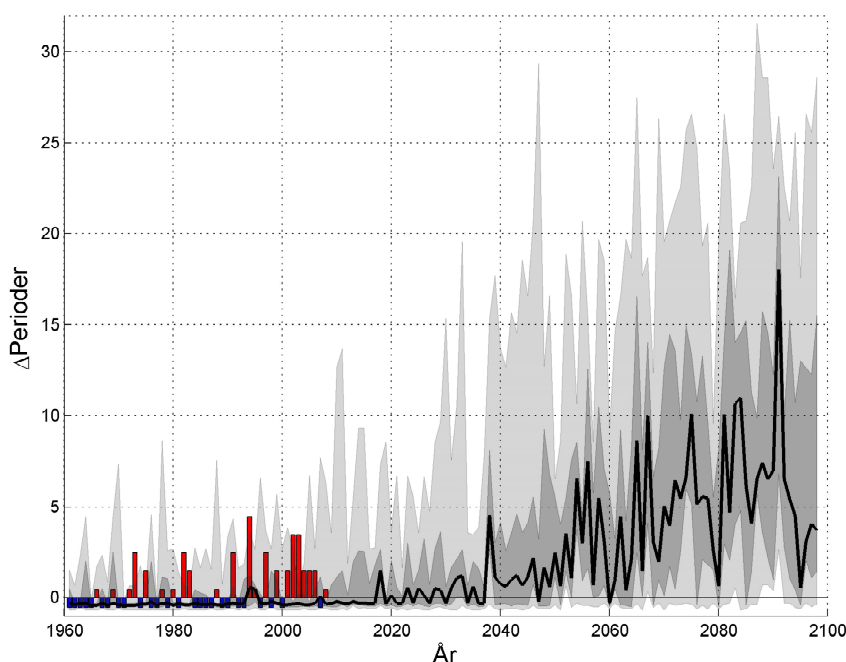
Figur 4-3. Antal dagar med dygnsmedeltemperatur överstigande 20 °C relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Mot slutet av seklet visar medianlinjen på en ökning på cirka 30-40 dagar jämfört med referensperioden. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 5 dagar per år.

4.1.4 Värmeböljor: Antal 4-dagarsperioder med dygnsmedeltemperatur > 20 °C

Analys har gjorts över antal sammanhängande perioder per år som dygnsmedeltemperaturen överstiger 20 °C. Med en sammanhängande period menas i detta fall att dygnsmedeltemperaturen överstiger 20 °C under 4 på varandra följande dagar. Om till exempel dygnsmedeltemperaturen överstiger 20 °C under 8 på varandra följande dagar motsvarar detta 2 perioder i vår beräkning.

Resultatet presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-4. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 1 händelse vartannat år. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

I figuren ses en gradvis ökning av antalet värmeböljor mot slutet på seklet. Dock förekommer det en tydlig spridning i resultaten. Medianlinjen visar på en ökning med uppemot 10-15 tillfällen mot slutet av seklet.

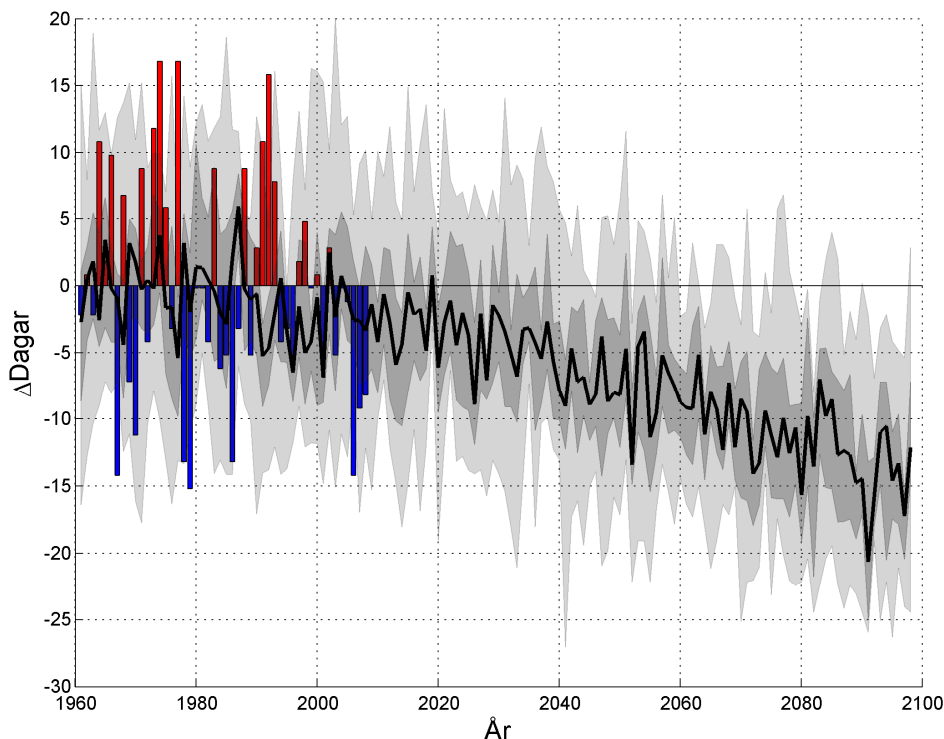


Figur 4-4. Antal 4-dagarsperioder med dygnsmedeltemperatur överstigande 20 °C relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. I figuren ses en gradvis ökning av antalet värmeböljor mot slutet på seklet. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 1 händelse vartannat år.

4.1.5 Nollgenomgångar över dygnstemperatur

Antalet nollgenomgångar har beräknats genom att studera när två på varandra följande dagar har en skillnad i temperatur som genomkorsar 0 °C. Antalet sådana tillfällen per år relativt referensperioden 1961-1990 presenteras i Figur 4-5. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 30 tillfällen per år. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

Trenden som kan ses i figuren är att antalet nollgenomgångar beräknas minska i ett framtida varmare klimat. Mot slutet av seklet kommer nollgenomgångar att vara mycket ovanliga och inträffa vid 10-20 tillfällen per år istället för cirka 30 som idag. Vissa år kommer helt att sakna nollgenomgångar.



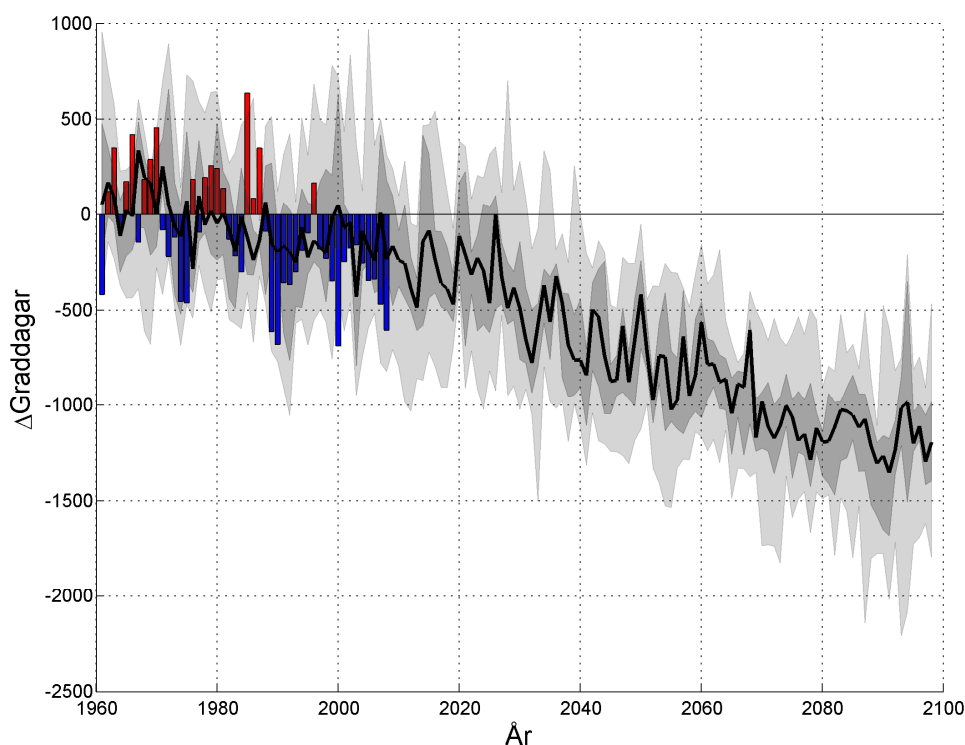
Figur 4-5. Antal nollgenomgångar relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde ligger på cirka 30 tillfällen per år. Trenden som kan ses i figuren är att antalet nollgenomgångar beräknas minska i ett framtida varmare klimat.

4.1.6 Antal graddagar med värmebehov

Beräkningen av graddagar utgår från att byggnadens värmesystem ska värma upp byggnaden till 17 °C. Resterande energibehov antas tillkomma från solinstrålning samt från värme som alstras av personer och elektrisk utrustning i byggnaden. Beräkningen av graddagar görs genom att för varje dag under året beräkna skillnaden mellan dygnsmedeltemperaturen och 17 °C, förutsatt att dygnsmedeltemperaturen understiger 17 °C. Denna skillnad summeras sedan årsvis. T. ex. ger en dag då medeltemperaturen varit 5 °C ett bidrag med 12 graddagar under året. Vår, sommar och höst har solinstrålningen särskilt stor betydelse, varför graddagar då endast beräknas när dygnsmedeltemperaturen underskrider följande värden: April 12 °C, maj-juli 10 °C, augusti 11 °C, september 12 °C, oktober 13 °C.

Resultatet från utförda beräkningar av graddagar per år relativt referensperioden visas i Figur 4-6. Medelvärde för referensperioden 1961-1990 var cirka 3400 graddagar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

Det förekommer en spridning av resultaten, men den generella trenden är att antalet graddagar kommer att minska i framtiden som en följd av det varmare klimatet. Den typ av riktigt kalla vintrar som upplevdes under 1980-talet kan förekomma fram till cirka 2030. Efter år 2040 uppnår inget enskilt år från något av klimatscenarierna samma antal graddagar som medelvärde för referensperioden.



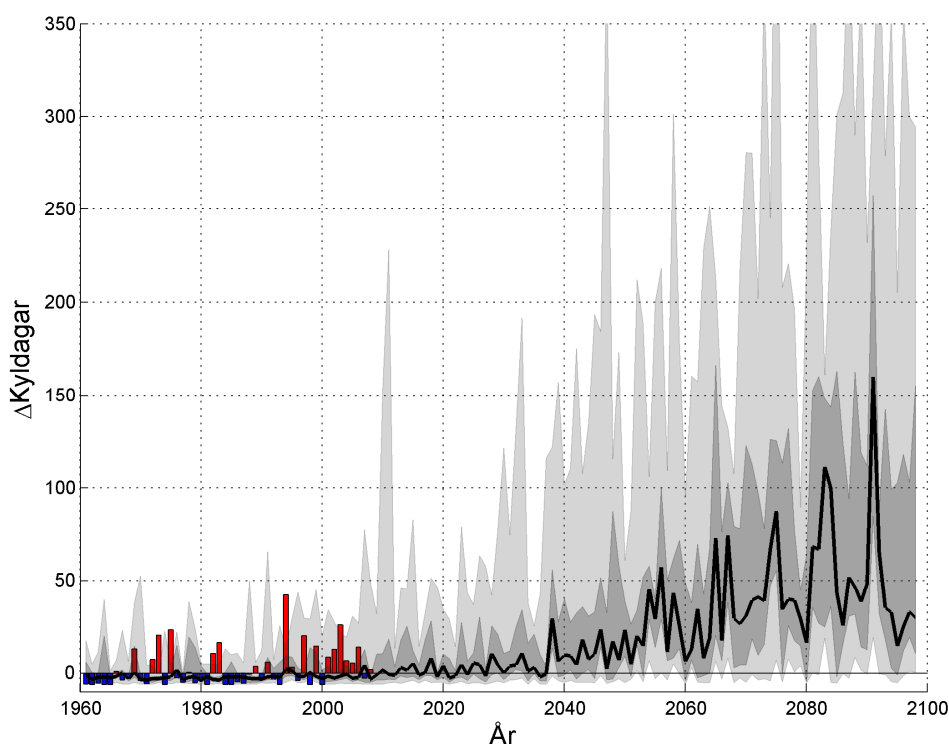
Figur 4-6. Antal graddagar understigande 17 °C relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Medelvärde för referensperioden var cirka 3400 graddagar. Det förekommer en spridning av resultaten, men den generella trenden är att antalet graddagar kommer att minska i framtiden.

4.1.7 Antal graddagar med kylbehov

Beräkning av antal graddagar per år överstigande 20 °C har utförts genom att för varje dag då dygnsmedeltemperaturen överstiger 20 °C beräkna skillnaden mellan denna dags värde och 20 °C. T. ex. ger en dag då dygnsmedeltemperaturen varit 23 °C ett bidrag med 3 graddagar under året. En summering har sedan gjorts för de skillnader som erhållits under året.

Resultatet från utförda beräkningar relativt referensperioden 1961-1990 presenteras i Figur 4-7. Referensperiodens medelvärde var cirka 6 graddagar per år. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

Kylbehovet förväntas öka mot slutet av seklet med uppemot 50-100 graddagar om medianlinjen studeras. Dessförinnan är det ingen större skillnad i antalet graddagar. Dock förekommer det en stor spridning i resultaten, vilket indikerar att extrema somrar kan ge avsevärt större kylbehov än vad som ses enbart från medianvärdet.

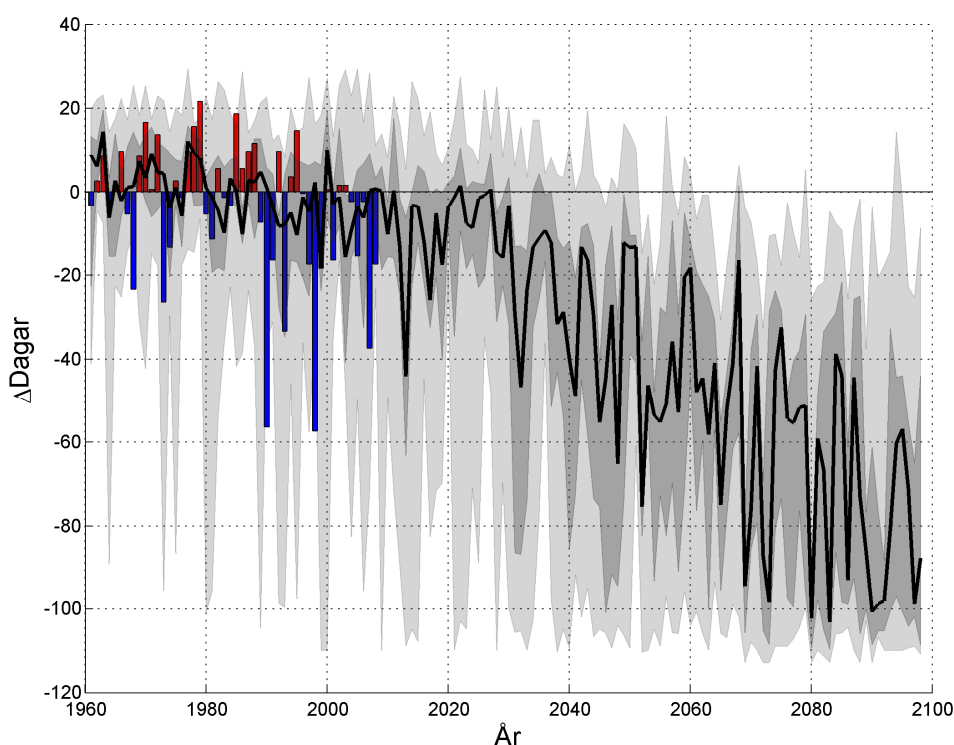


Figur 4-7. Antal graddagar överstigande 20 °C relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde är cirka 6 graddagar per år. Kylbehovet förväntas öka mot slutet av seklet med uppemot 50-100 graddagar om medianlinjen studeras.

4.1.8 Vegetationsperiodens start

Vegetationsperiodens start har beräknats genom att studera första tillfället för varje år då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5 °C under 4 dagar i följd. Resultaten presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-8. Referensperiodens medelvärde låg på dagnummer 110, vilket motsvarar slutet på april. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

Ur figuren kan ses att vegetationsperiodens start beräknas infalla tidigare under året i ett framtida varmare klimat. Mot slutet av seklet rör det sig om 60-80 dagar tidigare om medianvärdet studeras. Det förekommer en spridning i resultaten, där vissa år till och med har vegetationsperioder från årets start. De flesta klimatscenarierna visar på en tidigare start av vegetationsperioden, även om det finns stora skillnader mellan enskilda år.

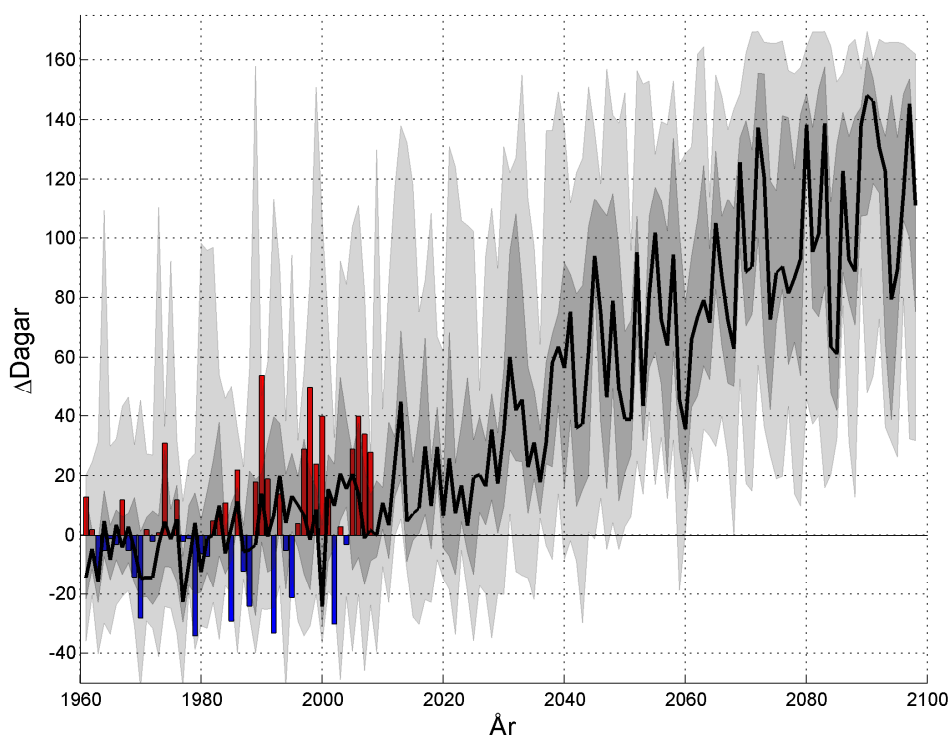


Figur 4-8. Vegetationsperiodens start på året relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde låg på dagnummer 110, vilket motsvarar slutet på april. Ur figuren kan ses att vegetationsperiodens start beräknas infalla tidigare under året i ett framtida varmare klimat.

4.1.9 Vegetationsperiodens längd

Vegetationsperiodens längd har studerats genom att beräkna antal dagar mellan *första* tillfället under året då medeltemperaturen överstiger 5 °C under 4 sammanhängande dagar och *sista* tillfället under året då medeltemperaturen överstiger 5 °C under 4 sammanhängande dagar. Resultatet från dessa beräkningar presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-9. Medelvärde för referensperioden 1961-1990 låg på cirka 195 dagar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

Figuren visar att i ett framtida varmare klimat beräknas vegetationsperioderna bli längre. Medianlinjen i figuren visar på en ökning med cirka 100-140 dagar fram emot slutet av seklet, d.v.s större delen av året kan komma att utgöra vegetationsperiod. Alla klimatscenarierna som används har denna ökande trend.



Figur 4-9. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Medelvärde för referensperioden låg på cirka 195 dagar. Figuren visar att i ett framtida varmare klimat beräknas vegetationsperioderna bli längre.

4.2 Nederbörd

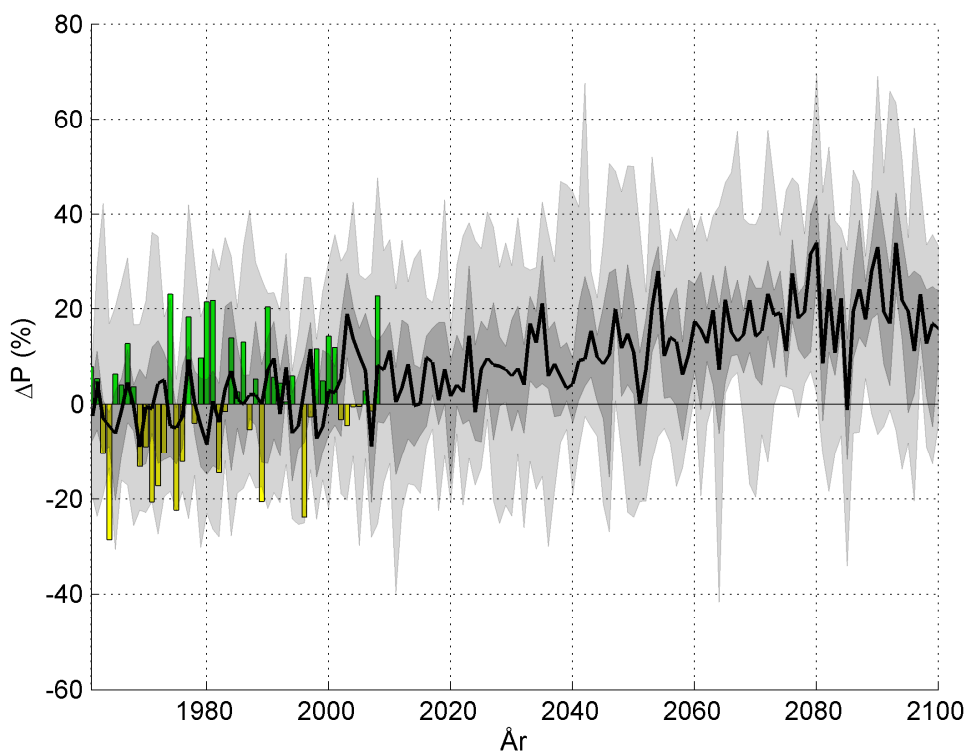
4.2.1 Nederbörd i dagens klimat

För att sammanställa statistik för dagens klimat för Stockholms län har observationer för nederbörd hämtats från SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2003; 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4×4 km och har data från och med år 1961.

En analys av årsmedelnederbörden i Stockholms län för referensperioden 1961 – 1990 (30 år) ger att den var 612 mm/år. För perioden 1991-2008 (18 år) var årsmedelnederbörden 628 mm/år, det vill säga 2,6 % högre än i den föregående 30-årsperioden.

4.2.2 Medelnederbörd för år och säsong i ett framtida klimat

Beräknad utveckling av årsmedelnederbörd och säsongsnederbörd för Stockholms län baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1 visas i Figur 4-10 och Figur 4-11. Vinter definieras som december – februari (DJF), vår som mars – maj (MAM), sommar som juni – augusti (JJA) och höst som september – november (SON).



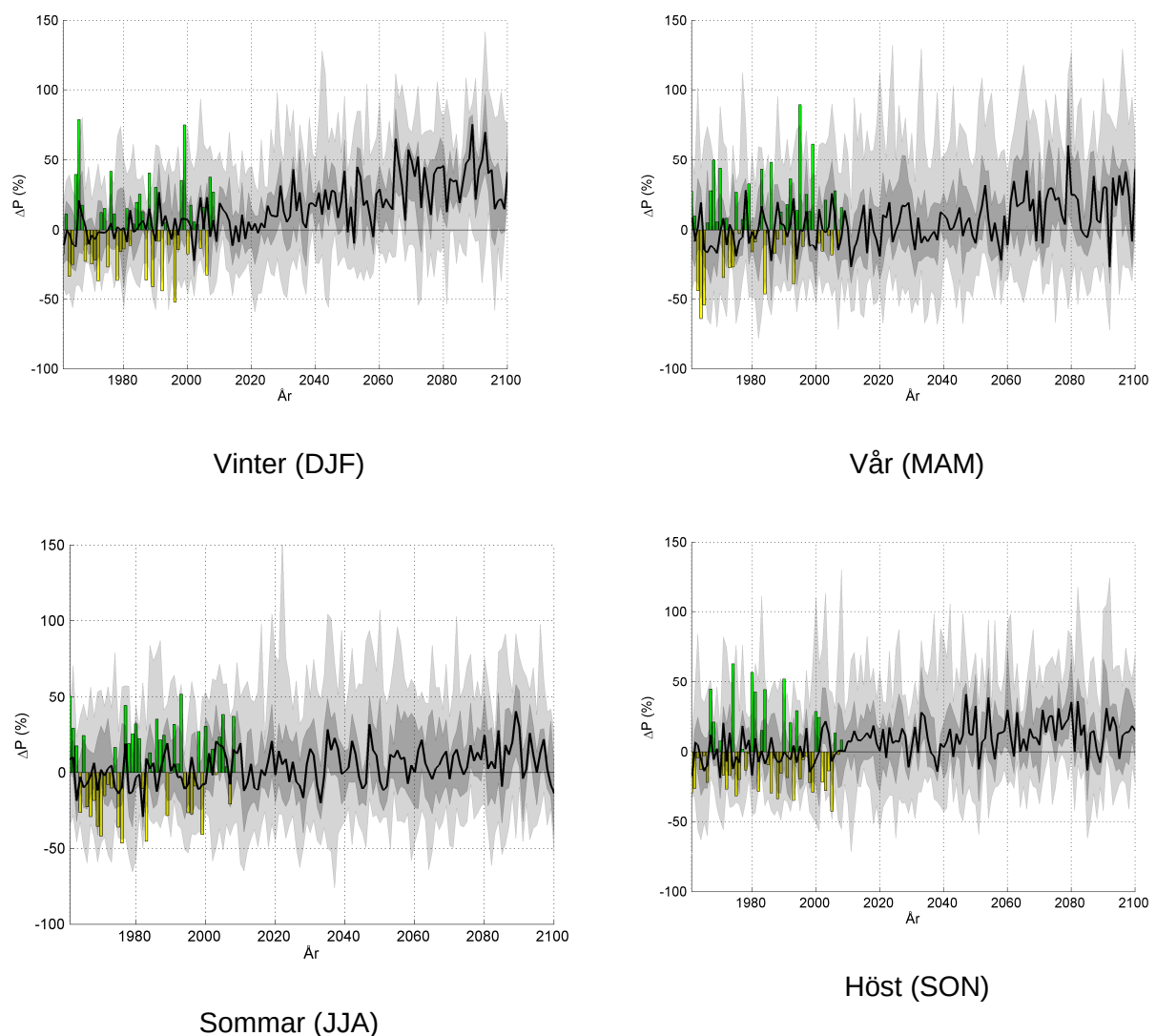
Figur 4-10.

Beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Stockholms län baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperiodens medelvärde var 612 mm/år. Figuren visar en gradvis ökning av årsmedelnederbörden under resten av innevarande sekel.

I analysen har beräknad total årsnederbörd fram till år 2100 jämförts med medelnederbörden under referensperioden 1961-1990. Förändringen anges i procentuell avvikelse. Historiska observationers avvikelse från referensperiodens medelnederbörd för länet visas med staplar. Positiv avvikelse visas i gröna staplar och negativ visas i gula staplar.

De olika skuggningarna i figurerna avser uppifrån och nedåt, den maximala avvikelsen, 75:e percentilen av avvikelsen, 25:e percentilen av avvikelsen och den minimala avvikelsen för samtliga klimatscenarier jämfört med referensperioden. Medianvärdet av alla klimatscenarier visas med en svart linje.

Figur 4-10 visar en gradvis ökning av årsmedelnederbörden under resten av seklet. Förändringen ligger i medeltal på en ökning med 10 % till 30 % i slutet av seklet om medianlinjen studeras. Ur årstidsfigurerna i Figur 4-11 går det att se att störst ökning av nederbörd förväntas ske under vinterhalvåret. Gemensamt för både årsmedelnederbörd och säsongsnederbörd är att resultaten visar på stor spridning.



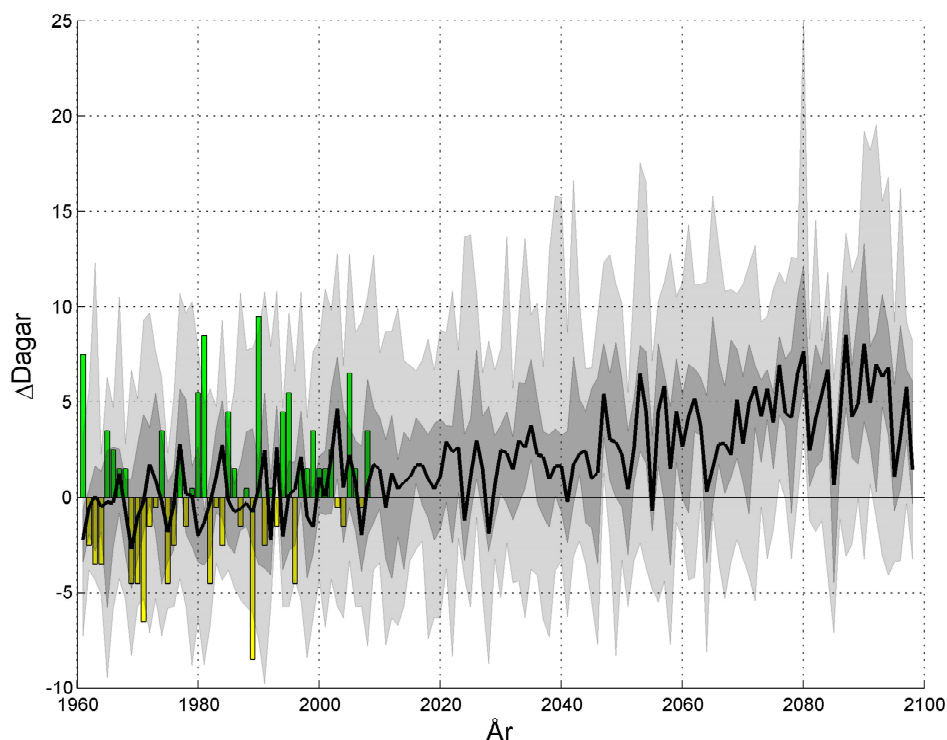
Figur 4-11. Beräknad nederbördsutveckling i Stockholms län, uppdelat på de fyra årstiderna, baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av säsongsnederbörden från samtliga klimatberäkningar

4.2.3 Antal dygn med dygnsmedelnederbörd >10 mm

Beräkningar av antal dygn då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm har utförts för samtliga klimatscenarier. Notera att det är dygnsmedelnederbörden för hela Stockholms län som studerats och att en dygnsmedelnederbörd på 10 mm på en så pass stor yta visar på ett kraftigt regn över hela området. Det är även värt att notera att denna typ av analys inte studerar förekomsten av extrema nederbördshändelser (se vidare avsnitt 4.2.7) .

Resultaten presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-12. Medelvärdet för referensperioden var cirka 12 dagar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och lägre värden visas som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal dagar, 75:e percentilen av antal dagar, 25:e percentilen av antal dagar, samt det minimala antalet dagar av samtliga klimatberäkningar.

Trenden i figuren är att antal dagar varje år då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm ser ut att öka med ett antal dagar i ett framtida klimat. Dock förekommer det en spridning i resultaten.



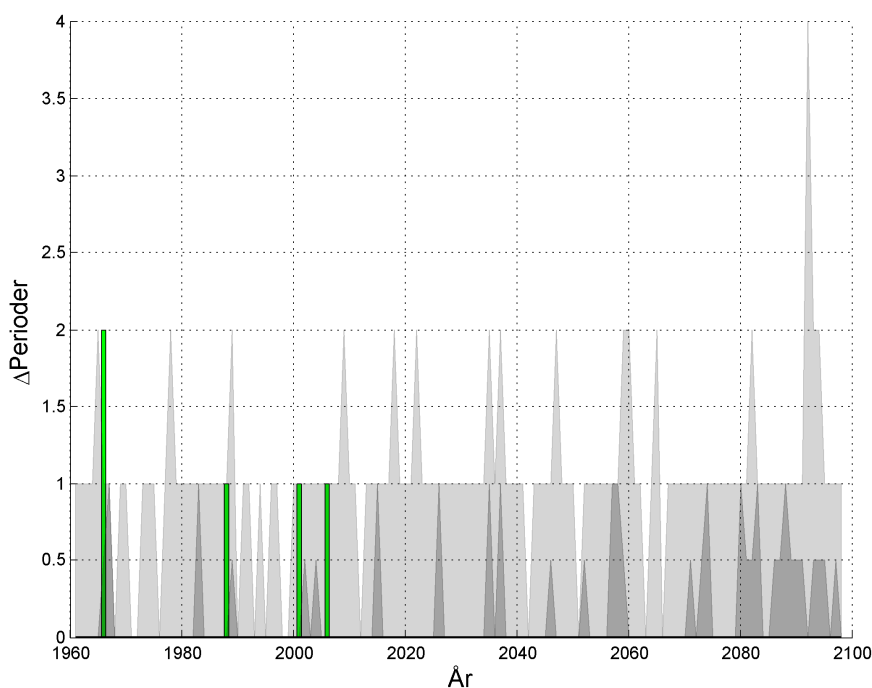
Figur 4-12. Figuren visar antal dygn med dygnsmedelnederbörd >10 mm för samtliga studerade klimatscenarier relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal dagar, 75:e percentilen av antal dagar, 25:e percentilen av antal dagar, samt det minimala antalet dagar av samtliga klimatberäkningar. Medelvärdet för referensperioden var cirka 12 dagar. Trenden i figuren är att antal dagar varje år då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm ser ut att öka med ett antal dagar i ett framtida klimat.

4.2.4 Antal 3-dagarsperioder med nederbörd >10 mm/dygn

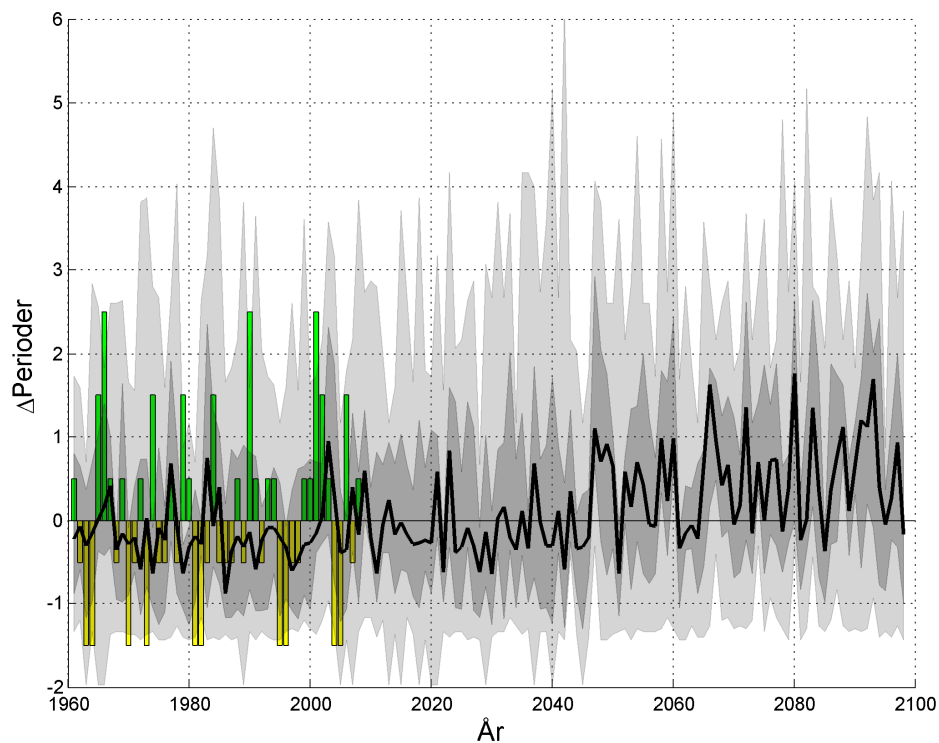
Beräkningar av antal tillfällen då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm under 3 på varandra följande dagar har utförts för samtliga klimatscenarier. Om till exempel dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm/dygn under 6 på varandra följande dagar motsvarar detta alltså 2 perioder i vår beräkning. Som en jämförelse har samma beräkning utförts för antal tillfällen då dygnsmedelnederbörden överstiger 5 mm under 3 på varandra följande dagar. Notera att det är dygnsmedelnederbörden för hela Stockholms län som studerats och att en dygnsmedelnederbörd på 10 mm på en så pass stor yta visar på ett kraftigt regn över hela området.

Resultaten för antal tillfällen då dygnsmedelnederbörden överstiger 10 mm under 3 på varandra följande dagar presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-13. Medelvärde för referensperioden var cirka 1 händelse på 10 år, det vill säga detta är en händelse som inträffar extremt sällan. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och lägre värden visas som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal tillfällen, 75:e percentilen av antal tillfällen, 25:e percentilen av antal tillfällen, samt det minimala antalet tillfällen av samtliga klimatberäkningar.

På samma sätt som i Figur 4-13 visas i Figur 4-14 hur det ser ut om man tittar på antal tillfällen då dygnsmedelnederbörden överstiger 5 mm under 3 på varandra följande dagar. Medelvärde för referensperioden är här cirka 2 händelser per år. Det går inte att se några tydliga trender ur denna figur. Möjligen att det blir en liten ökning mot slutet av seklet om medianlinjen studeras.



Figur 4-13. Antal 3-dagarsperioder med dygnsmedelnederbörd >10 mm för samtliga studerade klimatscenarier relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperioden visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal tillfällen, 75:e percentilen av antal tillfällen.

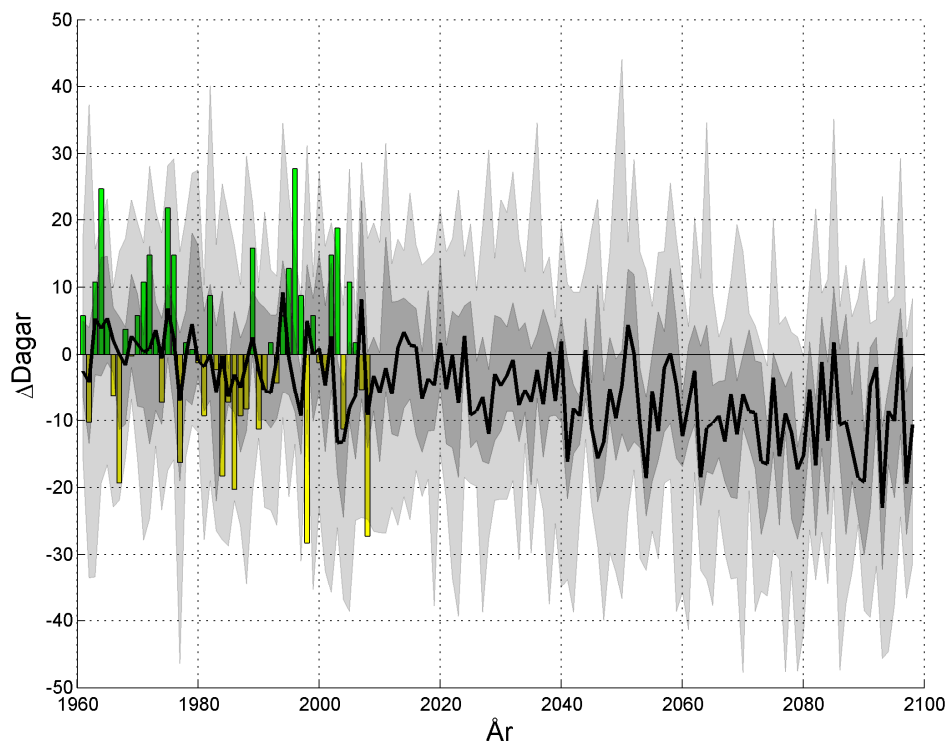


Figur 4-14. Antal 3-dagarsperioder med dygnsmedelnederbörd > 5 mm för samtliga studerade klimatscenarier relativt referensperioden 1961-1990. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperioden visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal tillfällen, 75:e percentilen av antal tillfällen, 25:e percentilen av antal tillfällen, samt det minimala antalet tillfällen av samtliga klimatberäkningar. Medelvärde för referensperioden är cirka 2 händelser per år. Det går inte att se några tydliga trender ur denna figur. Möjligen att det blir en liten ökning mot slutet av seklet om medianlinjen studeras.

4.2.5 Antal torra dagar: nederbörd < 1 mm

Årsvisa beräkningar av antal dygn då dygnsmedelnederbörden för hela Stockholms läns area understiger 1 mm har utförts för samtliga klimatscenarier. Resultaten presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-15. Medelvärde för referensperioden var cirka 240 dagar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och lägre värden visas som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal dagar, 75:e percentilen av antal dagar, 25:e percentilen av antal dagar, samt det minimala antalet dagar av samtliga klimatberäkningar.

Antalet dagar med dygnsmedelnederbörd understigande 1 mm minskar med ett fåtal dagar mot slutet av seklet om medianlinjen studeras. Spridningen mellan beräkningarna är dock stor.



Figur 4-15. Figuren visar antal dygn varje år som dygnsnederbörden understiger 1 mm relativt referensperioden 1961-1990. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och lägre värden visas som gula staplar. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras av den svarta linjen. De olika skuggningarna i figuren avser uppifrån och nedåt, maximalt antal dagar, 75:e percentilen av antal dagar, 25:e percentilen av antal dagar, samt det minimala antalet dagar. Medelvärde för referensperioden var cirka 240 dagar. Antalet dagar med dygnsmedelnederbörd understigande 1 mm minskar med ett fåtal dagar mot slutet av seklet om medianlinjen studeras.

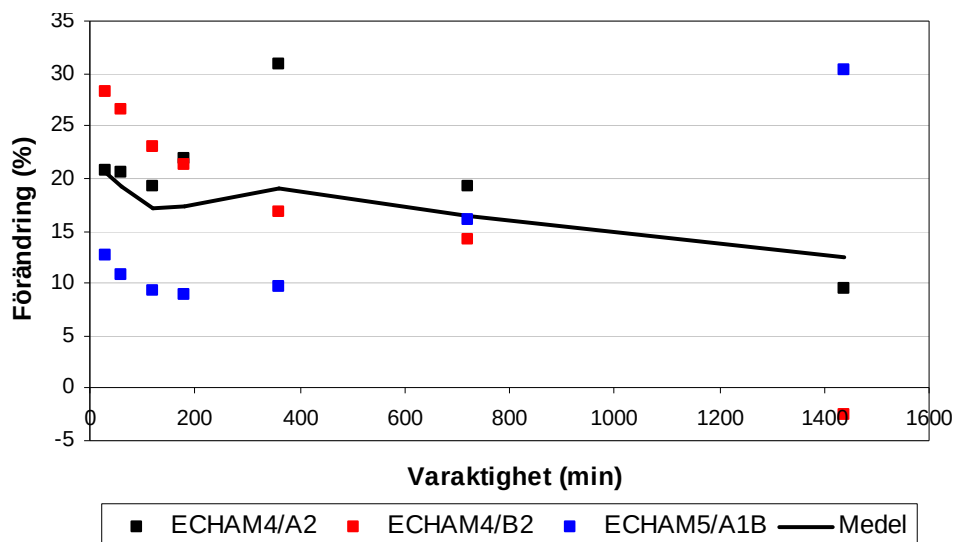
4.2.6 Intensiv korttidsnederbörd

Detta avsnitt består av en sammanfattning av kunskapsläget inom detta område från tidigare studier.

Regional klimatmodellering har hittills haft begränsade möjligheter att komma ner i en upplösning som motsvarar behovet för bland annat VA (Vatten och Avlopp)-tekniska tillämpningar. Regionala klimatmodeller har hittills producerat tillgängliga och utvärderade resultat på som bäst 25x25 km och 30-minuters upplösning, medan behovet snarare ligger på ytor från några hektar och uppåt och varaktigheter från 10 minuter och uppåt.

För att komma runt detta problem har olika metoder utvecklats för att kunna komma ner i mindre skala och utvärderingar av händelser på "grid-rute nivå" (d.v.s hittills vanligen 50x50 km och 25x25km). Olsson och Willén (2010) diskuterar en metod som går ut på att använda molnighet och nederbörd på "grid-rute nivå" från en regional klimatmodell för en stokastisk nedskalning till en rumslig upplösning närmare behovet inom urbana tillämpningar. Man använde Stockholm som ett referensområde.

Resultaten från studien måste betraktas med stor försiktighet då syftet i första hand var att studera en metod att skala ned nederbörd från klimatmodeller snarare än att presentera ett datamaterial för Stockholm. I Figur 4-16 visas ett resultat från studien, figuren visar hur nederbördsintensiteten kommer att öka för perioden 2071-2100 jämfört med referensperioden 1971-2000 för tre olika klimatscenarier och olika varaktigheter (RCA3-ECHAM5-A1B, RCA3-ECHAM4-A2/B2). Resultaten tyder på att de kortvarigaste nederbördshändelserna är de som kommer uppvisa störst ökning av intensiteten.



Figur 4-16. Förändring av nederbördsintensitet över Stockholm för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000, från Olsson och Willén (2010).

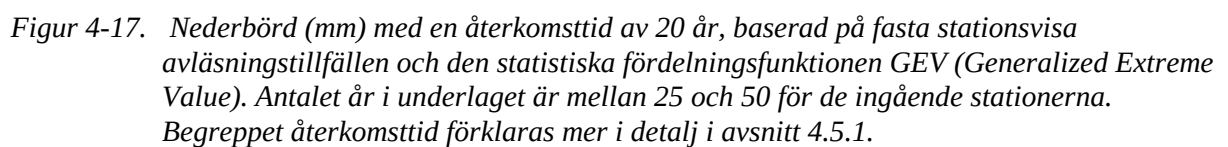
Resultat från denna typ av studier har aldrig använts för effektmodellering av t.ex. avloppssystem eftersom de fortfarande inte ger en pålitlig kontinuerlig tidsserie. Vid genomförda effektstudier har istället en annan metodik använts som bygger på omskalning av historiska observationer. Metoden går ut på att man omskalar observerade data i enlighet med klimatförändringssignalen och den kallas ofta för Delta Change (DC) (t.ex. Hay m.fl., 2000).

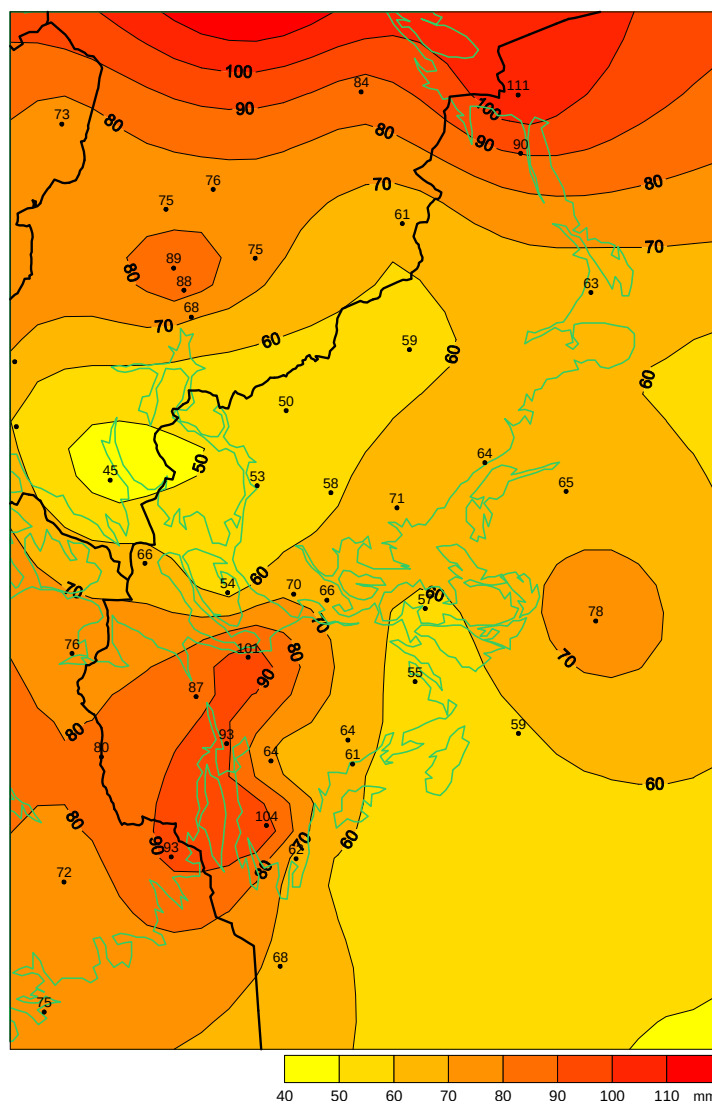
DC-metoden har använts vid en studie av framtida belastning av Stockholms huvudavloppssystem Olsson m. fl. (2010). Där omskalades en av Stockholm Vatten AB tillhandahållen nederbördsserie för centrala Stockholm enligt några framtida klimatscenarier som sträcker sig fram till slutet på seklet. Nederbördsserien omskalades med en version av DC som beskrivits av Olsson m.fl. (2009).

Simuleringar gjordes dels för en kontinuerlig 1-årsperiod, dels för de cirka 200 tillfällena med störst inflöde till Henriksdals reningsverk. Tre aspekter studerades: (1) flödesbelastning till Henriksdals reningsverk, (2) bräddad volym till Mälaren och Saltsjön och (3) risk för översvämning i utvalda punkter. För samtliga studerade aspekter erhöles en ökning med cirka 10-30%, ibland något mindre, ibland något mer.

Någon tydlig trend mot kraftigare ökning mot slutet av seklet kunde inte ses vilket förklaras dels av ökad avdunstning. De studerade projektionerna gav i allmänhet ett likartat resultat.

Figur 4-17 och Figur 4-18 visar beräknade dygnsnederbörds mängder med 20 respektive 100 års återkomsttider för Stockholms län i dagens klimat. Analysen bygger på data som avlästs vid fasta tider på dygnet vilket kan medföra en viss underskattning av de verkliga mängderna. Antalet år i underlaget är mellan 25 och 50 för de ingående stationerna. Den statistiska analysen är baserad på den statistiska fördelningsfunktionen GEV (Generalized Extreme Value). Analysen representerar punktnederbörd till skillnad från nederbördsanalyserna i avsnitt 4.2.2-4.2.5, som representerar arealnederbörd.

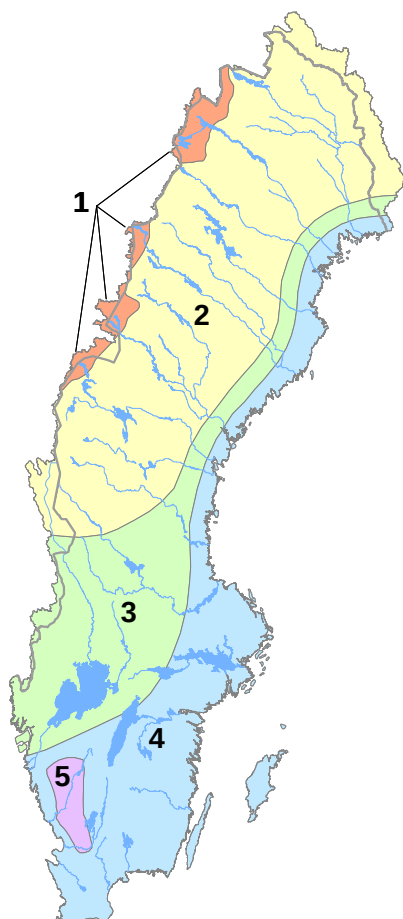




Figur 4-18. Nederbörd (mm) med en återkomsttid av 100 år, baserad på fasta stationsvisa avläsningstillfällen och den statistiska fördelningsfunktionen GEV (Generalized Extreme Value). Antalet år i underlaget är mellan 25 och 50 för de ingående stationerna. Begreppet återkomsttid förklaras mer i detalj i avsnitt 4.5.1.

För att analysera den mest extrema nederbördens framtida utveckling har den metodik som utvecklats inom projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv* (Andréasson m.fl., 2009) utnyttjats. Det innebär att nederbörd med en viss återkomsttid beräknats regionvis enligt de 5 regioner som används vid flödesdimensionering enligt riktlinjer fastställda av Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Dessa regioner redovisas i Figur 4-19. Som framgår av figuren är främst region 4 av intresse för Stockholms län.

I analysen har såväl regionala 20-årsregn som regionala 100-årsregn beräknats i dessa regioner. Eftersom dessa avser *regionens* högsta värden är de inte helt jämförbara med de värden som visas i Figur 4-17 och Figur 4-18. De är i själva verket betydligt mer extrema. 100-årsvärdet avser i detta fall det högsta värdet under 100 år för hela regionen. Analysen ger dock en bild av utvecklingen av extrema regn i allmänhet och bör kunna överföras till punktvärden, åtminstone kvalitativt. Beräkningarna är baserade på de 12 scenarierna i Tabell 3-1, som sträcker sig till slutet av århundradet. Resultaten sammanfattas i Tabell 4-1 och Tabell 4-2.



Figur 4-19. Regionindelning för den dimensionerande nederbörden i de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar.

Tabell 4-1. Sammanfattning av den beräknade utvecklingen av den mest extrema dygnsnederbörden uttryckt som regionala 20-årsregn i de regioner som definierats i de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Förändringarna avser mellan perioderna 1961-1990 respektive 2068-2097.

% ändring 20-årsregn	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5
Maximum	+46	+56	+48	+47	+55
Medel	+14	+21	+20	+16	+21
Minimum	-6	+5	+9	-2	+2

Tabell 4-2. Sammanfattning av den beräknade utvecklingen av den mest extrema dygnsnederbörden uttryckt som regionala 100-årsregn i de regioner som definierats i de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Förändringarna avser mellan perioderna 1961-1990 respektive 2068-2097.

% ändring 100-årsregn	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5
Maximum	+52	+67	+55	+54	+67
Medel	+16	+23	+20	+16	+23
Minimum	-11	+4	+5	-5	+1

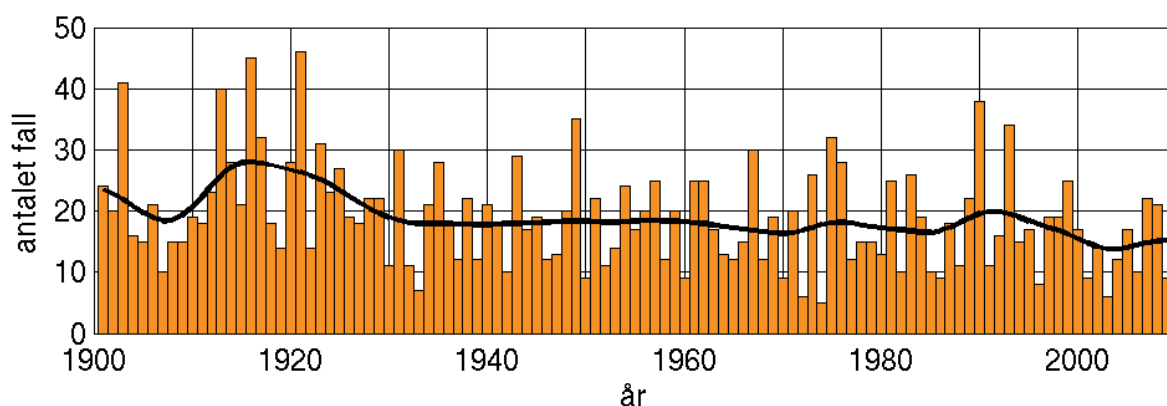
Som framgår av tabellerna är spridningen stor i förändringen av extrem nederbörd beräknad med olika klimatscenarier. Förändringen i medelvärdena är dock förhållandevis stabila och skiljer sig inte åt mellan regionala 20-årsregn och motsvarande 100-årsregn. Det talar för att man även borde kunna använda dessa siffror som underlag för bedömningar av ändringar av framtidens extrema regn i Stockholms län. Med tanke på osäkerheter i bedömningarna av framtida extrem nederbörd bör inte beräkningarna tolkas alltför bokstavligt. Det är rimligt att för Stockholms län tills vidare räkna med en framtida ökning av extrem dygnsnederbörden med ca 20 % till 2100 för en återkomsttid av 100 år.

4.3 Vind

Inom detta avsnitt görs en sammanfattning av kunskapsläget när det gäller vind.

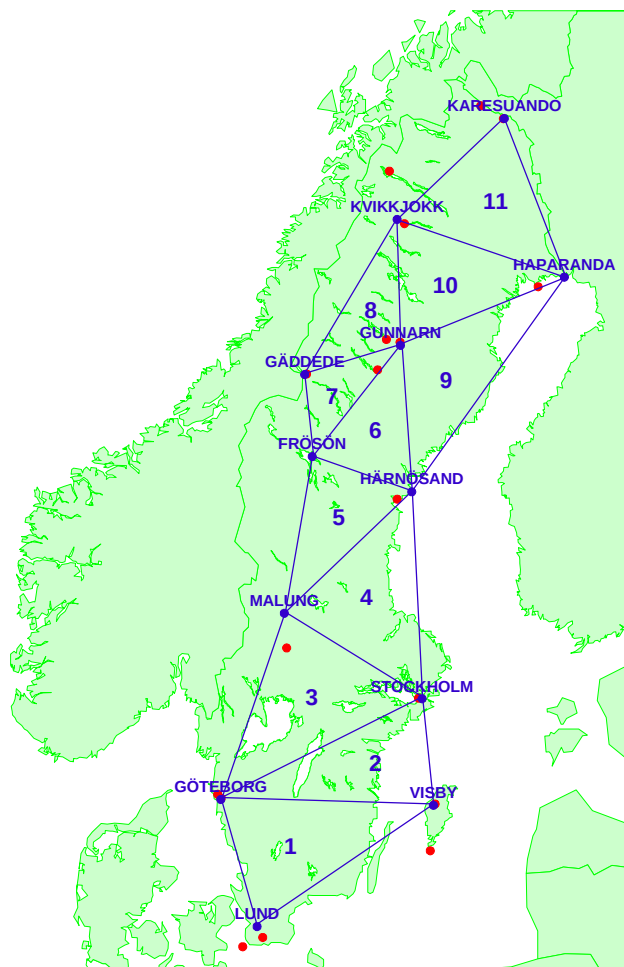
Direkta vindmätningar har gjorts sedan 1800-talet men det var först på 1950-talet som mätningarna standardiserades och fick tillräcklig kvalitet för att man skall kunna bedöma förändringar av vindklimatet över tid. Istället för direkta vindmätningar bygger därför SMHIs klimatindikator på s.k. *geostrofisk vind*. Detta är en slags idealiserad genomsnittlig vindhastighet som beräknats utifrån långa serier av lufttrycksobservationer.

Fall med geostrofisk vind över 25 m/s i södra Sverige (sedan 1901) redovisas i nedanstående diagram:



Figur 4-20. Antalet tillfällen per år med geostrofisk vind över 25 m/s i södra Sverige (från Wern och Barring, 2009).

Vindstatistik för Sverige för perioden 1961-2004 finns sammanfattad i en rapport av Alexandersson (2006). Det har även genomförts en studie av hur vinden har varierat i Sverige mellan åren 1901 – 2008 (Wern och Barring, 2009). I studien utgick man från tryckmätningar och beräknade den geostrofiska vinden i 11 trianglar definierade av mätstationer som täcker Sverige. Dessa trianglar visas i Figur 4-21.



Figur 4-21. Mätstationer och trianglar som använts i analyser av geostrofisk vind. De blå stationerna är huvudstationer medan de röda är kompletterande stationer, som utnyttjats då data saknats vid huvudstationerna (från Wern och Barring, 2009).

Bland annat studerade Wern och Barring följande variabler:

- Årets högsta vindhastighet
- Årets medelvindhastighet
- Antal fall på minst 25 m/s under året
- Potentiell vindenergi under året

De drog följande slutsatser i sin rapport:

- ”Årets högsta vindhastighet har ökat i fem trianglar och minskat i sex trianglar sedan 1951. Den sammanvägda trenden i Sverige visar på en svag ökning som inte är statistiskt signifikant.
- Antal tillfällen per år då vindhastigheten varit minst 25 m/s har minskat i sju av de 11 trianglarna sedan 1951.

- *Medelvindhastigheten har minskat i 10 av de 11 trianglarna sedan 1951. För fyra trianglar i norra Sverige är denna minskning statistiskt signifikant. Sammantaget för Sverige har medelvindhastigheten minskat med 4 %.*
- *På samma sätt har den potentiella vindenergin minskat i dessa 10 trianglar sedan 1951-talet. Minskningen är statistiskt signifikant i de fyra nordliga trianglarna. Sammantaget för Sverige har energin minskat med 7 %.*

4.3.1 Framtida extrema vindar

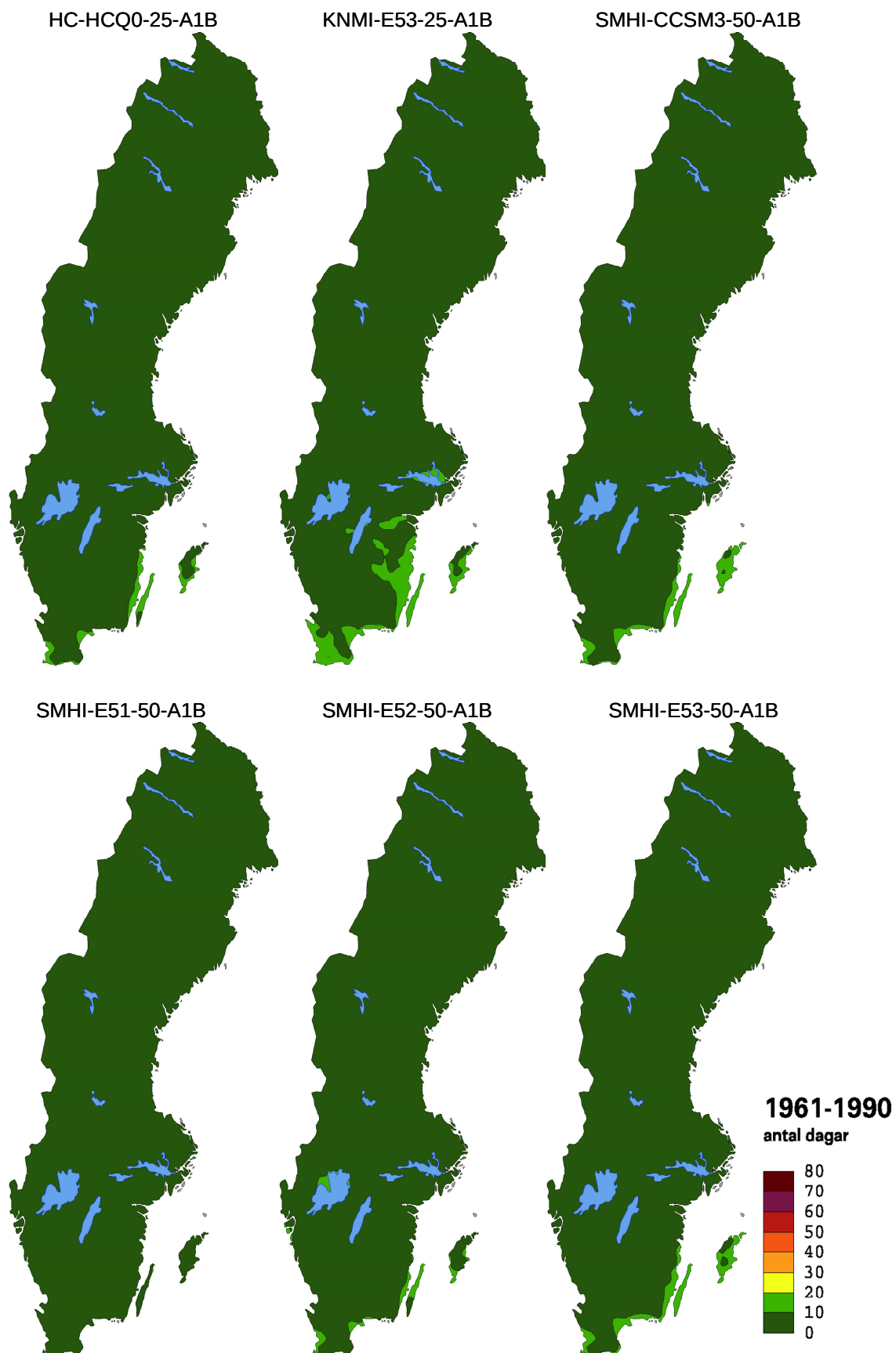
Sedan Klimat och Sårbarhetsutredningen har Nikulin m.fl (2010) studerat utvecklingen av extrema vindar över Skandinavien och Europa. De kom fram till att för den framtida utvecklingen av extrema vindförhållanden finns idag inga säkra svar, även om några modeller antyder att starka vindar kan öka över Östersjön. Dock råder det stor spridning mellan de olika modellerna. För Stockholms län går det således inte att ge några entydiga svar. Ett omfattande arbete pågår för att kartlägga vilka processer som är viktigast för att förstå utvecklingen för vindarna.

4.4 Brandrisk i ett framtida klimat

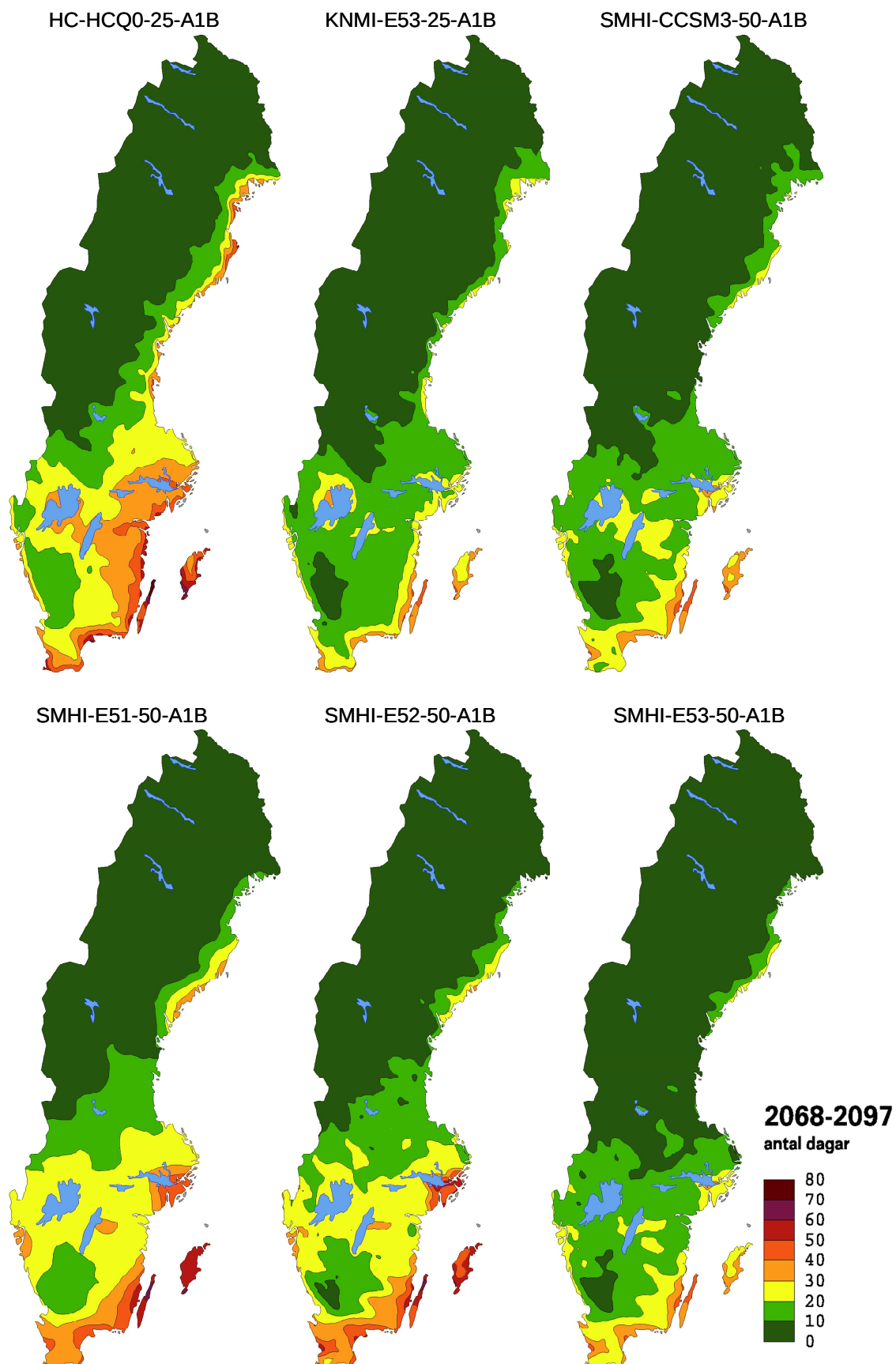
Förändringen av skogsbrandrisken i ett framtida klimat beskrivs här med kartor som kommer från ett utdrag från delrapportering av etapp 1 av det MSB-finansierade projektet *Klimatscenarier Brandrisk HBV* (Gardelin, m. fl., 2010). Figurerna nedan visar det genomsnittliga antalet dagar under sommarmånaderna då det beräknas vara hög brandrisk. De 6 olika klimatscenarier som användes kan ses i figurerna och utgör en delmängd av scenarierna i Tabell 3-1.

Figur 4-22 visar antalet dagar när beräkningarna baserats på utdata från 6 olika klimatmodeller under referensperioden 1961-1990. I större delen av landet uppnås de högsta indexnivåerna under färre än 10 dagar per säsong. I några områden är antalet dagar fler än 10, men i ingen del av landet är antalet dagar fler än 20.

Figur 4-23 visar antalet dagar med stor brandrisk gällande den framtida tidsperioden 2068-2097. Här visar alla klimatscenarierna en ökning som är mest markant i sydligaste och sydöstra Sverige, samt i några scenarier, även i norra Sveriges kustland. För Stockholms län förväntas antalet brandriskdagar öka något i ett framtida varmare klimat enligt dessa resultat. Dock bör beräkningarna tolkas med stor försiktighet då detta är material som kommer från pågående utvecklingsarbete.



Figur 4-22. Antal dagar med stor brandrisk under referensperioden 1961-1990 baserat på utdata från 6 olika klimatscenarier. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september. Från delrapportering av etapp 1 av det MSB-finansierade projektet Klimatscenarier Brandrisk HBV (Gardelin, m. fl., 2010).



Figur 4-23. Antalet dagar med stor brandrisk för scenarioperioden 2068-2097 baserat på 6 olika klimatscenarier. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september. Från delrapportering av etapp 1 av det MSB-finansierade projektet Klimatscenarier Brandrisk HBV (Gardelin, m.fl., 2010).

4.5 Klimatpåverkade flöden

4.5.1 Vattenföring i dagens klimat

Tabell 4-3 redovisar den observerade medelvattenföringen och beräknad 100-årsvattenföring i dagens klimat för de fyra vattendrag som behandlas vidare under analysen i detta kapitel.

Tabell 4-3. Årsmedelvattenföring och beräknad 100-årsvattenföring i mynningen för utvalda vattendrag i Stockholms län, dagens klimat (SMHI flödesstatistik).

Vattendrag	Medelvattenföring [m ³ /s]	100-årsvattenföring [m ³ /s]
Mälaren	170	880 *
Norrtäljeån	2,6	23
Oxundaån	1,6	18
Tyresån	2,1	22

* Med dagens utformning av Slussen, se vidare avsnitt 4.10 som behandlar Mälaren och projekt Slussen.

Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet är centrala i samband med diskussioner om högflöden, men terminologin skapar ibland missförstånd. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Infrastruktur med lång livslängd exponeras för denna risk under lång tid och således är den ackumulerade sannolikheten avsevärd. Sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. För ett objekt med en beräknad livslängd på 100 år och dimensionerad för att klara en 100-årsnivå är den ackumulerade sannolikheten för översvämning med nivåer över 100-årsnivån under denna period 63 %. Detta är skälet till att man för riskobjekt såsom t. ex. större dammar ofta sätter gränsen vid, eller t.o.m. bortom, flöden med en återkomsttid på 10 000 år. Sannolikheten under 100 års exponering uppgår då till ca 1 %. Tabell 4-4 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten under 100 år. Sannolikheter under 1 % redovisas ej.

Tabell 4-4. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Åter-komst-tid (år)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	50	97	100	100	100	100
5	20	67	89	99	100	100
10	10	41	65	88	99	100
25	4	18	34	56	87	98
50	2	10	18	33	64	87
100	1	5	10	18	39	63
1000			1	2	5	10
10 000						1

Beräkningen av 100-årsflödets storlek görs med en statistisk beräkning, sk frekvensanalys, baserad på vattenföringens årliga maxvärden från en tidsserie. Genomgående har Gumbel-fördelningen använts vid flödesanalysen, även kallad Extreme Value Type I. Resultat från en frekvensanalys måste tolkas med försiktighet. Dessa är i högsta grad beroende på mätseriens längd vilket gör att

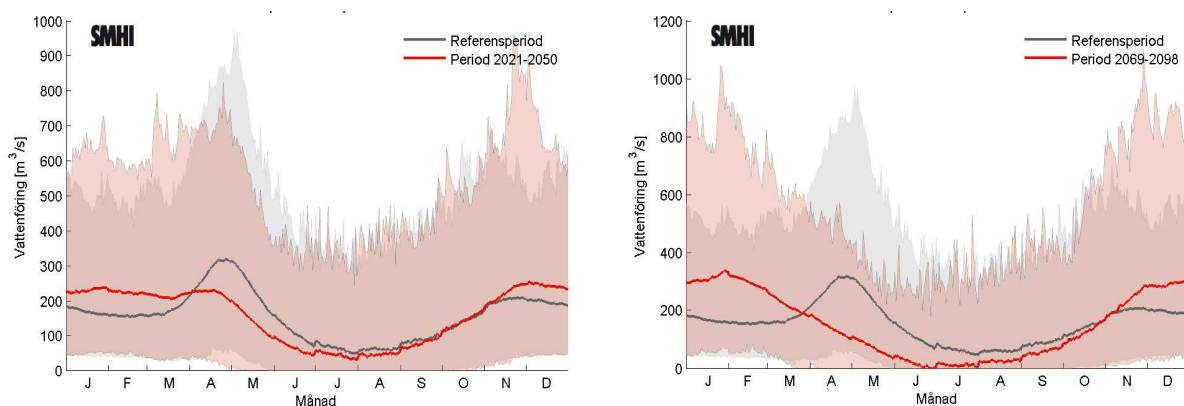
exempelvis ett 100-årsflöde ofta ändras i takt med att nya data flyter in. Beräkningarna försvåras speciellt om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendraget. För att underlätta tolkningen i ett klimatperspektiv används i denna utredning samma längd på tidsseriens längd som en standardperiod, d.v.s 30 år.

4.5.2 Framtida förändring av vattenföringens säsongsvariation

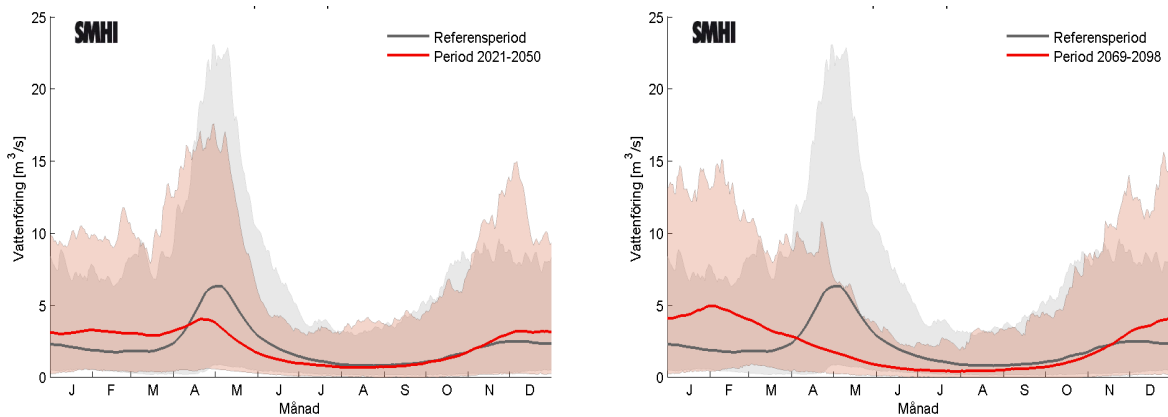
I Figur 4-24 till Figur 4-27 presenteras beräknad flödesvariation under året i Mälarens, Norrtäljeåns, Oxundaåns och Tyresåns avrinningsområden av total tillrinning för *oreglerade* förhållanden. Att total tillrinning är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten uppströms delavrinningsområdet är inräknat. Då flöde redovisas på kartor används däremot lokal tillrinning, d.v.s endast tillrinningen från varje delavrinningsområde visas.

För varje vattendrag visas perioden 2021-2050 samt 2069-2098 tillsammans med referensperioden 1963-1992. Medelvattenföringen för varje dag på året under referensperioden presenteras med en heldragen mörk linje och för den analyserade framtida perioden presenteras medelvattenföringen som en heldragen röd linje. De färgadefälten visar spannet mellan 75:e percentilen och 25:e percentilen för varje dags maximala resp. minimala värde under året av alla klimatscenarier. Grått fält visar variationen under referensperioden och rött fält visar variationen för angiven framtida period. Notera att även referensperioden 1963-1992 har beskrivits med drivdata från klimatsimuleringarna.

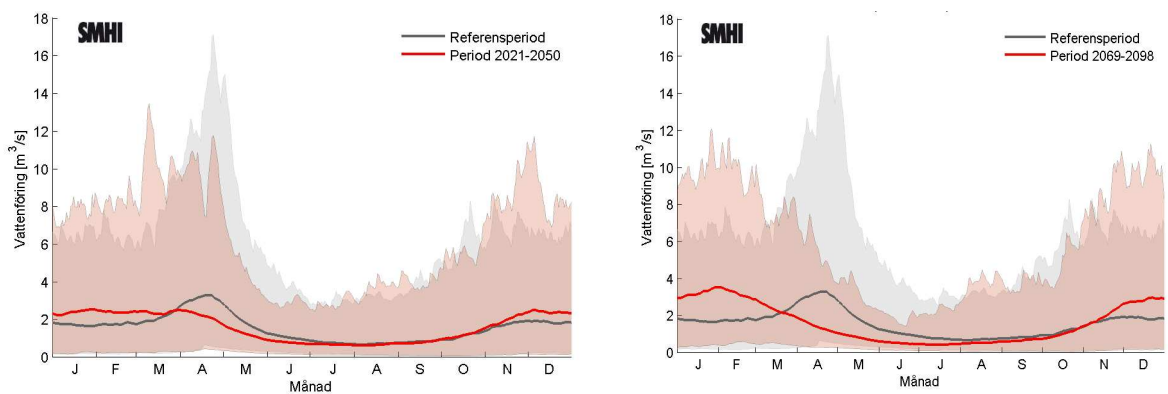
För samtliga analyserade vattendrag kan en omfördelning av flödet utläsas som blir tydligare mot slutet av seklet. Den idag tydliga årtidskaraktärstiken med låga vinterflöden och en betonad vårflood väntas ersättas av en flödesregim med högre flöden under höst och vinter och en lägre vårflood. Detta beror på ökad nederbörd vintertid vilken i mindre grad än idag kommer lagras som snö på grund av högre temperaturer. Dessa förändringar syns tydligast mot slutet av detta sekel. Medeltillrinningen vintertid för slutet av seklet väntas vara i ungefär samma storlek som referensperiodens vårfloodsmedel för de undersökta områdena. Sommartid minskar medeltillrinningen till följd av ökande temperatur och därmed ökad avdunstning, se Figur 4-24.



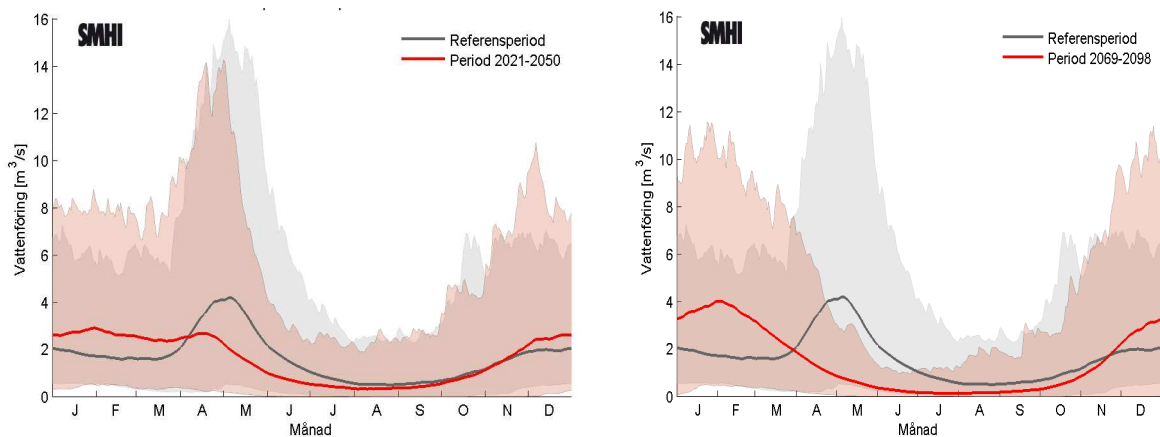
Figur 4-24. Den vänstra figuren visar ändring av säsongsdynamik för total tillrinning till **Mälaren** för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Figuren är en sammanfattning från 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Heldragen svart linje visar medeltillrinning för referensperioden och heldragen röd linje visar medeltillrinning för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna.



Figur 4-25. Den vänstra figuren visar ändring av säsongsdynamik för total tillrinning till **Norrtäljeån** för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Figuren är en sammanfattning från 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Helledragen svart linje visar medeltillrinning för referensperioden och helledragen röd linje visar medeltillrinning för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna.



Figur 4-26. Den vänstra figuren visar ändring av säsongsdynamik för total tillrinning till **Oxundaån** för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Figuren är en sammanfattning från 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Helledragen svart linje visar medeltillrinning för referensperioden och helledragen röd linje visar medeltillrinning för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna.



Figur 4-27. Den vänstra figuren visar ändring av säsongsdynamik för total tillrinning till **Tyresån** för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Figuren är en sammanfattning från 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Helden svart linje visar medeltillrinning för referensperioden och heldragen röd linje visar medeltillrinning för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna.

4.5.3 Framtida förändring av medelvattenföring

Analys av klimatpåverkad framtida medelvattenföringar för vattendrag i Stockholms län presenteras i följande avsnitt.

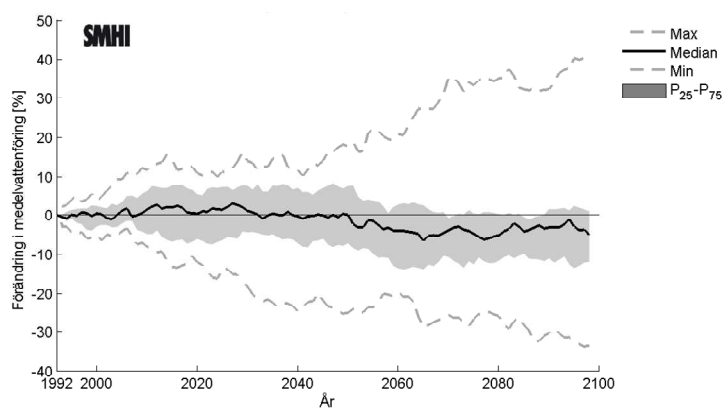
Generellt väntas den sammantagna årsmedeltillrinningen inte förändras i hög grad. Säsongvis syns däremot en tydlig ökning vintertid och en klar minskning under vår och sommar, till följd av den förändrade flödesregimen under året.

4.5.3.1 Framtida årsmedelvattenföring och säsongsmåttvattenföring

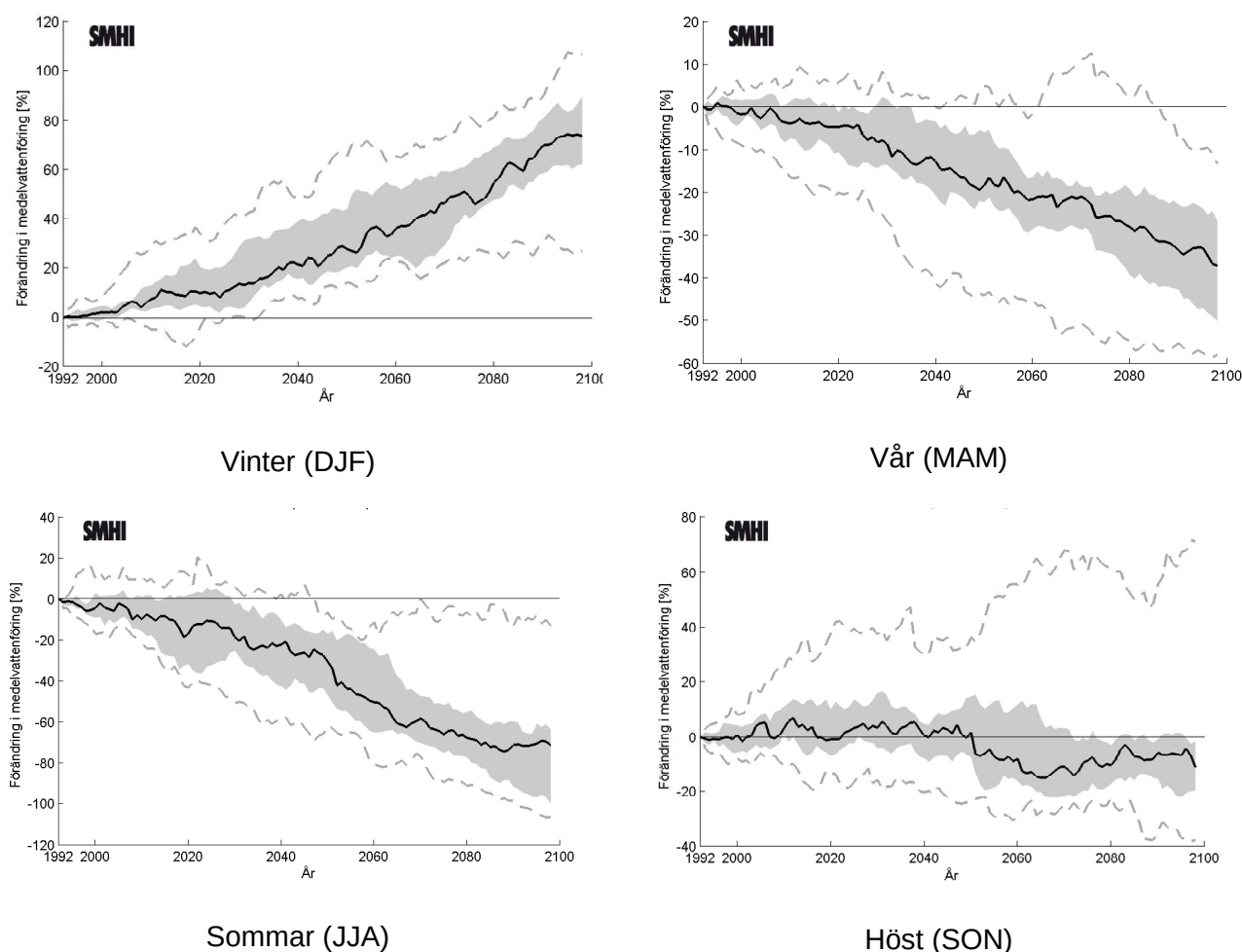
Figur 4-28 till Figur 4-35 visar medianvärdet av förändringen av total medelvattenföring på årsbasis samt säsongvis i Mälaren, Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresån för samtliga klimatscenarioer under detta sekel relativt referensperioden 1963-1992. I samma figurer visas även maxvärde, minvärde, 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers medelvattenföring för samma perioder. I figurerna visas total tillrinning, d.v.s det vatten som tillkommer från uppströms avrinningsområden tillsammans med tillrinningen från respektive delavrinningsområde (den lokala tillrinningen). Detta bildar vattenföringen i det sammanlagda avrinningsområdet utloppspunkt. Se Appendix A, Figur 7-1 till Figur 7-4, för redovisning av samtliga enskilda klimatscenarioer.

Medeltillrinningen har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (d.v.s 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarioer. Medeltillrinningen beräknat för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknad medeltillrinning för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på medeltillrinningen uttrycks i procent.

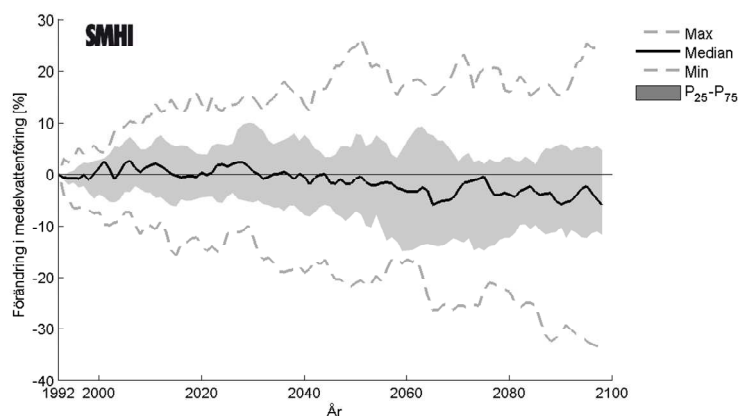
Årsmedelvattenföringen förväntas inte förändras i någon större grad. Fram till år 2050 är förändringen obetydlig. Mot slutet av seklet visar beräkningarna endast en mycket svag nedåtgående trend för Mälaren och Norrtäljeån (mindre än 5 % lägre än idag), Oxundaån visar en svagt ökande trend (mindre än 5 % högre än idag) medan Tyresån visar på en minskande trend mot slutet av seklet med ca 10 %. Säsongvis syns däremot en tydlig ökning vintertid och en minskning under vår och sommar för samtliga områden. Detta som en följd av den förändrade flödesregimen under året.



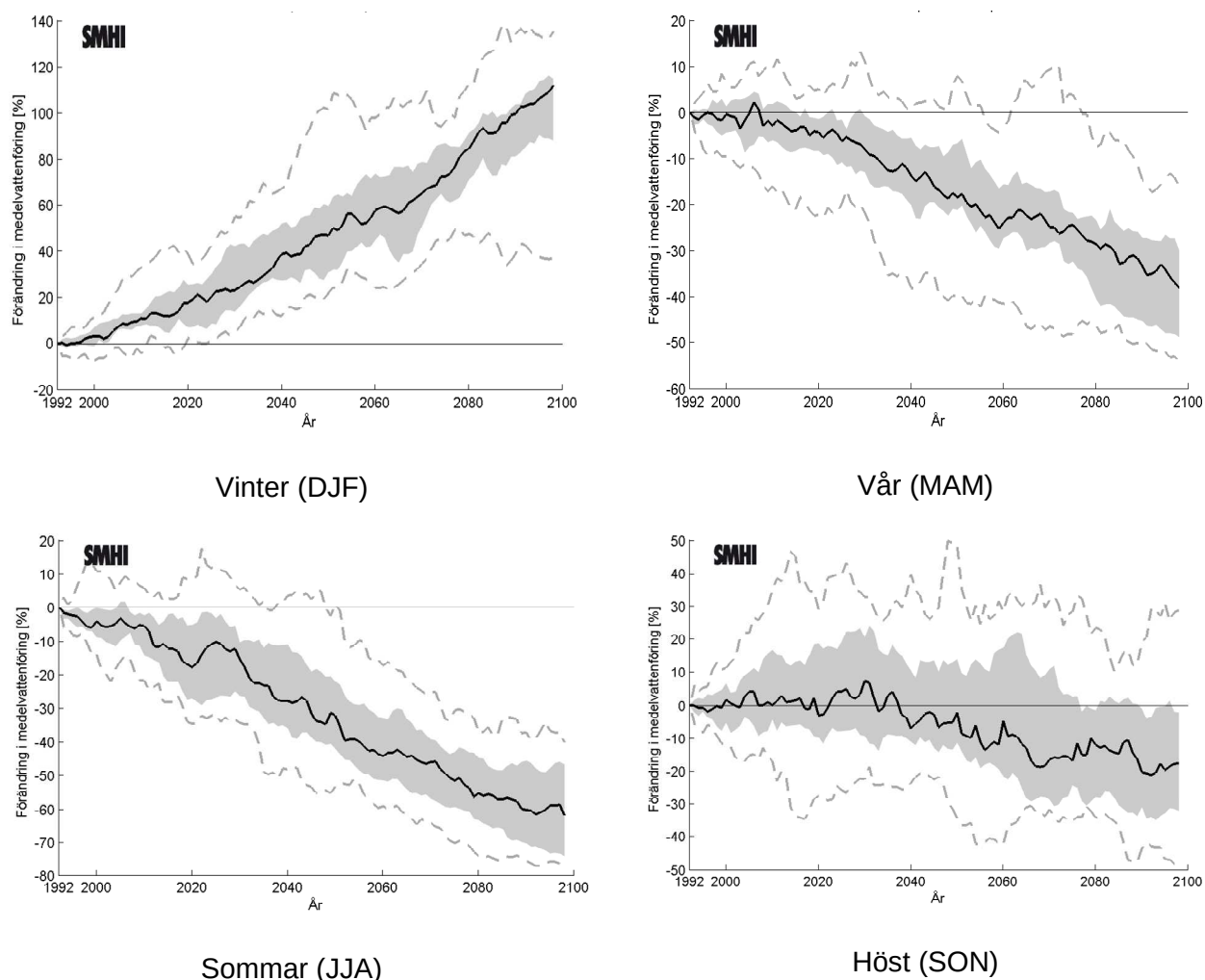
Figur 4-28. Procentuell förändring av **Mälarens** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



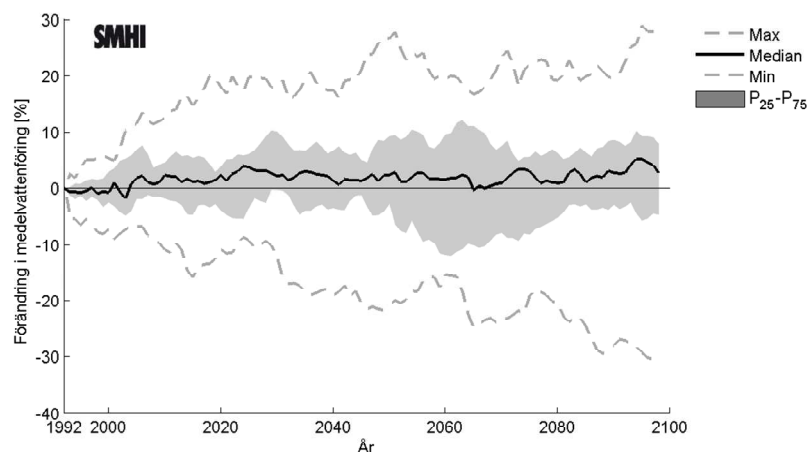
Figur 4-29. Procentuell förändring av **Mälarens** totala säsongsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



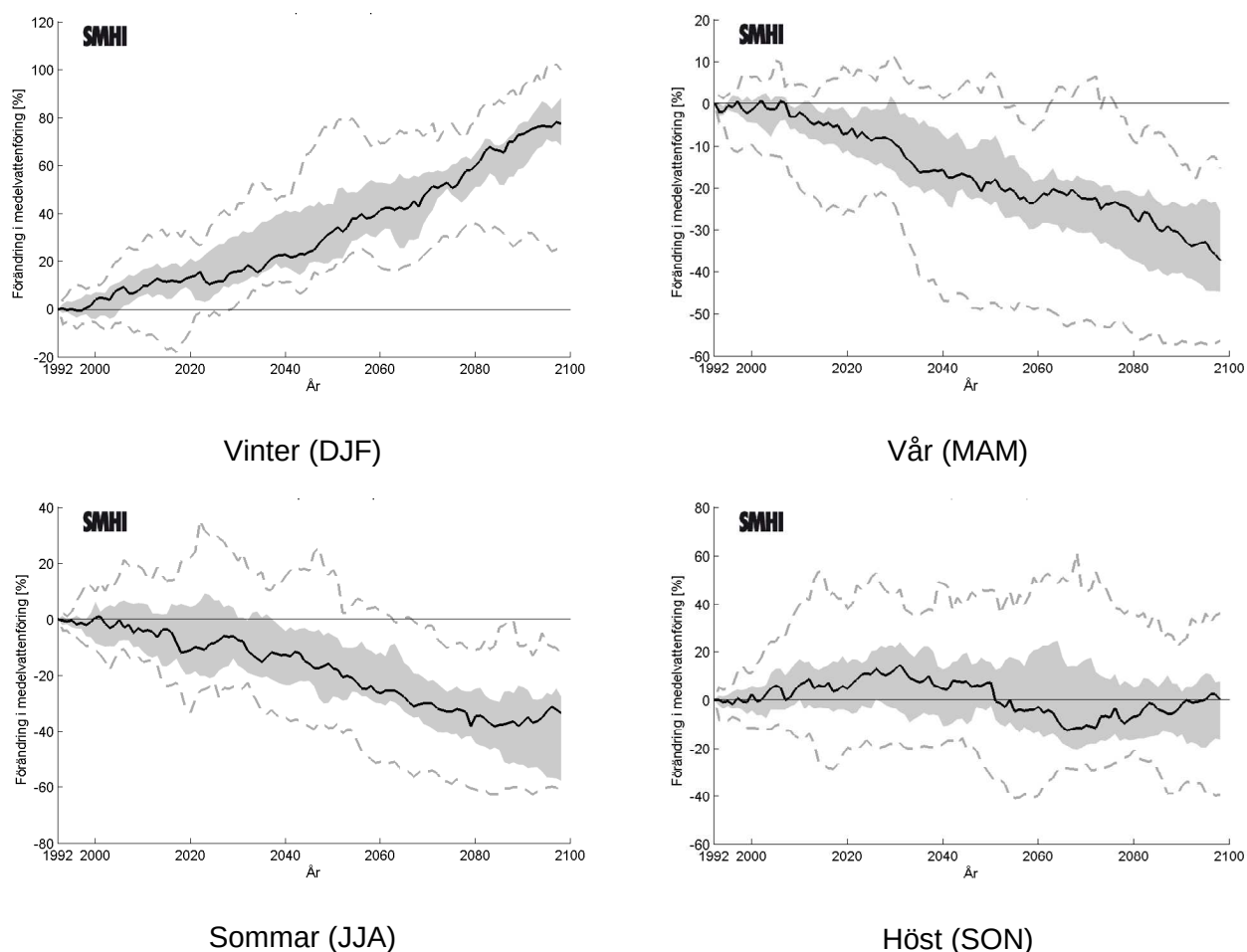
Figur 4-30. Procentuell förändring av **Norrtäljeåns** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



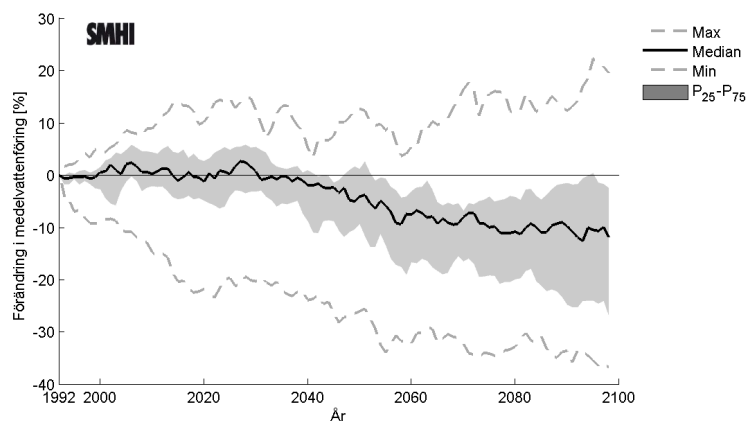
Figur 4-31. Procentuell förändring av **Norrtäljeåns** totala säsongmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



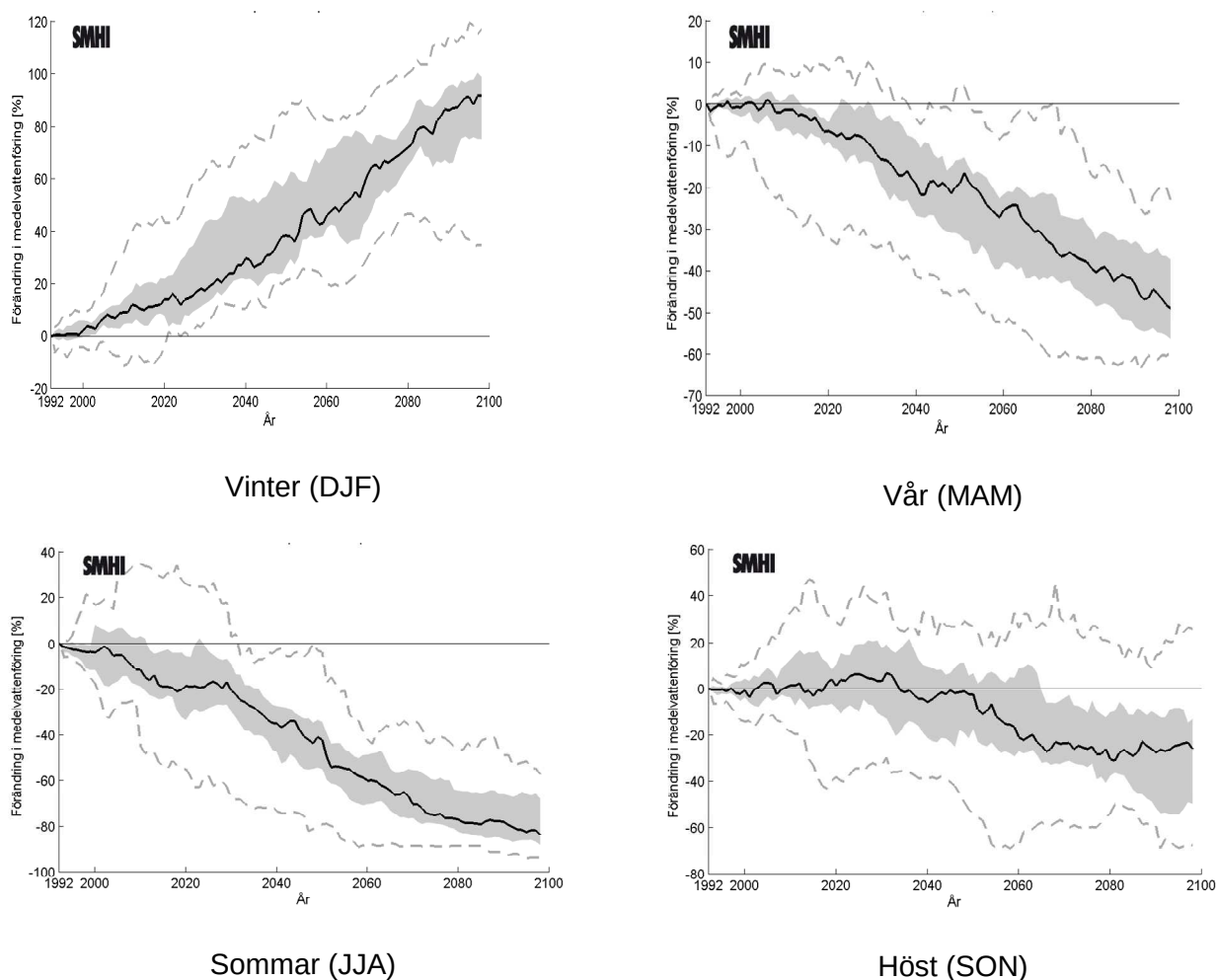
Figur 4-32. Procentuell förändring av **Oxundaåns** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



Figur 4-33. Procentuell förändring av **Oxundaåns** totala säsongmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



Figur 4-34. Procentuell förändring av **Tyresåns** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarioer.



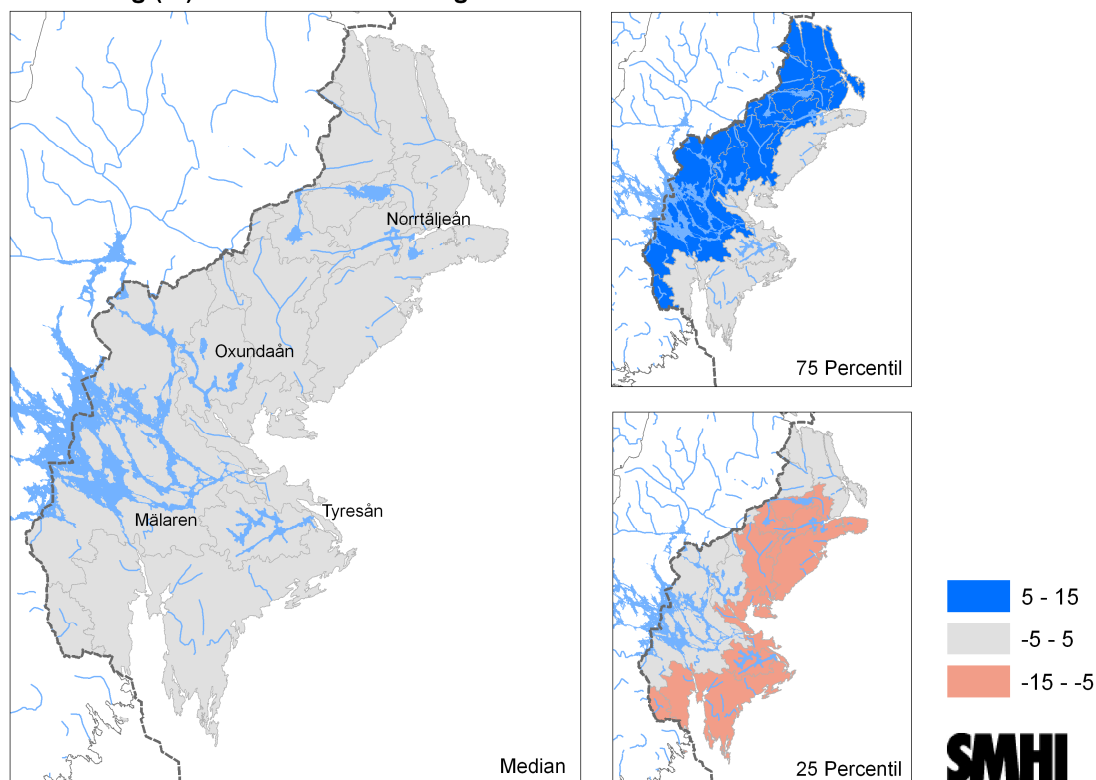
Figur 4-35. Procentuell förändring av **Tyresåns** totala säsongensmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Observera att det är olika skala på figurerna. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. De streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarioer.

I Figur 4-36 och Figur 4-37 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den lokala medelårstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedeltillrinning för samma perioder.

I kartbilderna visas den lokala tillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde visas, till skillnad från den totala tillrinningen då hela flödesbidraget från uppströms avrinningsområden är medtagen och som visas i graferna för säsongsvariation och medeltillrinning. Detta ger en bild av hur mindre vattendrag påverkas, vars tillrinning endast beror av lokala förhållanden.

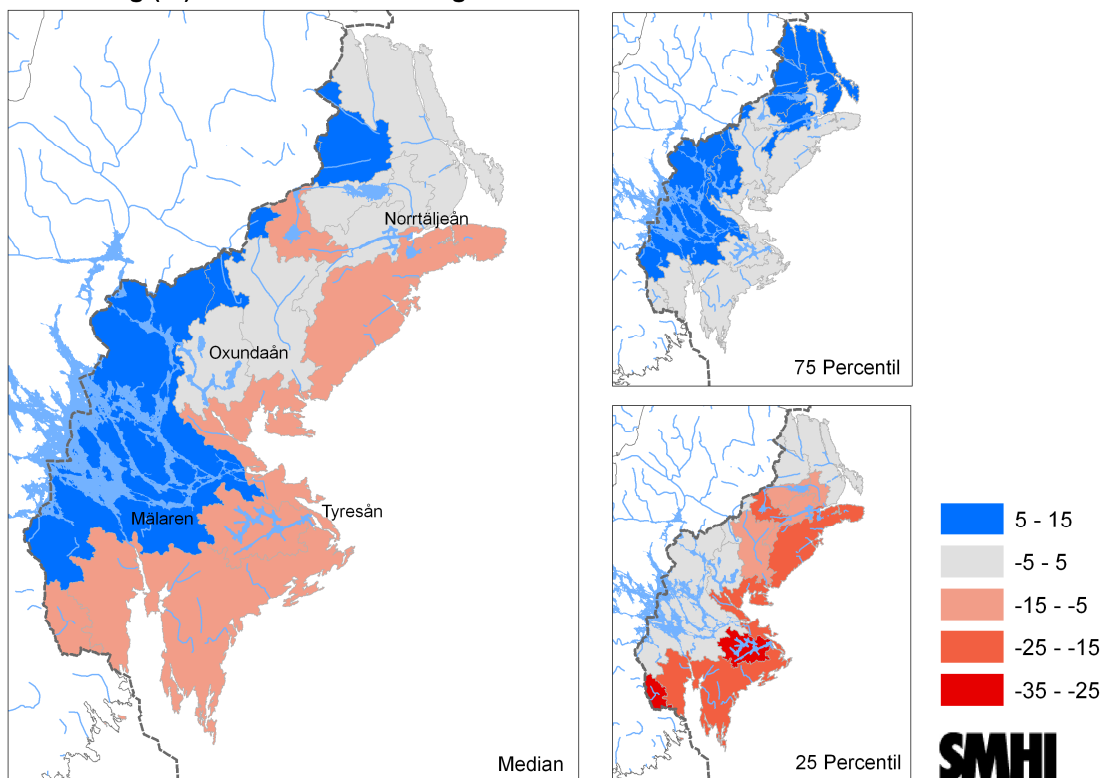
För perioden 2021-2050 väntas ingen stor förändring av lokal tillrinning i länet som helhet. Mot slutet av seklet förekommer områden med både ökande och minskande lokal tillrinning, förändringarna är dock inte större än ± 15 %.

Förändring (%) av årsmedeltillrinning beräknat för år 2021 - 2050



Figur 4-36. Förändring av lokal årsmedeltillrinning i olika delar av **Stockholms län** för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

Förändring (%) av årsmedeltillrinning beräknat för år 2069 - 2098



Figur 4-37. Förändring av lokal årsmedeltillrinning i olika delar av **Stockholms län** för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

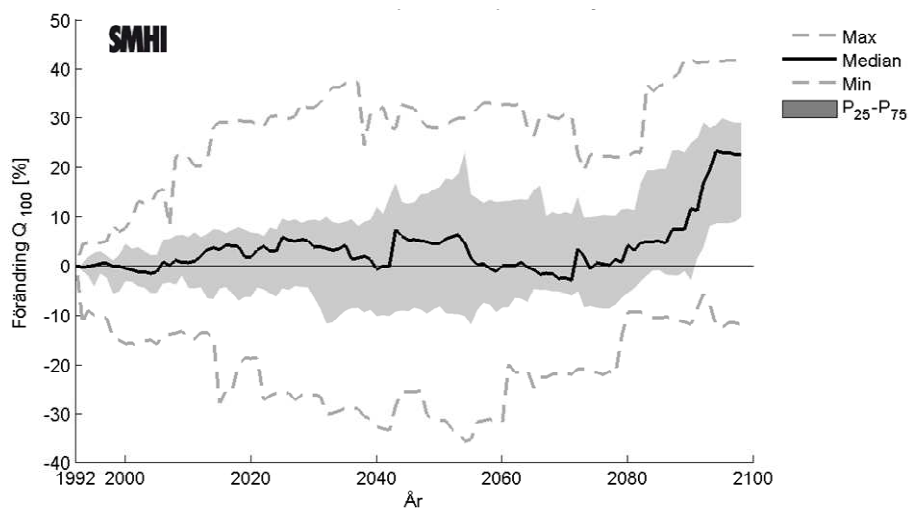
4.5.4 100-årsflöden

4.5.4.1 Förändring av 100-årsflödets storlek i framtida klimat

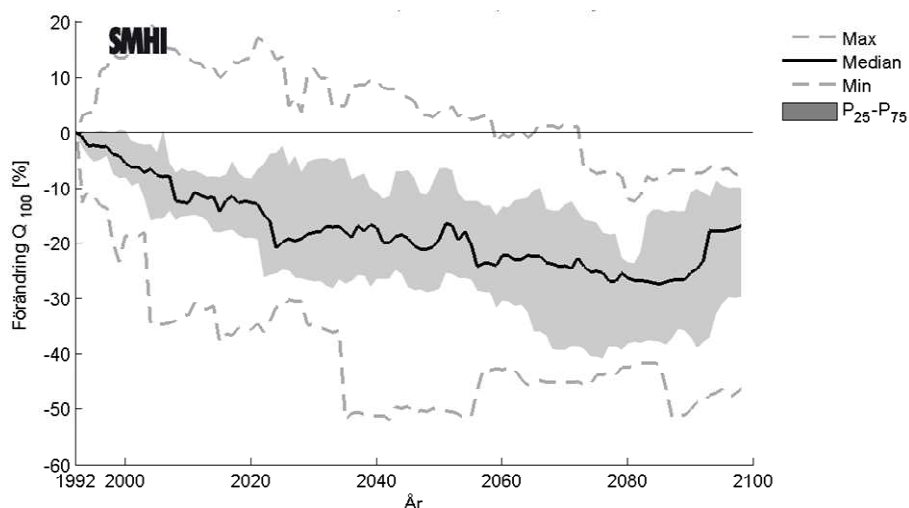
I Figur 4-38 till Figur 4-41 presenteras hundraårsflöden beräknade för områdena Mälaren, Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresån. Beräkningarna är gjorda för *oreglerade* förhållanden på total tillrinning. Att total tillrinning är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten uppströms delavrinningsområdet är inräknat. Se Appendix A, Figur 7-5 till Figur 7-8, för redovisning av samtliga enskilda klimatscenarier.

100-årsflöden har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (d.v.s 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. 100-årsflödet beräknat för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknade 100-årsflöden för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på 100-årsflödet uttrycks i procent.

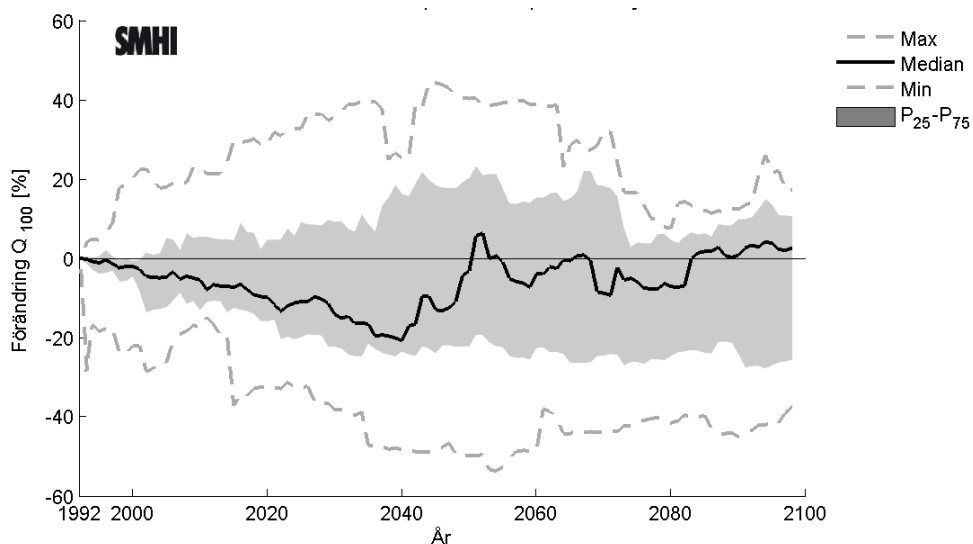
Oxundaåns totala 100-årstillrinning väntas vara oförändrad medan Tyresån och Norrtäljeån väntas få en minskning med ca 20 % mot slutet av seklet. För Norrtäljeån syns en ganska tydlig minskning redan i mitten av seklet. Mälaren utgör ett undantag då totala 100-årstillrinningen väntas öka med ca 20 % mot slutet av detta sekel. Spridningen mellan beräkningarna är stor vilket syns i skillnaden mellan min- och maxvärde i figurena.



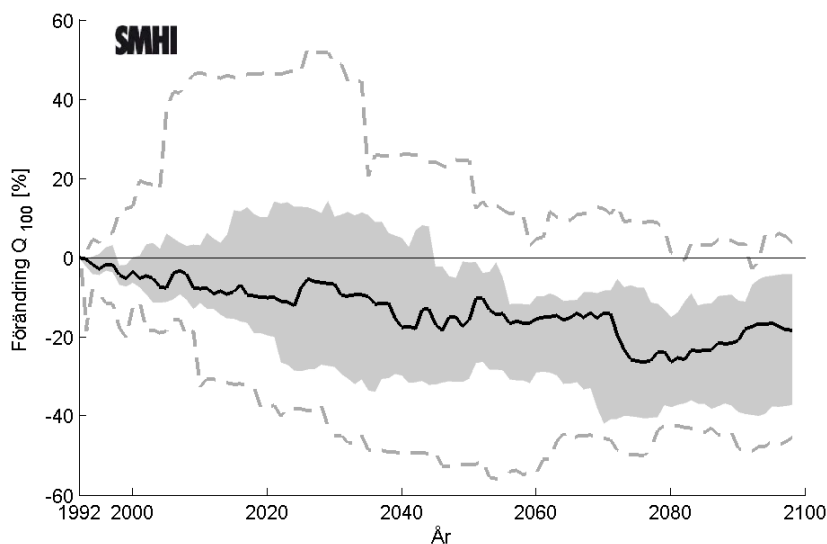
Figur 4-38. Procentuell förändring av **Mälarens** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



Figur 4-39. Procentuell förändring av **Norrtäljeåns** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



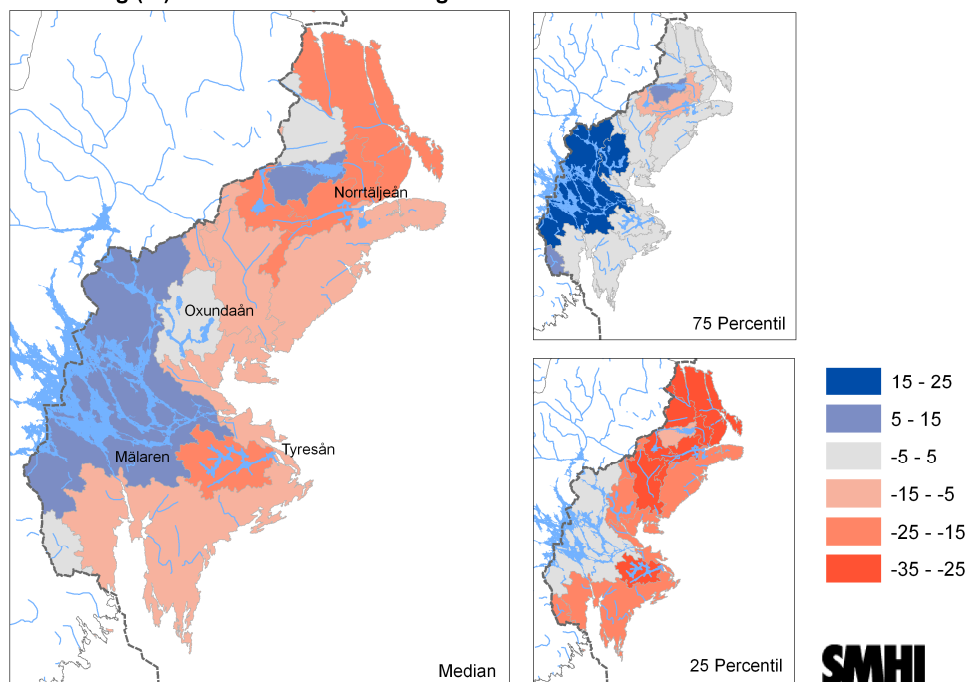
Figur 4-40. Procentuell förändring av **Oxundaåns** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



Figur 4-41. Procentuell förändring av **Tyresåns** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.

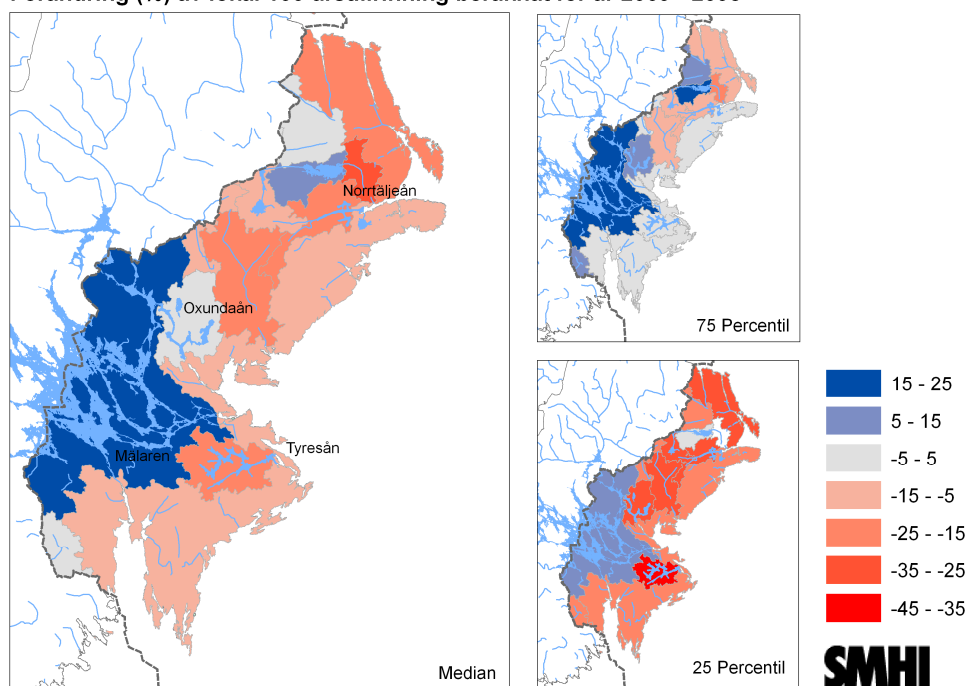
I Figur 4-42 och Figur 4-43 visas i kartform medianvärdet av förändringen av lokal 100-årstillrinning i hela länet bland samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e och 75:e-percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden för samma perioder.

Förändring (%) av lokal 100-årstillrinning beräknat för år 2021 - 2050



Figur 4-42. Förändring av lokal 100-årstillrinning i olika delar av **Stockholms län** för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-åsvärden. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

Förändring (%) av lokal 100-årstillrinning beräknat för år 2069 - 2098



Figur 4-43. Förändring av lokal 100-årstillrinning i **Stockholms län** för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-åsvärden. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

4.5.4.2 Framtida återkomsttid för dagens lokala 100-årsflöden

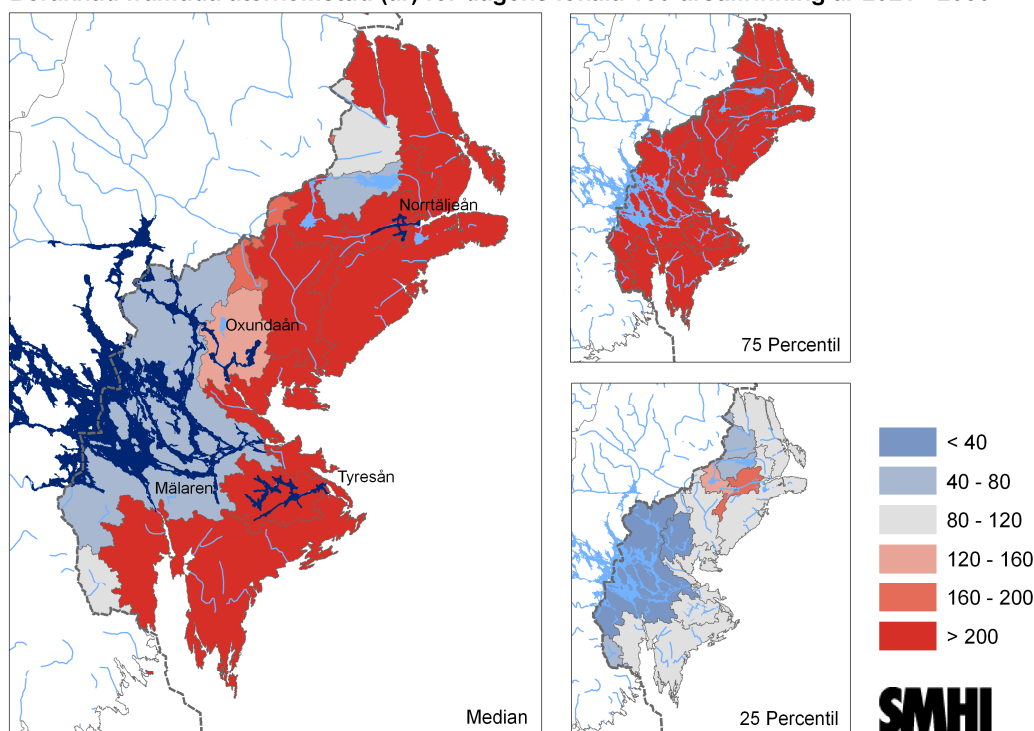
I Figur 4-44 och Figur 4-45 visas i kartform återkomsttider för dagens lokala 100-årstillrinning i framtida klimat. Framtida ny återkomsttid för dagens hundraårsflöden har beräknats genom att kombinera frekvensanalys under referensperioden med analyser för två framtida perioder. Metoden för beräkning av ny återkomsttid fokuserar på att beskriva förändringen noggrant i områden där klimatscenerierna tyder på ökad storlek på extremflöden, d.v.s områden där dagens hundraårsflöden förväntas få en återkomsttid som är mindre än hundra år. I områden där klimatscenerierna tyder på minskad storlek på extremflöden, d.v.s områden där dagens hundraårsflöden förväntas få en återkomsttid som är större än hundra år är resultaten mer översiktliga.

I kartfigurerna syns att för större delen av länet kommer återkomsttiden för lokal tillrinning med storlek som dagens 100-årsflöde att öka, både fram till mitten och mot slutet av seklet. I de flesta fall erhålls en återkomsttid på över 200 år i slutet av seklet (medianen av klimatscenario-ensemblen).

För Oxundaån är återkomsttiden ganska oförändrad, 80 -120 år för slutet av seklet. Tyresån liksom Norrtäljeån väntas få ökade återkomsttider, större än 200 år, för slutet av seklet, det vill säga minskande 100-årstillrinning.

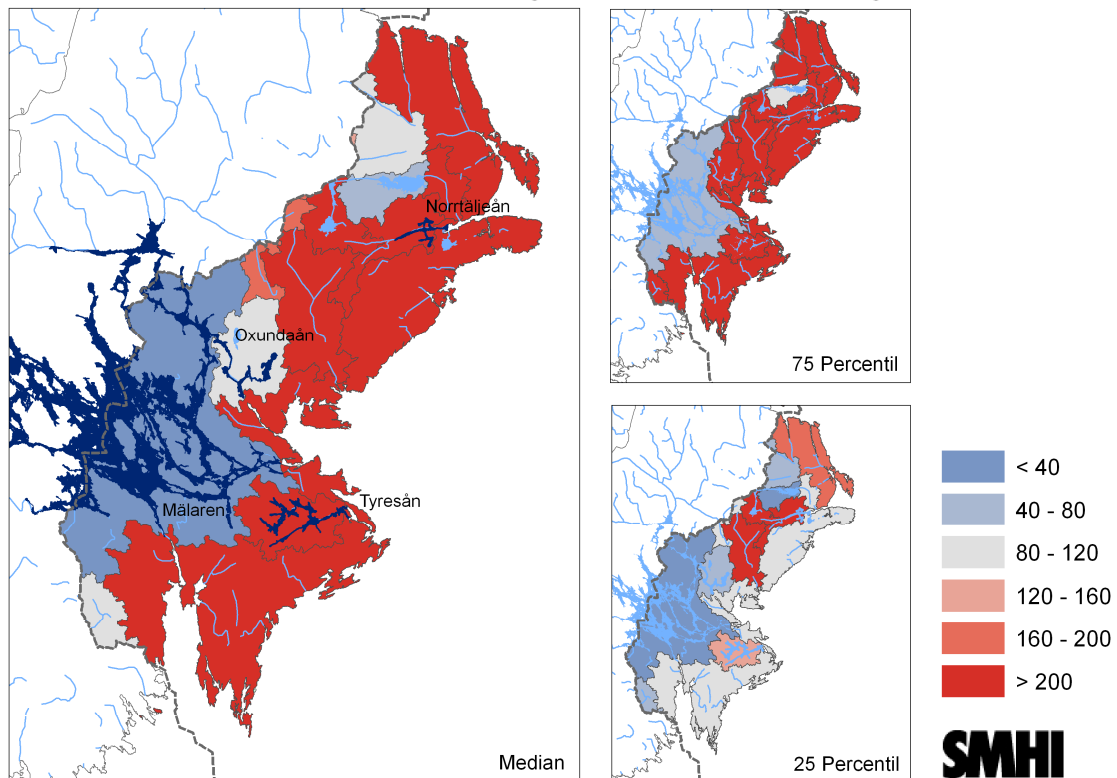
Mälaren utgör ett specialfall. Det område som i kartan utgör en del av det lokala tillrinningsområdet till Mälaren är mycket större än vad som visas i figuren. Det sträcker sig som en remsa kring hela Mälarens kust och avspeglar därför inte enbart de lokala förhållandena i Stockholms län. Det är också viktigt att notera att det inte är Mälarens totala tillrinning som avses. Denna visas istället i Figur 4-38. Den lokala tillrinningen från vattendrag i Mälarens kustremsa visar på en ökning av 100-årsflöden, vilket resulterar i en kortare återkomsttid för dagens 100-årsflöde, storleksordningen 40-80 år i mitten av seklet och mindre än 40 år mot slutet av seklet. Mälaren diskuteras utförligare i kapitel 4.10.

Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning år 2021 - 2050



Figur 4-44. Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning perioden 2021–2050 jämfört med referensperioden 1963–1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers framtida återkomsttid. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning år 2069 - 2098



Figur 4-45. Beräknad framtida återkomsttid (år) för dagens lokala 100-årstillrinning perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers framtida återkomsttid. I kartan är de översiktligt översvämningskarterade vattendragen särskilt markerade.

4.6 Snö

4.6.1 Framtida maximalt snötäcke under året

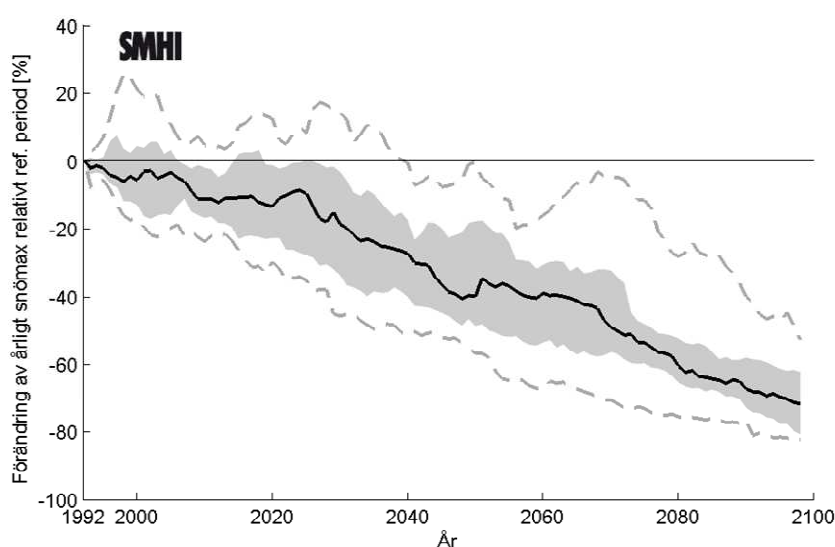
I Figur 4-46 till Figur 4-49 visas förändringen för medel av snömax (vatteninnehållet i snön under det dygn med beräknat störst snötäcke, d.v.s varje års maximala snötäcke) under glidande 30-årsperioder jämfört med referensperiodens (1963 - 1992) medel av maximalt vatteninnehåll i snön. Resultat visas för Mälaren, Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresåns avrinningsområden. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Se Appendix A, Figur 7-9 till Figur 7-12, för redovisning av samtliga enskilda klimatscenarier.

Medel av observerat största snödjup under referensperioden 1961-1990 var för Stockholms län ungefär 30 – 40 cm för samtliga beräknade områden (Raab och Vedin, 2004a). Beräknat snömax för referensperiod och beräknad förändring av snömax mot slutet av detta sekel redovisas i tabell 4-5. Observera att utförda beräkningar är gjorda på millimeter vatteninnehåll och inte i faktiskt snödjup som observationerna är uppmätta i, varför observationer och beräkningar inte kan jämföras rakt av.

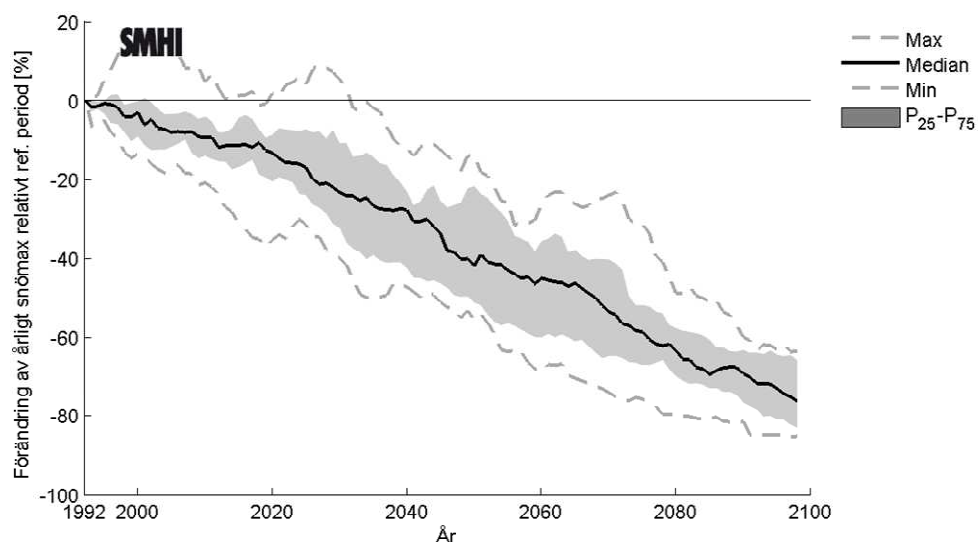
Resultaten från klimatscenarierna visar på att största snömängden kommer att minska för Stockholms län. Medianförändringen av scenarioensemblen visar för samtliga studerade områden ca 40 % minskning till mitten av seklet och ca 70 % fram mot slutet av seklet (något mer för Tyresån, ca 50 % respektive ca 80 %).

Tabell 4-5. Beräknat snömax (mm vatteninnehåll) under referensperioden och beräknad förändring (%) för perioden 2069 – 2098.

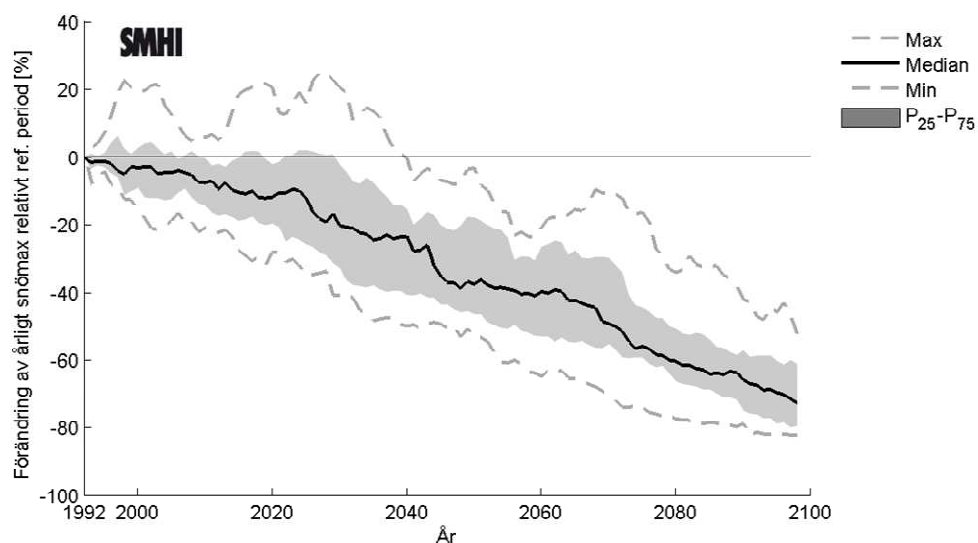
Avrinningsområde	Ungefärligt medel av beräknad snömax för referensperioden 1963 - 1992	Ungefärlig beräknad förändring av snömax för perioden 2069 – 2098
Mälaren	45 mm	70 %
Norrtäljeån	80 mm	70 %
Oxundaån	50 mm	70 %
Tyresån	80 mm	80 %



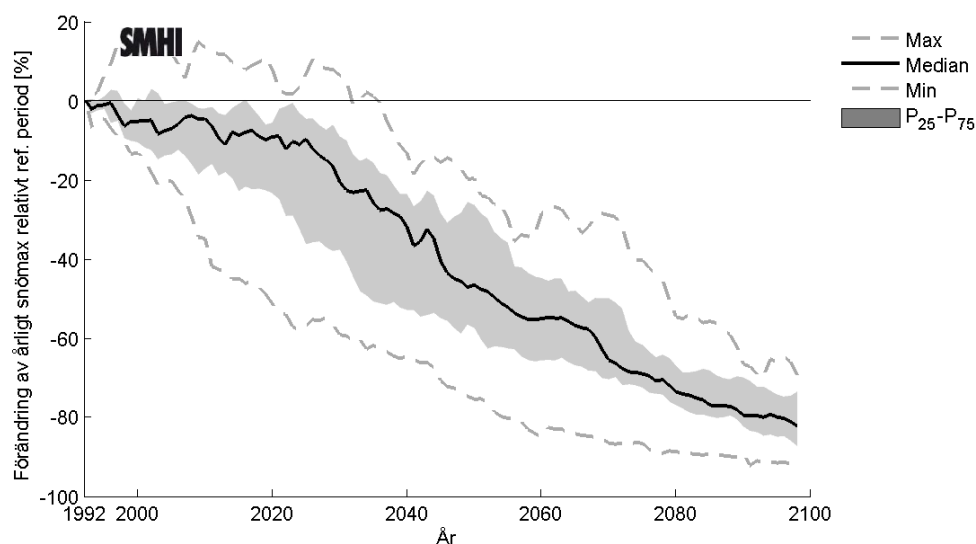
Figur 4-46. Beräknad framtida förändring av snömax för **Mälarens** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är ca 45 mm.



Figur 4-47. Beräknad förändring av snömax för **Norrtäljeåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är 80 mm.



Figur 4-48. Beräknad förändring av snömax för **Oxundaåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är 50 mm.



Figur 4-49. Beräknad förändring av snömax för **Tyresåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är 80 mm.

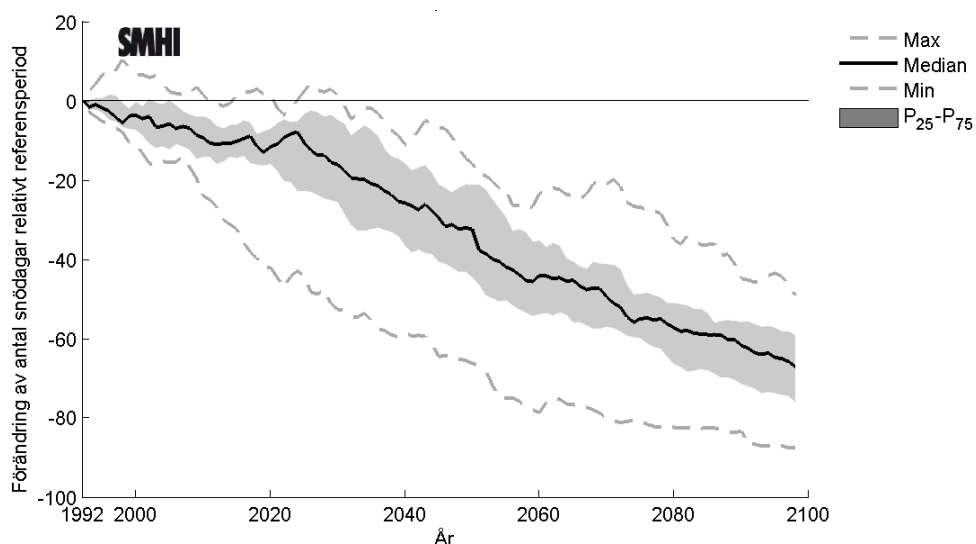
4.6.2 Framtida antal snödag

Förändringen av antal dagar per år med snötäcke visas för Mälaren, Norrtäljeån, Oxundaån och Tyresåns avrinningsområden i Figur 4-50 till Figur 4-53. I graferna visas medel av antal snödag (antal dagar med snötäcke med vatteninnehåll > 5 mm) under glidande 30-årsperioder jämfört med referensperiodens (1963 - 1992) medel av antal snödag. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Se Appendix A, Figur 7-13 till Figur 7-16, där enskilda klimatscenarier visas.

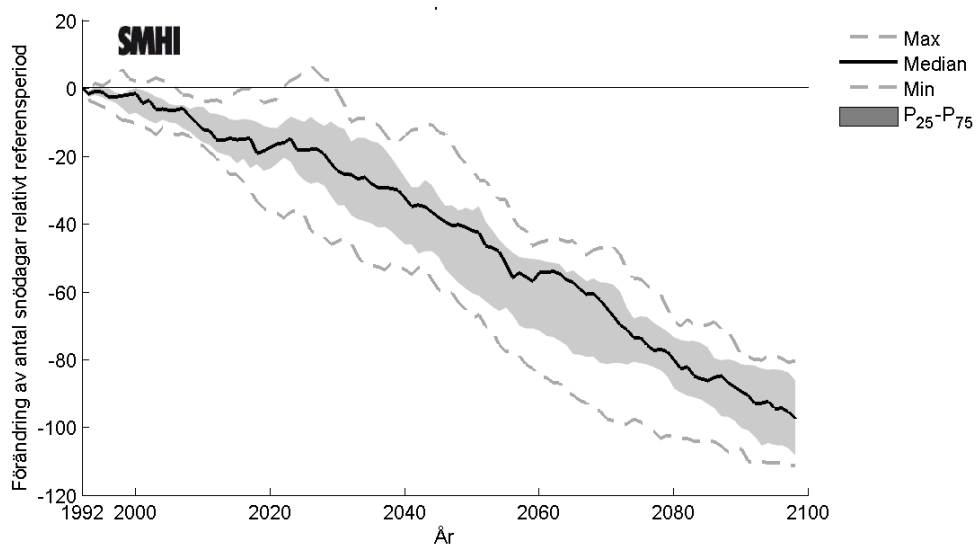
Medel av antal observerade snödag under referensperioden 1961-1990 var för Stockholms län mellan 75 och 125 dagar beroende på vilket område som studeras (Raab och Vedin, 2004b). Detta stämmer relativt väl med de resultat som erhöles från de hydrologiska klimatberäkningarna, se Tabell 4-6. Resultaten från beräkningarna visar att antalet snödag kommer att minska för Stockholms län med mellan 65 till 100 dagar för medianen av klimatscenarioerna beroende på vilket område som studeras, se Tabell 4-6.

Tabell 4-6. Observerade och beräknade antal snödag under referensperioden samt beräknad förändring av antal snödag mot slutet av detta sekel.

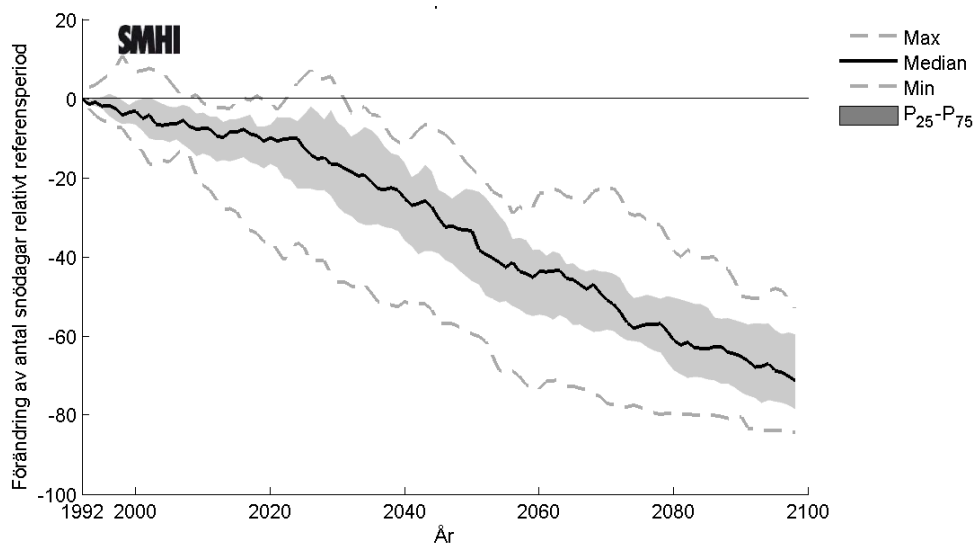
Avrinningsområde	Medel av observerade antal snödag under referensperioden 1961 - 1990	Medel av beräknade antal snödag under referensperioden 1963 - 1992	Ungefärlig beräknad minskning av antal snödag för perioden 2069 – 2098
Mälaren	75 - 100	80	65
Norrtäljeån	100 - 125	120	100
Oxundaån	75 - 100	85	70
Tyresån	75 - 100	110	100



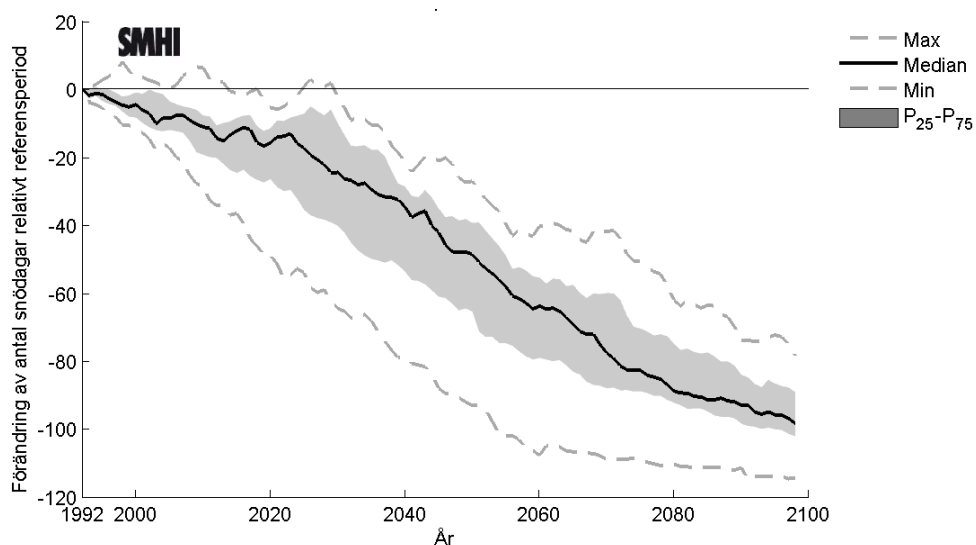
Figur 4-50. Beräknad förändring av snö dagar för **Mälarens** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snö dagar under referensperioden är 75 – 100 dagar.



Figur 4-51. Beräknad förändring av snö dagar för **Norrtäljeåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snö dagar under referensperioden är 100 – 125 dagar.



Figur 4-52. Beräknad förändring av snö dagar för **Oxundaåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snö dagar under referensperioden är 75 – 100 dagar.



Figur 4-53. Beräknad förändring av snö dagar för **Tyresåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snö dagar under referensperioden är 75 – 100 dagar.

4.7 Tjäle

Texten inom detta avsnitt är en sammanfattning från tidigare utredningar.

I Sverige fryser marken regelbundet under vintern. Marken kan betraktas som ett system bestående av tre faser. En fast fas bestående av mineral och organiskt material och därefter av en vattenfas och en luftfas. Vatten och luftandelarna ändras med tiden. För att förstå tjälen krävs ytterligare en tidsvariabel av den fasta fasen, isen. Andelarnas storlek beror på värme- och vattentransport i marken.

Normalt övergår vatten till is vid 0 °C. Lösta salter förekommer och medför att vattnet fryser i ett intervall från 0 °C till flera minusgrader. Det finns ett linjärt samband mellan fryspunktens temperatur och vattnets bindningspotential i marken. Således förekommer det stora skillnader mellan tjäle i ler, silt och sandjordar.

I grovkorniga jordarter som sand blir tjälen massiv. Detta innebär att zonen med vätska, is och luft blir begränsad. Nästan allt vatten fryser vid 0 °C. I grovkorniga jordar är gränssytan skarp mellan fuktiga och torra skikt, och vattentransporten är obetydlig. I finkorniga jordarter som leror bildas en israndig struktur. Tjälen bildas i skikt av is som är omgärdad av jord som inte innehåller is. För grovkorniga jordarter tillväxer tjälen på bred front successivt djupare ner. I finkorniga jordar är tillväxten mycket diffus.

Det sker som regel ingen volymsutvidgning i grovkorniga jordar. När vatten utvidgas till is motsvarar detta en ökning på ca 10 procent. En helt vattenfylld sand med en porositet på 50 volymprocent kan maximalt utvidgas ca 5 procent. Den tjälskjutning som kan orsaka svåra problem beror alltså inte på vattnets utvidgning, utan beror på omfördelning av vattnet i marken i samband med tjälens tillväxt. Utveckling av islinser är direkt kopplad till tjälskjutning. Faktorer som påverkar tjälskjutning är: kapillär transport i jorden; långsam avkylning samt god tillgång på vatten. I mjäla- och finmojordar kan islinser få ansevärd dimensioner (1-2 dm).

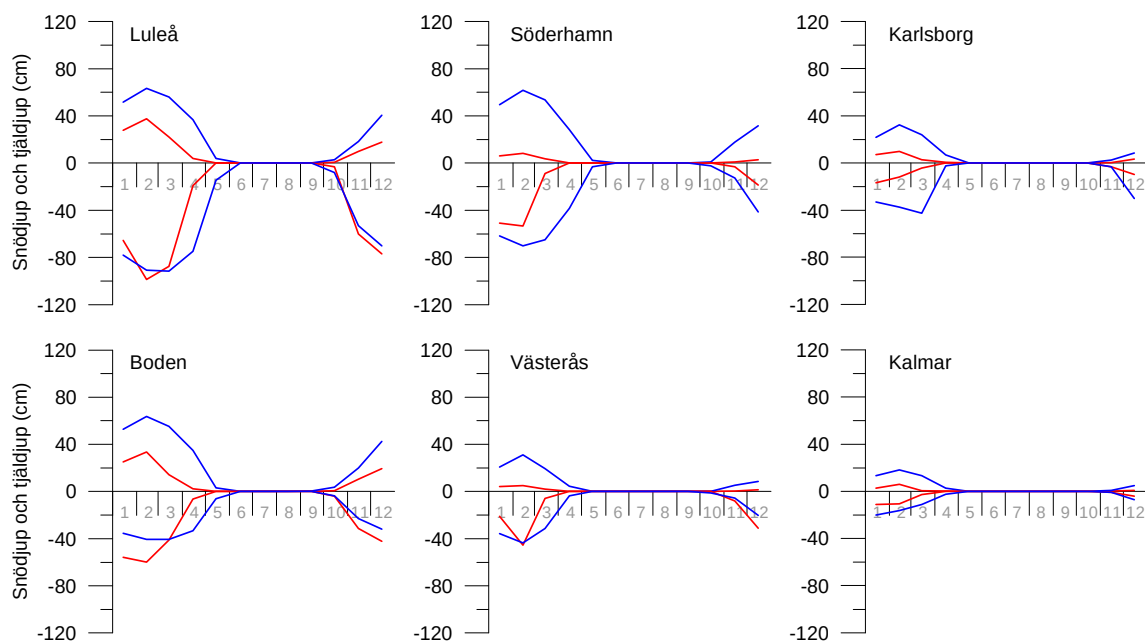
Om marken är snötäckt försvåras värmetransporten från tjälfronten till atmosfären. Snön har alltså en isolerande förmåga. Markvegetation och humuslager har också en isolerande effekt och hämmar tjälens tillväxt (SLU, 1998).

Det är dyrare att bygga vägar och hus på mark som tjälas, eftersom basen av konstruktionen måste ligga under det maximala tjäldjupet. Timmer kan huggas och fraktas på tjälad mark från platser där otjälad mark inte har bärighet. Tunga maskiner kan skada trädens rötter på otjälad mark. I tjälad mark är träden också mer förankrade och kan motstå stormar (SWECLIM, 2001).

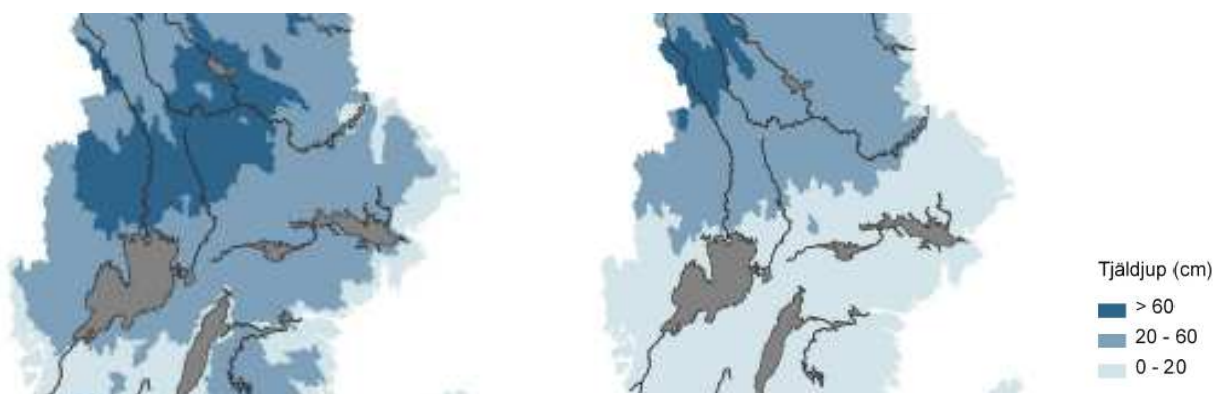
4.7.1 Tjäle och framtida klimat

På uppdrag av klimat- sårbarhetsutredningen har SMHI utfört känslighetsstudier på hur tjäldjupet kan påverkas av en temperaturhöjning. En hydrologisk modell, HBV-modellen har använts. Modellen har kalibrerats mot uppmätt snödjup och tjäldjup. Av mätplatserna var tre belägna i lerjordar och tre i sandjordar. Som referens användes månadsmedelvärden för perioden 1967-1980, som ansågs beskriva dagens klimat. Simuleringar gjordes med en temperaturökning på 3 °C över hela landet. Noggrannheten i tjäldjupsberäkningarna är låg och det bedömdes inte meningsfullt att göra fullständiga scenariosimuleringar (Lindström och Hellström, 2007).

I sandjordar utvecklas tjälen djupare än i lerjordarna. Figur 4-54 visar snödjup och tjäldjupsimuleringar efter en temperaturökning på 3 °C. Västerås är den plats som bäst liknar förhållanden för Stockholms län. Figur 4-55 visar kartor över det simulerade medeltjäldjupet i mars månad, baserat på medelvärdet av de uppskattade parametervärdena för lera och sand, vilket ungefär bör motsvara förhållandena för morän (Lindström och Hellström, 2007).



Figur 4-54. Simulerat snödjup och tjåldjup (månadsmedel) för dagens förhållanden (blå kurva) och efter en temperaturökning med 3 °C (röd kurva) för tre mätplatser med sandjordar (överst) och tre mätplatser med lerjordar (nederst). Från Lindström och Hellström (2007).



Figur 4-55. Simulerat medeltjåldjup i mars månad, med en parameteruppsättning som ungefär bör motsvara förhållanden för morän. Resultaten motsvarar områden utan skog. Den vänstra figuren visar tjåldjup i dagens temperatur och den högra med dagens temperatur + 3 °C. Från Lindström och Hellström (2007).

Studien visade på att man grovt kan simulera medelvariation under året med hjälp av en enkel modell. De gjorda simuleringarna, såsom alla scenarioberäkningar är osäkra. Beräkningarna tyder på att (Lindström och Hellström, 2007):

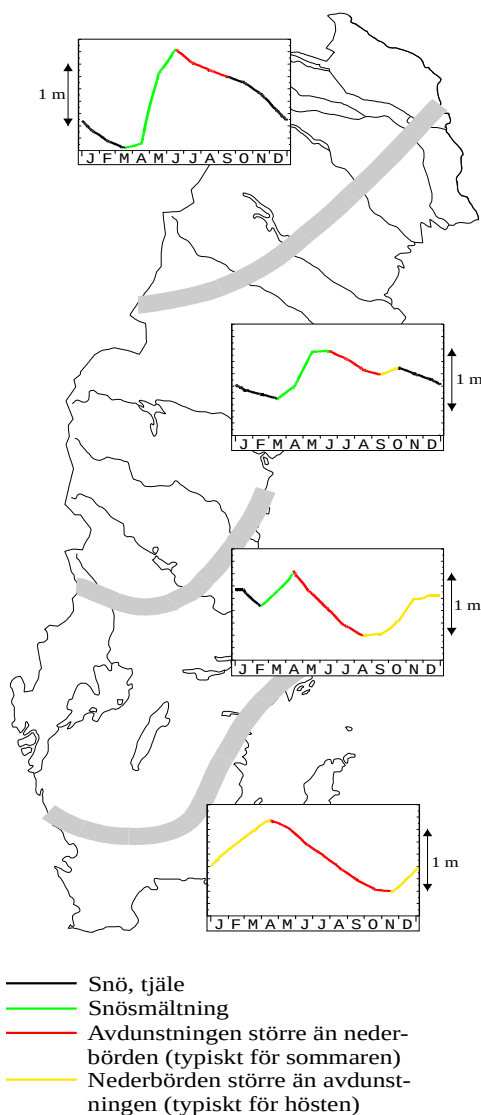
- Tjåldjupet är känsligt för en ökning av temperaturen
- Säsongen för tjåle blir kortare vid alla mätplatser
- I södra Sverige minskar det största tjåldjupet.

4.8 Klimatförändrade grundvattennivåer

Ett forskningsprojekt där grundvattenförhållanden idag och i en klimatpåverkad framtid utfördes i ett samarbete mellan SMHI och SGU. Nedan presenteras en sammanfattning utifrån denna utredning.

Förändrad nederbörd och avdunstning över land medför en förändring på grundvattnet, både kvalitativt och kvantitativt. SGU har gett ut rapporten *Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat* (SGU, 2010) där frågan studeras översiktligt för Sverige. Rapporten togs fram inom projektet *Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – vattenförsörjning vid ett förändrat klimat*, som finansierades av Naturvårdsverket. Rapporten sammanfattar tidigare arbeten (tex Ojala m.fl., 2007, Rodhe m.fl., 2009) samt innehållet från en modellstudie genomförd i samarbete med SMHI. Modellstudien i projektet genomfördes som en ensemblestudie. Tio klimatscenarier användes som indata till en grundvattennivåmodell (för beskrivning se Rodhe m.fl., 2009) som utifrån dagliga värden på temperatur och nederbörd beräknar grundvattenbildning och grundvattennivå. Som studieobjekt valdes 14 platser ut som ingår i SGUs-grundvattennät. Platserna valdes ut för att ge en god geografisk spridning (fjällen undantaget) samt för att representera olika typer av grundvattenmagasin. Som referensperiod i studien (dagens klimat) valdes 1961-1990 och som framtida period 1971-2100.

Figur 4-56 visar en generell karta över grundvattenregimerna för nutida klimat i Sverige. De förändringar som beskrivs i resultaten nedan kan relateras till denna.



Figur 4-56. Dagens grundvattenregim (från SGU, 2010).

4.8.1 Generella resultat i ett framtida klimat

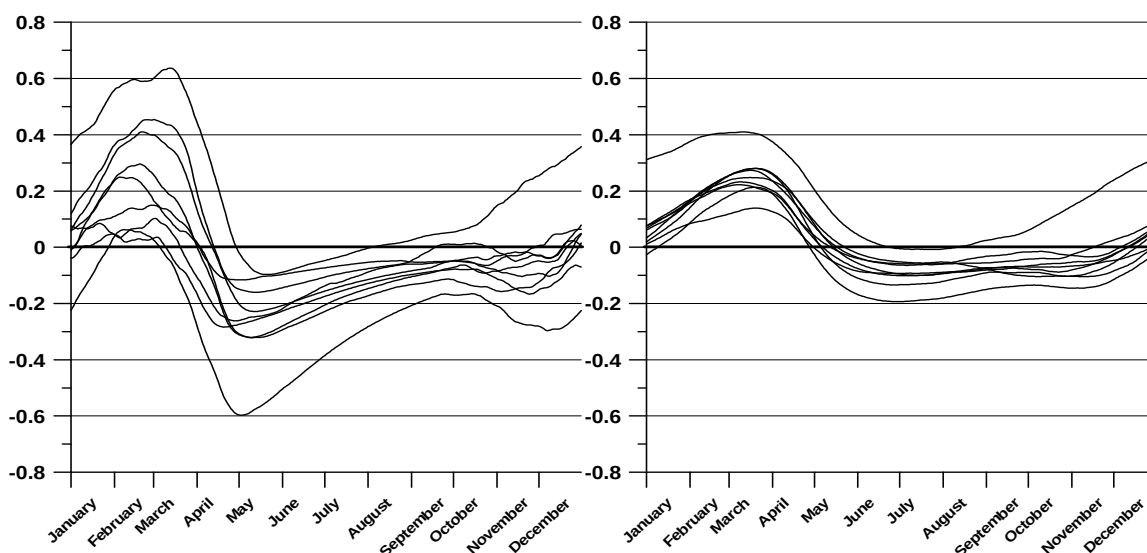
Resultat från studien visar att det för Sverige i stort sker en ökning av grundvattenbildningen och grundvattennivåer. För större magasin i grus- och sandavlagringar skulle nivåökningen kunna uppgå till någon eller några decimeter. Ett undantag för denna ökning är det redan idag torra sydöstra Sverige där grundvattenbildningen generellt minskar. Nivåändringarna är inte konstanta över året utan följer säsongerna.

Vintertid sker en förhöjning av grundvattennivåerna för framtida period jämfört med referensperioden, detta beroende på mildare väder då mer nederbörd faller som regn än idag. Denna effekt är större i norr än i söder där vintrarna redan är milda i den bemärkelsen temperaturen ofta når ovanför nollstrecket.

Under årets varmare period (maj-oktober) sker en sänkning av grundvattennivåerna för framtida period jämfört med referensperioden. Snösmältningen inträffar tidigare på året och perioden då avdunstningen är högre än nederbörden, då lite eller ingen grundvattenbildning sker, blir längre. Resultaten för avsänkningen sommartid får betraktas som något svagare än de för nivåhöjningen vintertid, dels beroende på att resultaten inte är lika entydiga, dels genom att grundvattenmodellen som används är känd för att inte ge tillräcklig grundvattenbildning vid häftiga regn sommartid. Den låga grundvattenbildningen från modellen sommartid beror på att den fungerar i analogi med en kran, antingen helt öppen eller helt stängd (se vidare Rodhe m.fl., 2009).

4.8.2 Stockholmsregionen i ett framtida klimat

Ingen station inom Stockholms län ingick i studien, de geografiskt närmaste stationerna finns i Tärnsjö (norra Uppland) och på Vikbolandet (nordöstra Götaland). Båda stationerna ligger i morän. Grundvattennivån är i medeltal på ca 1 m djup för Tärnsjö och ca 2 m för Vikbolandet. Figur 4-57 för de båda stationerna återspeglar i stort de generella resultaten, det vill säga en ökad grundvattenbildning vintertid leder till högre grundvattennivåer, samt en sänkning av nivån sommartid på grund av lång period utan grundvattenbildning. Även om det är en viss spridning mellan de olika scenarierna, runt 0,3 m, så är signalen relativt entydig. För större grundvattenmagasin i till exempel sand och grusavlagringar är signalen densamma, men variationerna långsammare och amplituderna mindre. Detta beror på en långsammare dynamik hos dessa system (bland annat beroende på den högre porositeten).



Figur 4-57. Förändring i grundvattennivå (m) för perioden 2071-2100 relativt referensperioden 1961-1990 för de olika scenarierna. Vikbolandet (höger) och Tärnsjö (vänster).

4.9 Havsvattenstånd

4.9.1 Det globala havsvattenståndet

Havsvattenståndet beror av många faktorer. Globalt sett är de viktigaste den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Men det finns också stora lokala skillnader, som beror på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter och till och med ändrade landhöjnings- och landsänkningsförhållanden när belastningen på jordskorpan förändras om trycket från de stora isarna minskar. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta lokalt så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar mycket. Ännu kvarstår en hel del frågetecken rörande framtidens havsnivåer.

I början av 1990-talets början skickades flera satelliter upp vars syfte var att mäta jordytan med stor precision. Dessa mätningar visar att havsytan globalt i medeltal stigit drygt 3 mm/år under perioden 1991 – 2003. Detta syns även i svenska mätserier. Det finns samtidigt områden som stigit mer, eller mindre, bland annat beroende på variationer i temperatur.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjningen av havsnivån, med regionala variationer. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som tidigare antagits.

Nyare uppgifter från den internationella forskningen presenteras i Tabell 4-7. Den är baserad på de uppgifter som nått SMHI hittills och gör inte anspråk på att vara fullständig. Observera att siffrorna inte är helt jämförbara eftersom de utgår från olika referensperioder. Därför har den aktuella referensperioden angivits i tabellen.

Man kan naturligtvis fråga sig varför senare bedömningar av havets framtida nivåer skiljer sig så mycket från IPCC:s siffror från 2007. En del av skillnaden är dock skenbar och kan till en del bero på att uppgifterna presenterats på ett annat sätt i AR4 än i IPCC:s tredje Assessment Report (TAR) från 2001. IPCC tolkas också ibland alltför bokstavligt utan att man tar hänsyn till att IPCC - som det uttryckligen skrivs i sammanfattningen för beslutsfattare – inte medräknat effekterna av isflöden från landisarna till havet, så kallade dynamiska effekter (Naturvårdsverket, 2007, sid. 33).

Ytterligare en orsak är att de olika källorna använder sannolikhetsnivåer som ofta skiljer sig åt. Jämförelsen mellan IPCC AR4 och den holländska Deltakommitténs bedömningar diskuteras ingående av Vellinga m. fl., (2008) i ett underlagsdokument till Deltakommittén. Man betonar att man i det holländska arbetet fokuserat på den övre gränsen av tänkbara utvecklingar genom att använda A1F1-scenariet för framtida utsläpp och att en stor skillnad också ligger i bedömningarna av utvecklingen av isarna på Antarktis och Grönland. IPCCs högsta siffra (59 cm) och det högsta värdet från *UK Climate Projections science report* (75,8 cm) har det gemensamt att de representerar 95-percentilen, vilket i detta sammanhang alltså inte kan ses som en övre gräns.

Det är slutligen viktigt att notera att de flesta uppskattningar som förekommer rörande framtida havsnivåer bygger på något eller några av IPCC:s utsläppsscenarier. Det innebär att effekterna av eventuella utsläppsbegränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats. Om man lyckas genomföra utsläppsbegränsningar så minskar stigningstakten, men den upphör inte helt på grund av klimatsystemets stora tröghet.

Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar som SMHI tagit del av på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde. Det är utifrån detta värde och antaganden om lokala effekter som vi har beräknat framtida medelnivåer och extremnivåer för Stockholms län. Som en illustration till den fortsatta utvecklingen efter 2100 har vi valt att i denna rapport anta att havet stiger

2 m fram till 2200. Den holländska Deltakommittén har angivit intervallet 2-4 m som gällande för 2200 (Deltacommissie, 2008).

Tabell 4-7. Sammanställning av internationella utredningar avseende stigande havsnivå.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100 (cm)
Januari 2007	IPCC	1980-1999	18-59 (exkl. isdynamik)
Hösten 2008	Holländska Deltakommittén	1990	55-120
April 2009	Rummukainen och Källén	2009	"det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren"
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam	1980-1999	75 (65-100)
November 2009	Copenhagen diagnosis	1980-1999	"at least twice as much as projected by Working Group1 of the IPCC AR4"
November 2009	NOAA	"by the end of this century"	3 – 4 fot (90-120 cm)
November 2009	Netherlands Environmental Assessment Agency PBL m.fl.	1990	55 -110 (40 -105 lokalt för Holland)
Juni 2009	UK Climate Projections science report	1980-1999	11,6 – 75,8 cm runt Storbritannien och Irland

4.9.2 Höjdsystem i Sverige

För att kunna beskriva havets relation till land används fasta höjdsystem. Höjdsystemen som används av Sveriges kommuner idag är RH00, RH70 och RH2000. Dessa har tagits fram genom lantmätning och referensnivån (nollnivån) har bestämts 1900, 1970 och 2000 för de tre systemen. Tabell 4-8 visar medelvattenytan vid Landsort, Stockholm och Forsmark 2010 och 1990 (referensåret) för de tre höjdsystemen. I beräkningarna har dessutom ett antagande gjorts om att medelvattenytan år 1990 låg på 20 cm i RH2000 för hela länet. Detta ger en felkälla på +/- 3 cm. Skillnaderna är jämförelsevis små i RH2000 jämfört med RH00, varför RH2000 är lämpligare för en länsvis presentation.

Tabell 4-8. Konverteringstabell mellan medelvatten 2010 och 1990 och höjdsystemen RH00, RH70 och RH2000. Värdena är angivna i cm.

	MW 2010	RH00	RH70	RH2000
Landsort	0	-37	-2	11
Stockholm	0	-40	-4	13
Forsmark	0	-63	-9	9
	MW 1990	RH00	RH70	RH2000
Landsort	0	-31	3	17
Stockholm	0	-32	4	20
Forsmark	0	-50	4	22

RH00 Rikets höjdsystem 1900 baseras på den första precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1886-1905. Som nollnivå valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900, representerad av en markerad punkt på Riddarholmen i centrala Stockholm. Höjden på denna punkt, den s.k. normalhöjdpunkten fastställdes till 11,800 meter ovanför medelvattenytan. Då täckningen och kvaliteten på den första precisionsavvägningen var dålig och då senare förtätningar höll ännu sämre kvalitet var anslutningspunkterna ofta mycket dåliga.

RH70 Rikets höjdsystem 1970 baseras på den andra precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1951-1967. RH 70 använde en nollpunkt som definieras av Normaals Amsterdams Peil (NAP), vilket är en punkt i Amsterdam som används som 0-punkt även i andra europeiska länder. För att ha tillgång till denna 0-punkt även i Sverige valde man en referenspunkt i Varberg med relativt liten landhöjning. Där finns numera en stabil markering i granitberggrunden. Höjden på denna punkt är 4,234 meter över NAP. Höjdsystemet användes som officiellt nationellt höjdsystem fram till 2005, då det blev ersatt av RH 2000.

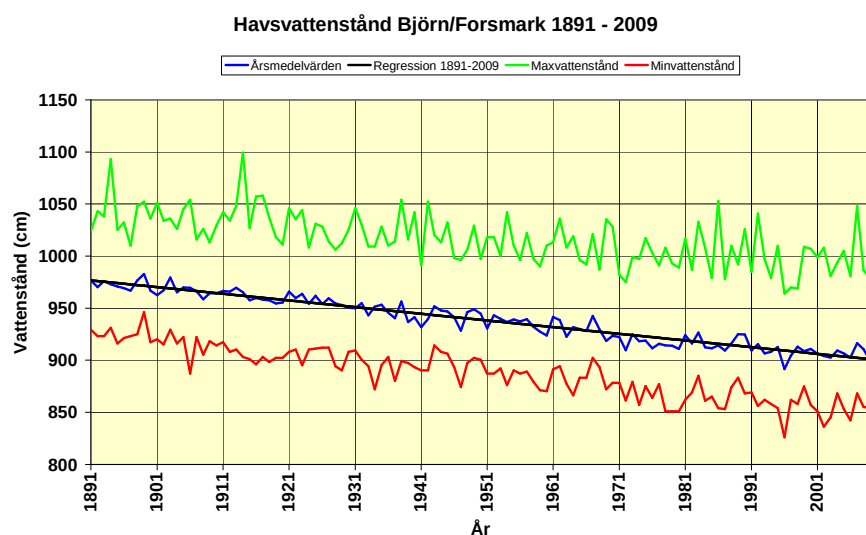
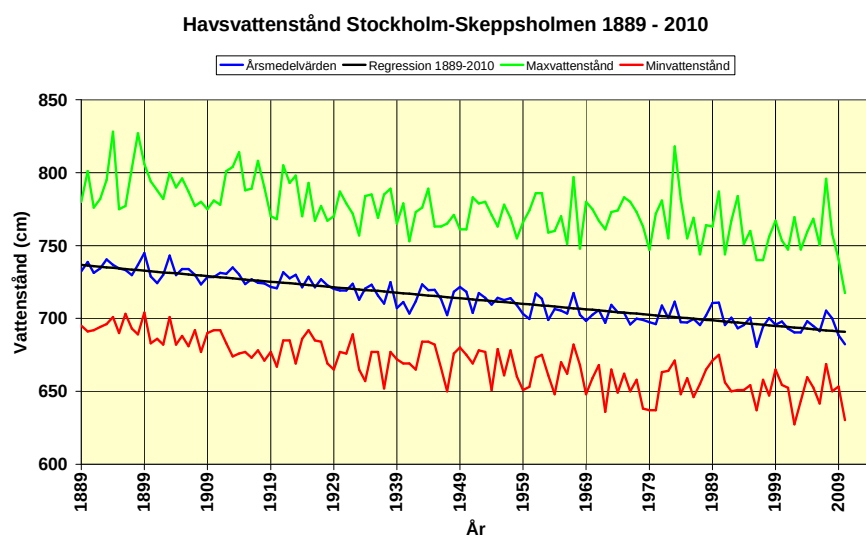
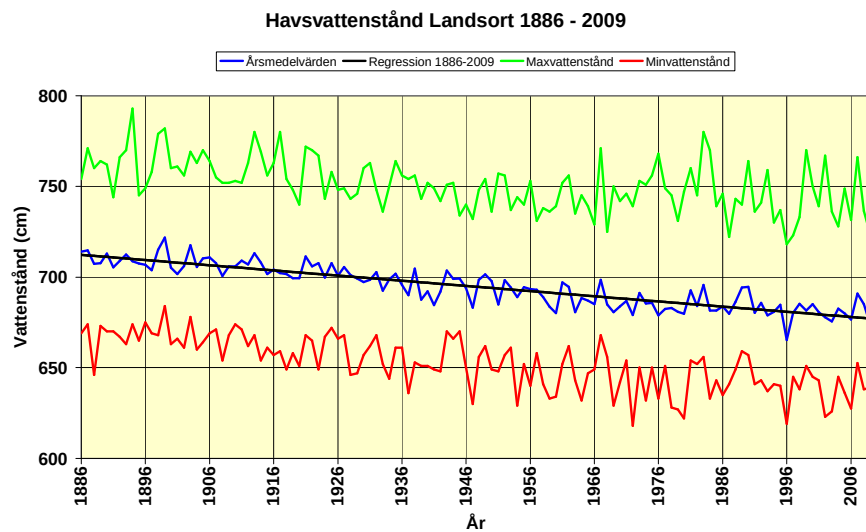
RH2000 Rikets höjdsystem 2000 är Sveriges nya nationella höjdsystem. Mätningarna utfördes under åren 1979 – 2003 vid den tredje precisionsavvägning (Riksavvägningen) som höll bättre kvalitet än sina föregångare, RH00 och RH70. Nollnivån definieras av Normaals Amsterdams Peil (NAP). Med införandet av RH 2000 har det för första gången skapats möjligheter för alla lokala användare att ansluta sina lokala höjdnät till ett nationellt höjdsystem som såväl regionalt som lokalt håller en mycket hög kvalitet.

4.9.3 Medelvattenstånd i Stockholms län i dagens klimat

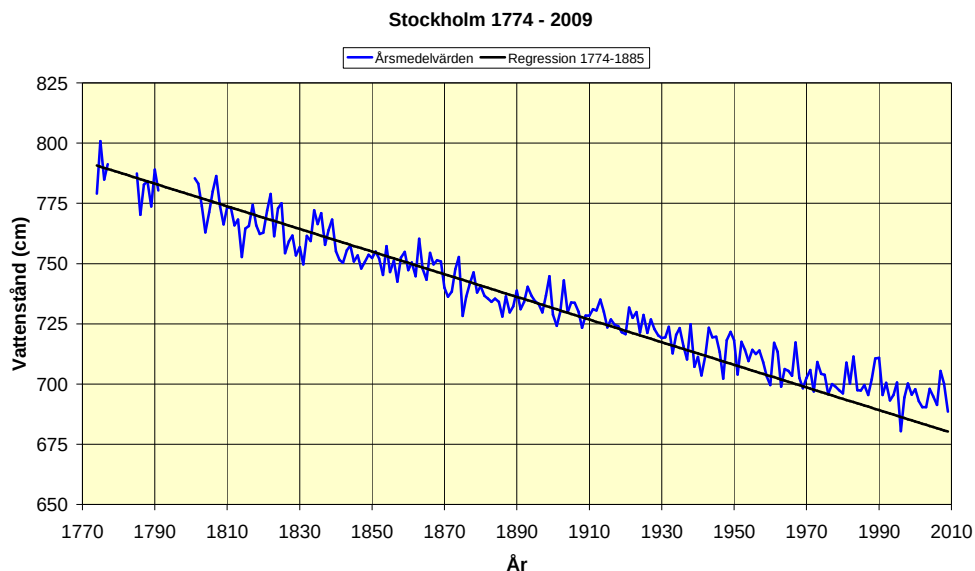
SMHI mäter och redovisar havsvattenstånd relativt en beräknad medelvattenyta. Denna bestäms genom statistisk analys av många års årsmedelvärden. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma en trendlinje. I Stockholm och vid Landsort finns timvärden från 1889, vilket innebär att vi har mycket gott statistiskt underlag.

Det beräknade medelvattenståndet varierar från år till år beroende på havets höjning och på landhöjningen som varierar regionalt. Den *beräknade* medelvattenytan skiljer sig från årets genomsnittliga vattenstånd. Figur 4-58 visar årsmedelvärdet, årets beräknade medelvattenstånd samt årets högsta och lägsta vattenstånd på Landsort, Stockholm och Forsmark från 1890-talet och fram till idag. Samtliga nivåer visas i mätstationernas lokala höjdsystem. Lutningen på trendlinjen kan förändras något under tiden allt eftersom nya data kommer in. Detta gör att en gammal uppgift om högsta uppmätta vattenstånd kan skilja sig från en nyare uppgift för ett och samma år eftersom värdet anges i relation till en ny trendlinje.

Landhöjningen syns speciellt tydligt om man detaljstuderar serien från Stockholm. Där startade mätningar i Stockholm redan 1774 och denna havsvattenståndsserie är numera en av de längsta i världen. Figur 4-59 visar årsmedelvärdet för vattenståndet i Stockholm 1774-2009 i ett lokalt höjdsystem. Den mest slående tendensen är just att vattenståndet har sjunkit, vilket beror på den absoluta landhöjningen som är 0,52 cm/år i Stockholm. I figuren visas också en trendlinje för 1774-1885. Att data från mitten av 1900-talet i allt större utsträckning ligger över trendlinjen visar att relationen mellan landhöjning och havshöjning har ändrat sig från 1900-talet och framåt. En analys av data från 1886 fram till idag visar att höjningen har varit ungefär 1,5 mm per år på 1900-talet, totalt ca 20 cm under denna tidsperiod. Sedan 1980 har höjningen varit drygt 3 mm per år.



Figur 4-58. Medelvattenstånd och årets högsta och lägsta vattenstånd 1890-2009 på Landsort, Stockholm-Skeppsholmen och Forsmark.



Figur 4-59. Vattenstånd i Stockholm 1774 – 2009. Mätningen görs i ett lokalt höjdsystem. Det ser ut som om att havet har sjunkit, fast det i verkligheten är den apparenta landhöjningen som syns i figuren, nämligen att land stiger snabbare än havet. Med den apparenta landhöjningen avses landhöjningen i förhållande till havets medelnivå. Från 1900-talets mitt har havet stigit snabbare, och medelvattenståndet idag ligger en bit över trendlinjen för 1774-1885.

I Stockholms län är den absoluta landhöjningen 0,43 cm/år på Landsort, 0,52 cm/år i Stockholm och uppskattas till 0,78 cm/år i Forsmark. Tabell 4-9 visar årets beräknade medelvattenstånd 1990 och 2010 för Landsort, Stockholm och Forsmark, tillsammans med den absoluta och apparenta landhöjningen. Med den apparenta landhöjningen avses landhöjningen i förhållande till havets medelnivå.

Tabell 4-9. Årets beräknade vattenstånd 1990 och 2010 i höjdsystemet RH2000 för SMHI:s mätstationer Landsort, Stockholm och Forsmark.

	Medelvattenstånd RH2000		Absolut landhöjning	Apparent landhöjning
	1990	2010		(dagens klimat)
Landsort	17 cm	11 cm	0,43 cm/år	0,29 cm/år
Stockholm	20 cm	13 cm	0,52 cm/år	0,38 cm/år
Forsmark	22 cm	9 cm	0,78 cm/år (uppskattat värde)	0,64 cm/år

4.9.4 Faktorer som påverkar extrema vattenstånd

Lufttryck och vindar är de viktigaste faktorerna som skapar variationer i vattenståndet i Östersjön. Lågtryck och pålandsvind ger högre vattenstånd, högtryck och frånlandsvind ger lägre vattenstånd. Den extrema nivån varar vanligen i några timmar. Hur hög den extrema nivån blir utifrån en given vädersituation beror även på utgångsläget. En kraftig storm behöver inte medföra kritiska nivåer om vattenytan inledningsvis ligger lågt. Om man å andra sidan utgår ifrån en högre nivå kan havet lokalt stiga högt vid mer måttliga vindstyrkor. Detta inträffade exempelvis under vintern 2006 – 2007 då hela Östersjön fylldes med mycket mer vatten än normalt.

Vågor kan ha en betydelse för överspolning eftersom höga vågor beror på samma vädersituation som leder till höga vattenstånd. Hur högt upp på land som vågorna sköljer upp beror på kustens lutning och material, och på våghöjden utanför stranden. Vid en öppen kust med stort bottendjup strax utanför stranden finns mer vågenergi tillgänglig, men processerna när vågor kommer in på grunt vatten och hur de bryter är komplexa och måste beskrivas från fall till fall. Många av länets större orter är skyddade mot vågor genom sin belägenhet vid en vik eller skärgård.

En annan faktor som kan ge tillfällig högre vattenstånd lokalt är vinduppstuvning. I samband med att vind blåser över en vattenyta i t.ex. en vik förs vatten i vindens riktning från en sida av viken till den motsatta. Det transporterade vattnet strömmar sedan tillbaka, vanligen längs botten. Med hjälp av formler kan uppstuvningseffekten i ett aktuellt vattenområde beräknas för en viss vindhastighet.

Både bottendjup och övrig topografi är viktiga för lokala uppstuvningseffekter. Nedan följer några exempel på bedömningar av vinduppstuvningseffekten.

Stockholm: Då bottendjupet är relativt stort från Saltsjön och ut mot öppna havet bedöms uppstuvningseffekten i detta fall vara liten.

Södertäljeviden: I samband med kraftig vind från syd kommer vattenytan i området från Mörkö och inåt att stuvas upp av vinden. Med en dimensionerande vind på 25 m/s från syd skapas en situation med ungefär 100 års återkomsttid. Överslagsberäkningar visar att man i den situationen får en stationär vinduppstuvning av vattenytan på ca 0,1 m vid Södertälje kanals mynning i havet. Den uppstuvningen kan vara i flera timmar. Kortvarigt kan vinduppstuvningen bli ca 75 % högre.

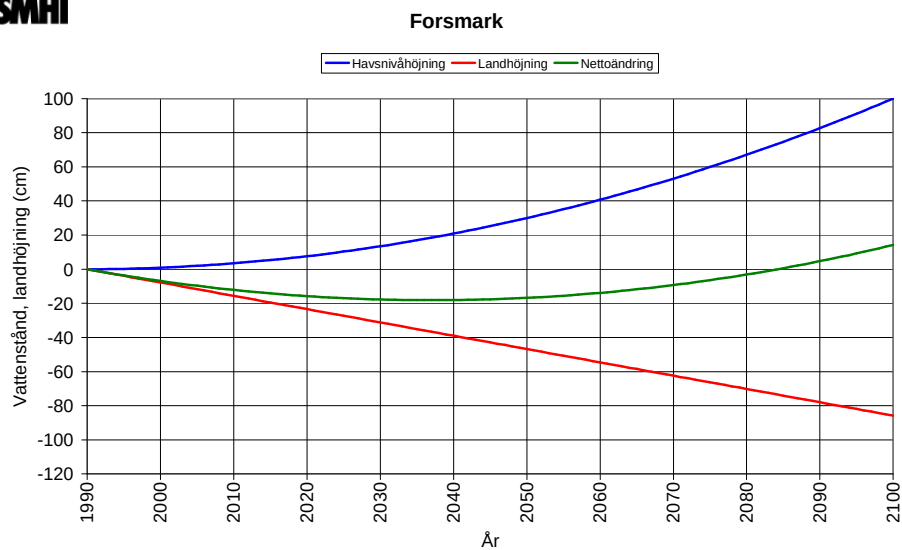
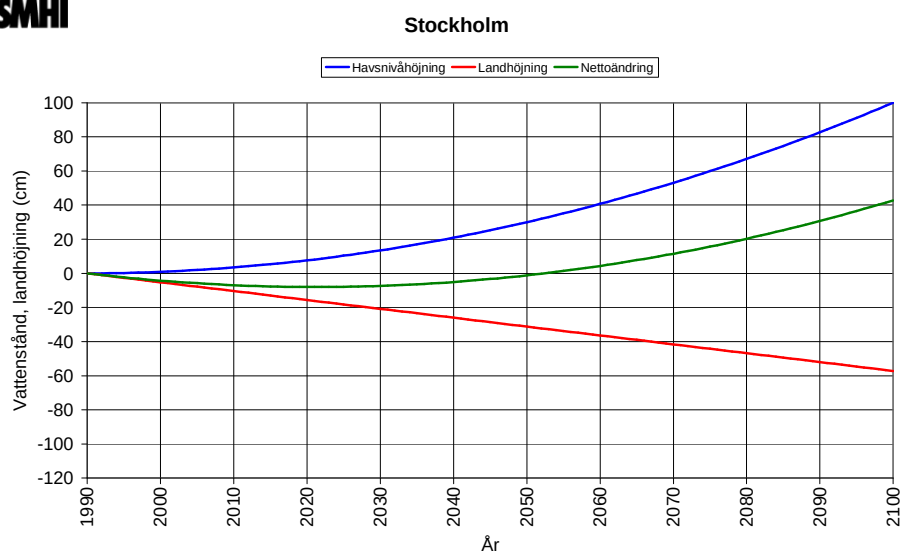
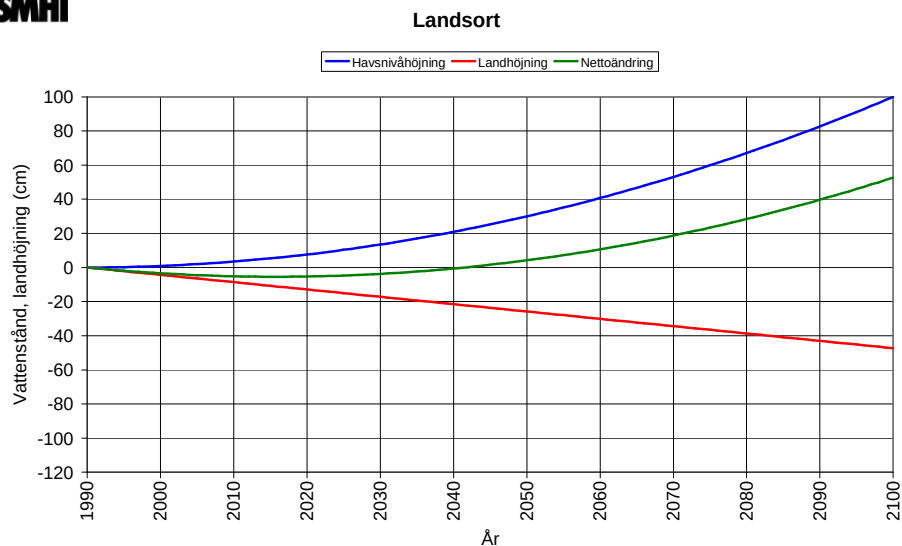
Norrtäljeviden: Uppstuvningseffekter i Norrtäljeviden kan ge ytterligare ett bidrag till havsvattenståndet i Norrtälje. Ostlig vind med hastigheten 22 – 24 m/s (medelvind) bedöms inträffa ungefär en gång på hundra år. Beräkningar visar att man då bör räkna med en vinduppstuvning på ca 0,1 m med en varaktighet på några timmar vid Norrtälje. När höjningen etableras kan insvängningsförlopp ge upphov till en kortvarig uppstuvning på ca 0,2 m.

Vattenståndsvariationerna är störst i Forsmark och lägst vid Landsort. Detta beror på att Bottenhavets topografi leder till stora svängningar i nord-syd-riktning för nordliga och sydliga vindar, och gäller även norra delen av Stockholms län. Högsta uppmätta vattenstånd på Forsmark är 146 cm över medelvattenståndet, vilket uppmättes januari 2007 (stormen Per). Högsta vattenståndet i Stockholm uppmättes januari 1983, 117 cm över medelvatten. På Landsort är maxnoteringen från samma tillfälle 1983, men då beskedliga 95 cm över medelvatten. Man kan tillägga att pegeln vid Landsort ligger längre ut mot öppet hav än både Stockholms och Forsmarks mätare. I Öregrundsgrepen förväntas också lokala effekter spela en roll, varför Forsmark inte nödvändigtvis är representativ för områden söder om Öregrund.

Vi vill framhålla att vinduppstuvning och vågöverspolning har endast beskrivits schablonmässigt i denna rapport. I de fall där områden ligger antingen i en vik eller vid en öppen kust där en av dessa processer bedöms vara viktig bör den kommunen ta reda på vilken betydelse dessa faktorer kan ha från fall till fall.

4.9.5 Framtida förändring av medelvattenstånd i Stockholms län

Figur 4-60 visar en teoretisk utveckling av havshöjningen, landhöjningen och nettoändringen av medelvattenståndet för mätstationerna Landsort, Stockholm och Forsmark 1990-2100. Vi har här använt en havshöjning på +30 cm från 1990 till 2050 och +1 m från 1990 till 2100. Havshöjningen är med andra ord snabbare vid slutet av seklet. Observera att medelvattenståndet just nu ligger lägre än 1990. Detta är konsistent med det uppmätta medelvattenståndet. På grund av skillnaden i landhöjning mellan de tre stationerna kommer Landsort att uppnå 1990 års nivåer först. I detta tänkta fall sker detta kring 2040, medan det för Stockholms del inträffar ca 2050. Forsmark passerar 1990-nivåerna runt 2080.



Figur 4-60. Havshöjning, landhöjning och nettoändring av medelvattenståndet förutsatt +30 cm global höjning fram till 2050 och +1 m global höjning fram till 2100.

I Tabell 4-10 visas resultaten från Figur 4-60 för 2100 (+1 m global höjning) beräknat för fem kustområden, samt för 2200 (+2 m global höjning). Det kustområde som kan ses i tabellen har valts utifrån geografiska förhållanden. Medelvattenytan beräknas stiga med 30 till 50 cm från norr till söder från 1990 till 2100 och med 70 till 110 cm fram till 2200 förutsatt att landhöjningen är konstant. I RH2000 innebär detta att medelvattenståndet 2100 kommer att ligga på ca 70 cm i RH2000 i Landsort och Haninge, 60 cm i RH2000 i Stockholm och Norrtälje, och 50 cm i RH2000 i norra Norrtälje.

Tabell 4-10. Förändring i medelvattenstånd 1990-2200 i Stockholms län förutsatt den antagna globala havnivåhöjningen och landhöjning som idag. Alla värden har avrundats till närmaste dm. Kursiva siffror bygger på uppskattad landhöjning.

Kustområde	Absolut landhöjning	Medelvattenstånds-höjning fram till 2100	Medelvattenstånds-höjning fram till 2200
Globalt medelvärde	0 cm/år	+100 cm	+200 cm
Landsort	0,43 cm/år	+ 50 cm	+ 110 cm
Haninge	0,48 cm/år	+ 50 cm	+ 100 cm
Stockholm	0,52 cm/år	+ 40 cm	+ 90 cm
Norrtälje	0,59 cm/år	+ 40 cm	+ 80 cm
Norra Norrtälje	0,62 cm/år	+ 30 cm	+ 70 cm

4.9.6 Framtida förändring av extrema havsvattenstånd i Stockholms län

För att ta reda på hur vattenståndsextremer varierar längs hela länets kust har vi använt resultat från Rossby Centers havsmodell RCO. Modellens referenssimulering över dagens klimat har använts för att ta fram statistik över årets högsta vattenstånd.

Tabell 4-11 ger en beskrivning av de kuststräckor som uppvisar ungefär samma karakteristiska extremförhållanden i referensklimatet. Det områdesnamn som kan ses i tabellen har valts utifrån geografiska förhållanden. Landsort: Grönt område, innefattar Södertälje, Nynäshamns och Botkyrkas kommuner. Haninge: Blått område, innefattar Haninge och Tyresö kommun. Stockholm: Rosa område, innefattar Nacka, Värmdö, Stockholm, Lidingö, Vaxholm, Österåker, Täby, Danderyd, Solna och Sollentuna kommun. Norrtälje: Svart område, innefattar Norrtälje kommun. Norra Norrtälje: Rött område, innefattar norra delen av Norrtälje kommun. För varje område har sedan en enskilt gridruta valts som representativ för hela området. Kommungränserna redovisas i Figur 4-61.

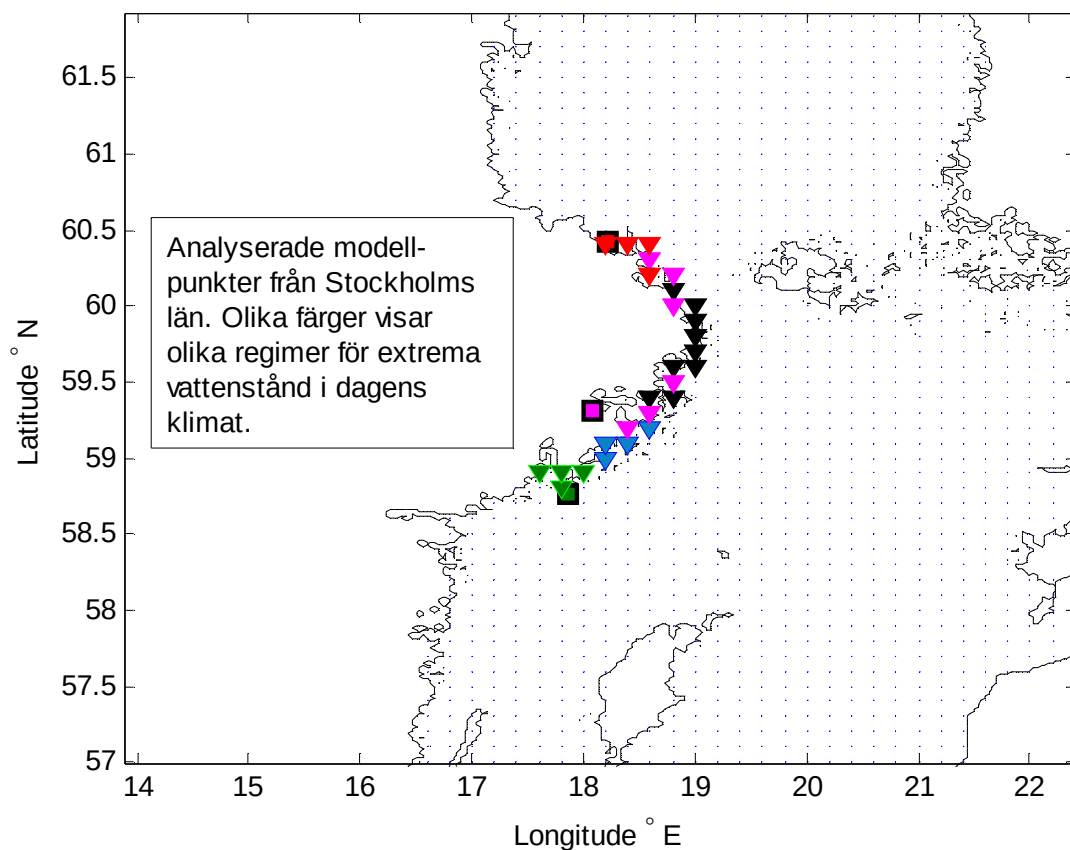
Figur 4-62 visar analyserade gridrutor i modellen (de olika färgerna kan ses i olika trianglar). Som väntat förekommer de högsta nivåerna relativt dagens vanliga nivåer vid länets norra kust, och de lägsta extremerna vid länets södra kust. I område Landsort (grön) och område Stockholm (rosa) används den absoluta landhöjningen som gäller för SMHI:s mätstationer. I övriga områden har landhöjningen uppskattats genom interpolering. Osäkerheten är störst för Norrtälje (rött och svart område) bland annat på grund av den osäkerhet som finns i Forsmark. Vår uppskattning där ligger på säkra sidan, d.v.s. en underskattning av landhöjningen hellre än en överskattning.



Figur 4-61 Kommungränserna i Stockholms län.

Tabell 4-11 Beskrivning av de kuststräckor som uppvisar ungefär samma karakteristiska extremförhållanden i referensklimate. Områdesnamnet har valts utifrån geografiska förhållanden. Resultaten som redovisas nedan kommer att använda en utvald punkt från respektive område med lämplig landhöjning.

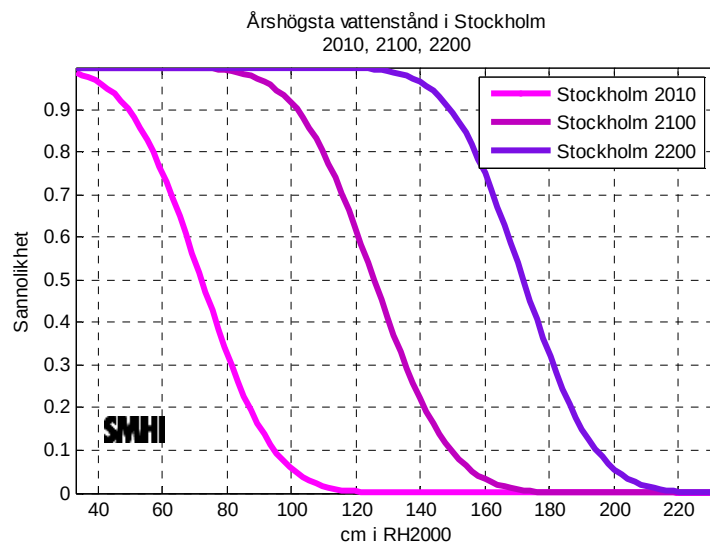
Kustområde	Kommuner	Färg	Landhöjning
Landsort	Södertälje, Nynäshamn, Botkyrka	Grön	0,43 cm/år
Haninge	Haninge, Tyresö	Blå	0,48 cm/år
Stockholm	Nacka, Värmdö, Stockholm, Lidingö, Vaxholm, Österåker, Täby, Danderyd, Solna och Sollentuna	Rosa	0,52 cm/år
Norrtälje	Norrtälje	Svart	0,59 cm/år
Norra Norrtälje	Norrtälje	Röd	0,62 cm/år



Figur 4-62. Analyserade modellpunkter för Stockholms län (trianglar) och SMHI:s mätstationer Landsort, Stockholm och Forsmark (fyrcanter). Färgerna visar var i länet man hittar samma fördelning av extrema vattenstånd för dagens klimat. I grönt och blått område (som här kallas område Landsort och område Haninge) finner vi de lägsta och näst lägsta extremerna. Svart område, som berör stora delar av Norrtäljes kust, har mellanhöga extremer i detta sammanhang. Högsta extremerna hittar vi i område Stockholm (rosa) och norra Norrtälje (rosa och röd). För område norra Norrtälje används en röd gridruta.

För beräkningarna av extrema vattenstånd har data från RCO-modellen använts för att simulera lokala effekter (RCAO-HadAM3-A2). Modellresultaten uppvisar en liten lokal effekt jämfört med globala data, men generellt behålls den fördelning som finns i dagens klimat

Figur 4-63 visar fördelningen av årshögsta vattenstånd för kustområde Stockholm år 2010, 2100 och 2200. Tabell 4-11 visar extrema vattenstånd (årshögsta vattenstånd med 100 års återkomsttid beräknat med Generalized Extreme Value (GEV)-metoden i cm i RH2000) för länets fem kustområden åren 2010, 2100 och 2200. Siffrorna i tabellen har avrundats till närmsta 5 cm. På grund av landhöjningen och den medföljande höjningen av medelvattenståndet höjs de högsta nivåerna i område Landsort snabbare än längre norrut. Norra Norrtälje som idag har de högsta vattenstånden förväntas få den lägsta höjningen på grund av en större landhöjning.



Figur 4-63. Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd för kustområde Stockholm år 2010, 2100 och 2200 i RH2000. Figuren visar hur extremerna förändras med stigande havsnivåer.

Tabell 4-11. Vattenstånd med 100 års återkomsttid i Stockholms län år 2010, 2100, 2200 (RH2000).

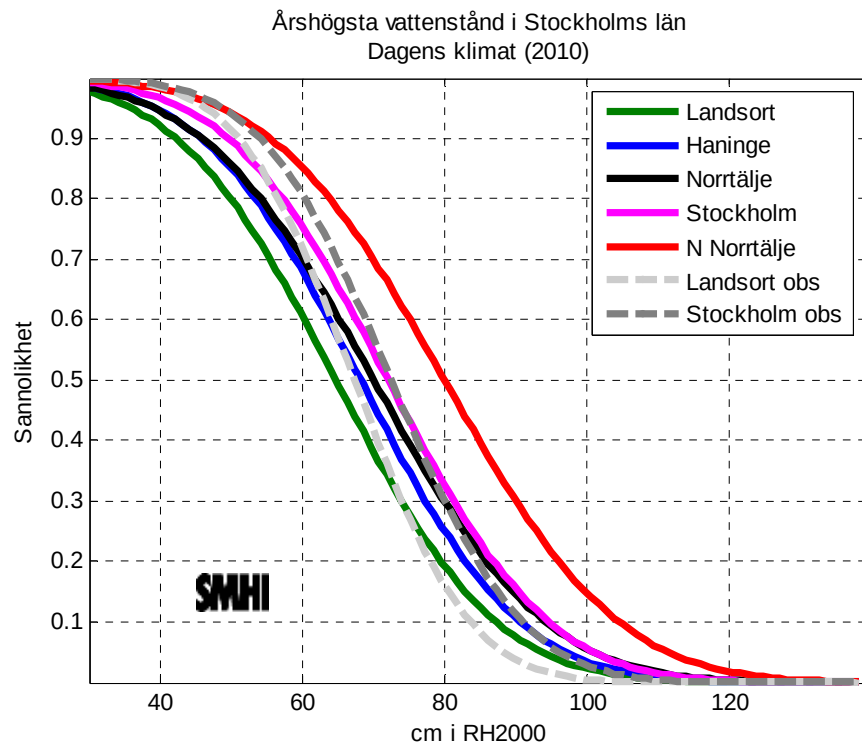
Kustområde	2010 (cm)	2100 (cm)	2200 (cm)
Landsort	110	180	230
Haninge	115	175	225
Stockholm	120	175	220
Norrtälje	120	170	205
Norra Norrtälje	130	180	210

Figur 4-64, Figur 4-65 och Figur 4-66 visar sannolikhetsfördelningar av årshögsta vattenstånd för år 2010, 2100 och 2200 för de fem analyserade kustområdena. Figur 4-64 visar också mätdata för mätstationerna Landsort och Stockholm som är representativa för kuststräckorna med samma namn. Syftet med dessa grafiska presentationer är att åskådliggöra hur vattennivåerna förändras olika i länet och hur detta förändras med tiden.

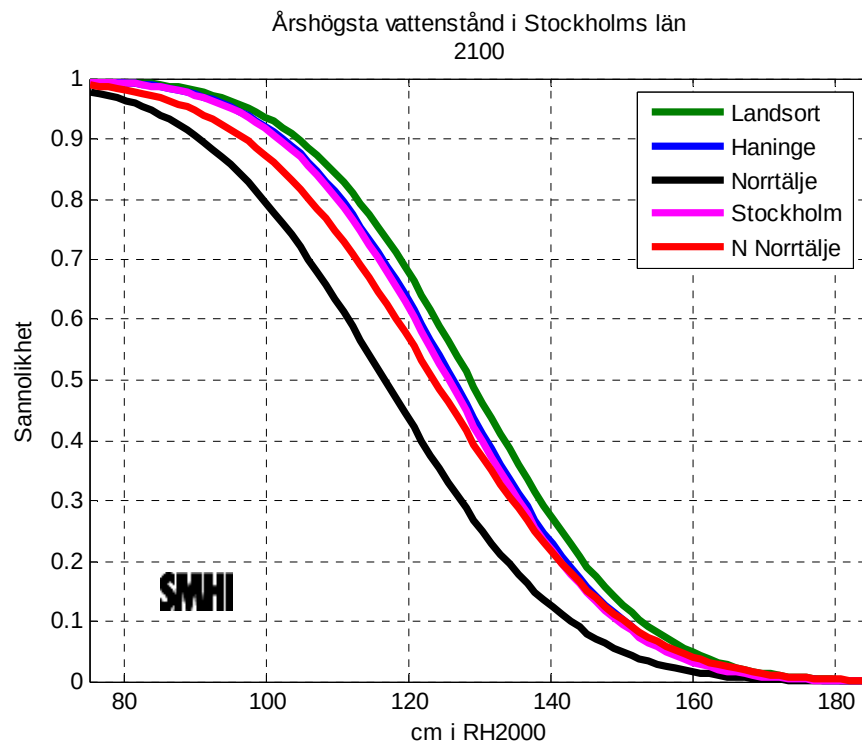
År 2010 är årshögsta vattenstånd någorlunda lika fördelat från Haninge till Norrtälje (kustområde Haninge, kustområde Stockholm och kustområde Norrtälje). Kustområde Landsort ligger lägre och kustområdet Norra Norrtälje ligger högre. År 2100 är bilden en annan (Figur 4-65). Kustområde Norrtälje (svart) har lägre extremer, medan kurvorna för de fyra andra kustområdena ligger relativt lika. År 2200 är extremerna lägst i kustområde Norrtälje och norra Norrtälje, och högst i kustområde Landsort. Denna utveckling beror på den varierande utvecklingen av medelvattenytan på grund av varierande landhöjning.

Tabell 4-12, Tabell 4-13 och Tabell 4-14 visar detaljerad statistik med flera olika återkomsttider för årshögsta vattenstånd år 2010, 2100 och 2200 för länets fem kustområden inklusive ett 95% konfidensintervall i RH2000.

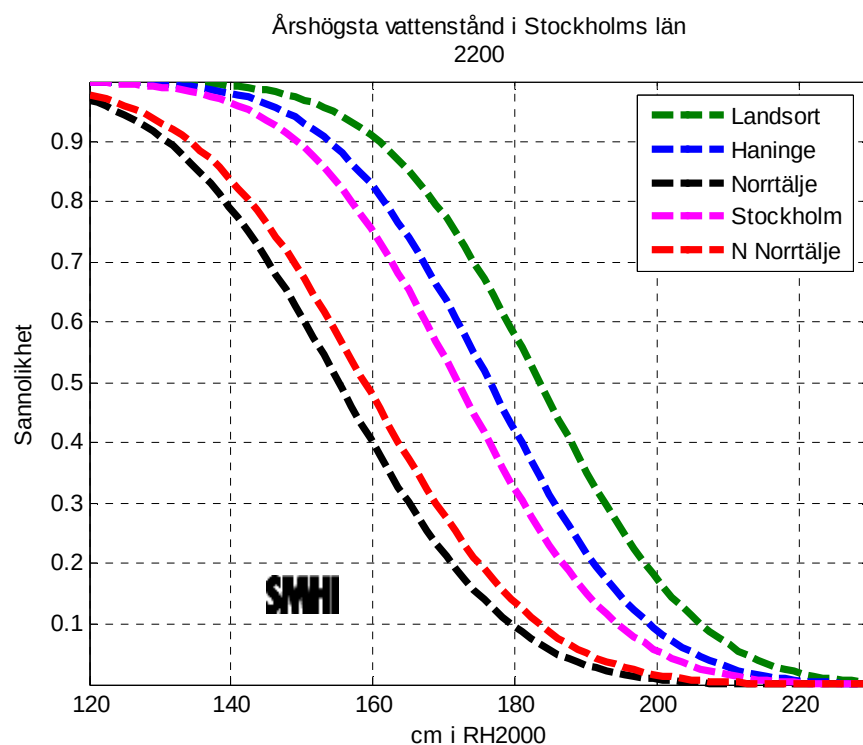
Sammanfattningsvis kan vi konstatera att havsnivåhöjningen i Stockholms län märks först mot andra halvan av detta sekel enligt dessa beräkningar. Ökningen av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdena. Vi vill dock betona att beräkningarna av extremvärdena enbart bygger på en modellberäkning med ett klimatscenario. Det pågår för närvarande forskning vid SMHI, med nya klimatscenarier, vilket väntas leda till nya resultat under 2013.



Figur 4-64. Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd i dagens klimat. Figuren visar resultat från länets fem områden samt för mätdata från Stockholm och Landsort 1889-2009 i RH2000. En sannolikhet på 0,5 är det samma som 50 % sannolikhet varje år vilket motsvarar 2 års återkomsttid. En sannolikhet på 0,1 motsvarar 10 års återkomsttid. Mätdata och modelldata har en viss variation vad gäller fördelning. Se Tabell 4-4 för mer information om återkomsttider.



Figur 4-65. Sannolikhetsfördelning för årshögsta vattenstånd i Stockholms län år 2100 för de fem kustområdena.



Figur 4-66. Sannolikhetsfördelning för årshögsta vattenstånd i Stockholms län år 2200 för de fem kustområdena.

Tabell 4-12. Återkomsttid för årshögsta vattenstånd för dagens klimat (cm i RH2000). Kursiverade siffror är 95 % konfidensintervall. Värdena har avrundats till närmaste 5 cm.

Återkomsttid 2010	2 år	10 år	25 år	50 år	100 år
Landsort	65 <i>60-65</i>	90 <i>85-95</i>	100 <i>90-110</i>	105 <i>100-120</i>	110 <i>105-130</i>
Haninge	65 <i>65-70</i>	90 <i>85-100</i>	100 <i>95-110</i>	110 <i>100-125</i>	115 <i>105-135</i>
Stockholm	70 <i>65-75</i>	95 <i>90-105</i>	105 <i>100-115</i>	115 <i>105-125</i>	120 <i>110-135</i>
Norrtälje	70 <i>65-75</i>	95 <i>90-100</i>	105 <i>100-120</i>	115 <i>105-130</i>	120 <i>110-135</i>
N Norrtälje	80 <i>75-85</i>	105 <i>100-115</i>	115 <i>110-125</i>	125 <i>115-140</i>	130 <i>120-150</i>

Tabell 4-13. Beräknade nivåer för olika återkomsttider för extrema vattenstånd 2100 förutsatt +1 m höjning 1990-2100 (cm i RH2000). Kursiverade siffror är 95 % konfidensintervall. Värdena har avrundats till närmaste 5 cm.

Återkomsttid 2100	2 år	10 år	25 år	50 år	100 år
Landsort	125 <i>125-130</i>	155 <i>150-160</i>	165 <i>160-175</i>	175 <i>165-190</i>	180 <i>170-200</i>
Haninge	125 <i>120-130</i>	150 <i>145-160</i>	165 <i>155-175</i>	170 <i>160-185</i>	175 <i>165-195</i>
Stockholm	125 <i>120-130</i>	150 <i>145-160</i>	160 <i>155-175</i>	170 <i>160-185</i>	175 <i>165-195</i>
Norrtälje	115 <i>110-120</i>	145 <i>140-150</i>	155 <i>150-165</i>	165 <i>155-180</i>	170 <i>160-190</i>
N Norrtälje	120 <i>120-125</i>	150 <i>145-160</i>	165 <i>155-175</i>	170 <i>160-190</i>	180 <i>170-200</i>

Tabell 4-14. Beräknade nivåer för olika återkomsttider för extrema vattenstånd 2200 förutsatt +2 m höjning 1990-2200 (cm i RH2000). Kursiverade siffror är 95 % konfidensintervall. Värdena har avrundats till närmaste 5 cm.

Återkomsttid 2200	2 år	10 år	25 år	50 år	100 år
Landsort	180 <i>180-185</i>	205 <i>200-215</i>	220 <i>210-230</i>	225 <i>22-24</i>	230 <i>220-250</i>
Haninge	175 <i>170-180</i>	200 <i>195-205</i>	210 <i>205-220</i>	220 <i>210-230</i>	225 <i>215-240</i>
Stockholm	170 <i>165-175</i>	195 <i>190-200</i>	205 <i>200-215</i>	210 <i>205-225</i>	220 <i>210-235</i>
Norrtälje	155 <i>150-160</i>	180 <i>175-190</i>	190 <i>185-200</i>	200 <i>190-215</i>	205 <i>195-225</i>
N Norrtälje	155 <i>155-160</i>	185 <i>180-190</i>	195 <i>190-205</i>	200 <i>195-215</i>	210 <i>200-225</i>

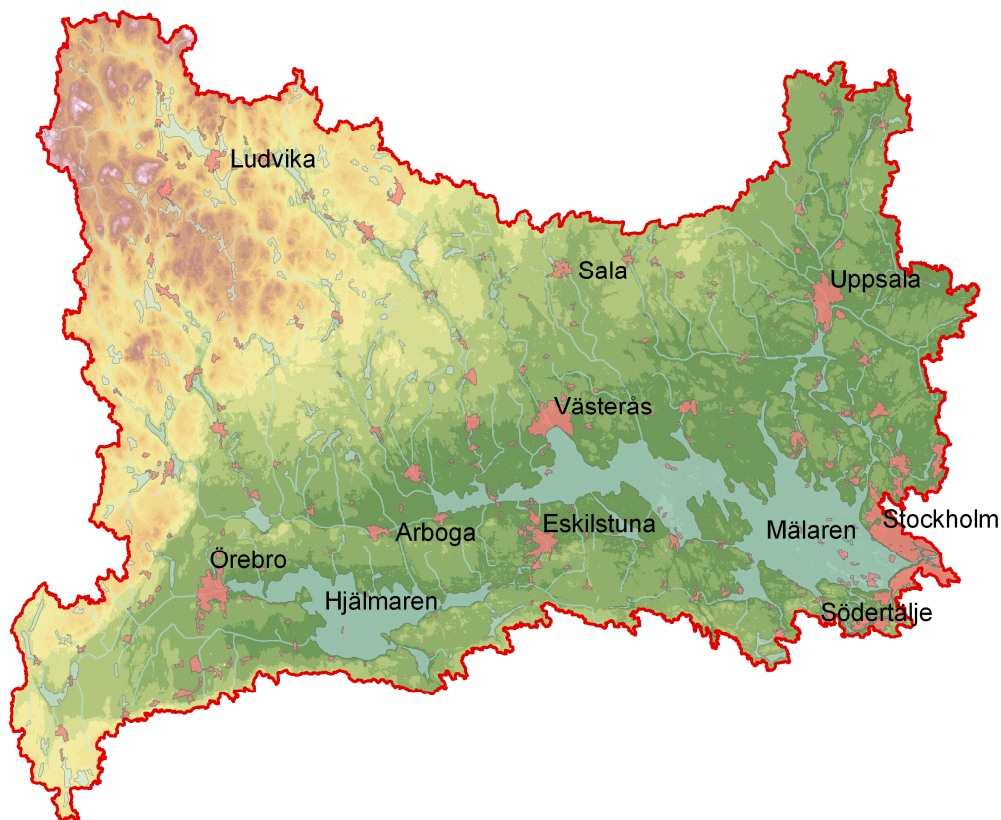
4.10 Mälaren och projekt Slussen

4.10.1 Mälarens hydrologi

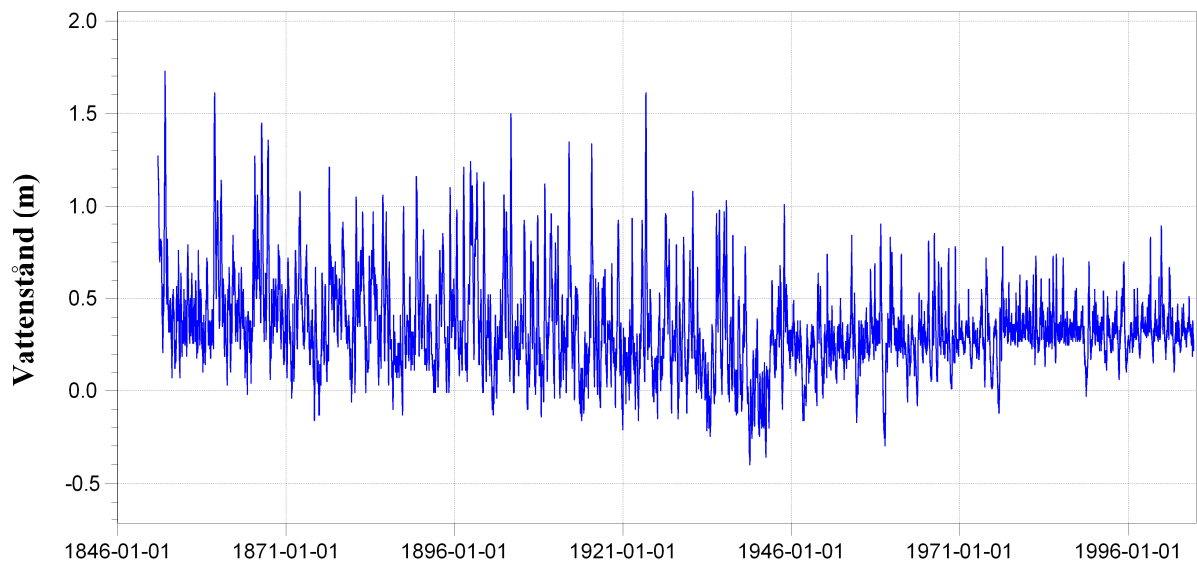
Mälaren är Sveriges tredje största sjö. Dess avrinningsområde är 22 650 km² och sträcker sig från Bergslagen i väster till Norrström i centrala Stockholm (Figur 4-67). Via Mälaren avvattnas större delarna av Uppland, Västmanland, Närke samt de södra delarna av Dalarna och de norra delarna av Södermanland (Ehlert, 1970). Hjälmarens avrinningsområde är 4 045 km². Avrinningen sker via Eskilstunaån, som är det näst största enskilda biflödet till Mälaren efter Arbogaån. Övriga viktiga vattendrag som rinner till Mälaren är Fyrisån och bergslagsåarna, Hedströmmen och Kolbäcksån. Det finns två åar som benämns Svartån, den ena mynnar i Hjälmaren i Örebro (Närkes Svartå), den andra i Mälaren i Västerås.

Medelvattenföringen till havet från Mälaren är ca 163 m³/s varav ca 6 m³/s går via Södertälje kanal. Via avloppsreningsverk direkt till havet rinner ca 5 m³/s. Tillrinningen till Mälaren har en ganska oregelbunden årsrytm. Efter snörika vintrar brukar vårfloden kunna bli kraftig, speciellt från Bergslagen, medan mildare vintrar med mindre snö medför kraftiga vattenflöden även vintertid. Tillrinningen är normalt ganska låg under sommaren, främst beroende på hög avdunstning från land och vatten.

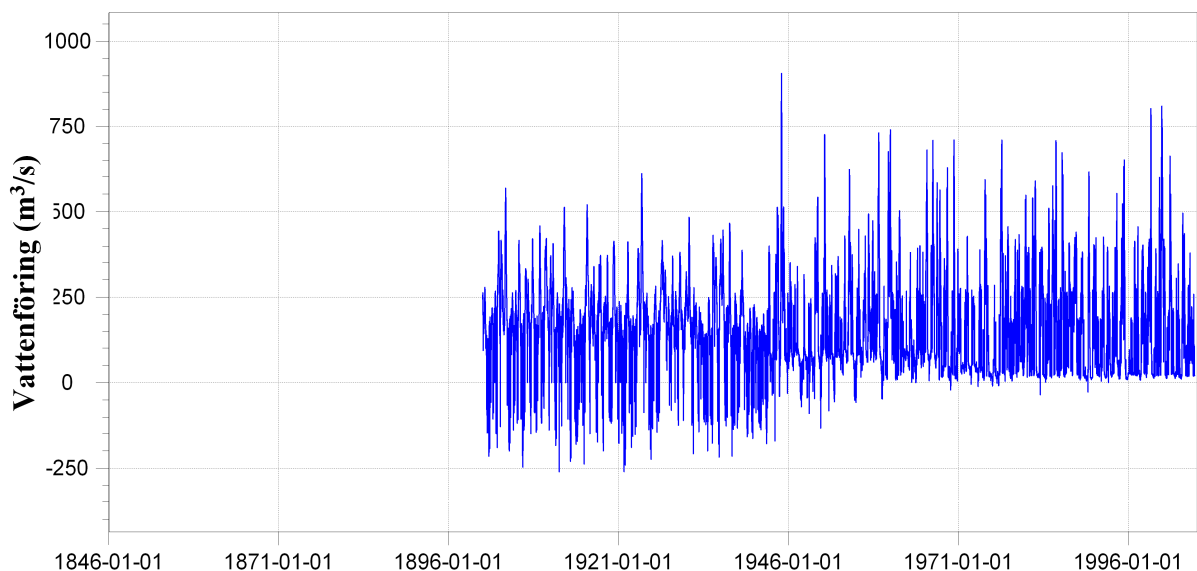
För att motverka översvämningar av jordbruksmark, men även för att gynna sjöfarten, genomfördes en reglering av Mälaren enligt en dom från 1941. Denna reglering togs i bruk 1943. Effekten av regleringen blev inte riktigt vad man tänkt sig. Avsänkningen av högvattenstånden blev ungefär de avsedda, men lågvattenstånden blev betydligt lägre än väntat. Därför har nya regleringsbestämmelser börjat tillämpas från mars 1968 (Ehlert, 1970). I Figur 4-68 visas observerade vattennivåer i Mälaren från mitten av 1800-talet till 2005. Motsvarande data över vattenföringen vid Mälarens utlopp, sedan SMHI började lagra dessa data, redovisas i Figur 4-69. Observera att mätserien i Figur 4-68 uppvisar en trend före 1943, som beror på att landhöjningen påverkat referenspunkten.



Figur 4-67. Mälarens avrinningsområde.



Figur 4-68. Vattenstånd för Mälaren (meter i höjdsystem RH00) i Mälaren vid Stockholm under perioden 1852-2005..



Figur 4-69. Vattenförling i m^3/s (dygnsmedelvärden) i Mälarens utlopp.

Effekterna av Mälarens reglering syns tydligt i såväl vattenstånd som vattenförling. Den mest uppenbara effekten är att de högsta vattenstånden minskat och att man lyckats bemästra inflödena från Saltsjön (negativa värden i Figur 4-69). Samtidigt har det genom regleringen blivit vanligare med höga flöden från Mälaren till havet.

Översvämningsproblemen i de tät befolkade områdena runt Vänern och Mälaren samt längs Göta älv har specialstuderats av den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen. Dess slutsatser finns tillgängliga i delbetänkandet *Översvämningshot – Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern* (SOU, 2006) och i utredningens slutbetänkande *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter* (SOU, 2007a). Ett underlag till delbetänkandet från utredningen var en rapport från SMHI av Bergström m.fl. (2006).

I den befintliga vattendomen för Mälaren används ett eget höjdsystem "Mälarens höjdsystem", som definieras av nivån på Västra slusströskeln vid Karl Johans Torg. Nivån ligger 3,84 m under

havsyntans nivå enligt Rikets höjdsystem RH00 eller 3,48 m under havsyntans nivå enligt Rikets höjdsystem RH70. I den följande texten används huvudsakligen Mälarens höjdsystem. Relationen mellan olika höjdsystem ges i Tabell 4-15.

Tabell 4-15. Väsentliga vattenstånd för Mälarens reglering uttryckta i tre olika höjdsystem.

Mälarens höjdsystem (m)	RH00(m)	RH70(m)
4,70	0,86	1,22
4,00	0,16	0,52

4.10.2 Översvämningsrisker idag

De kraftiga översvämningarna i Sverige under 2000-2001 påverkade även Mälaren. I Mälaren uppmättes i december 2000 det högsta vattenståndet under reglerad tid (4,73 m). Betydligt högre nivåer har dock noterats innan regleringen. Ett av de värsta åren var 1924, från vilket Figur 4-70 är hämtad.



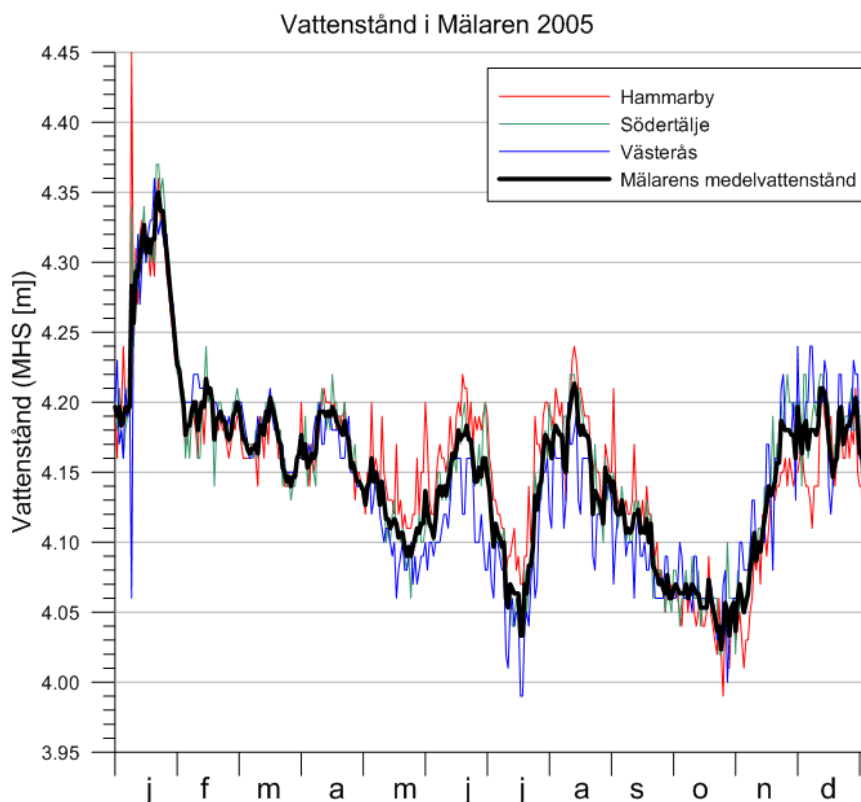
Figur 4-70. Mälartorget i Gamla Stan i Stockholm vid översvämningen våren 1924. Foto: S. Ernfors, SMHI.

Situationen i december 2000 i Mälaren visade att det finns säkerhetsproblem som bland annat berör centrala Stockholm. Tunnelbanan kan komma att påverkas, liksom vägar, tunnlar, ventilationssystem, elektriska installationer och annan infrastruktur.

Den översiktliga översvämningskarteringen för Mälaren visade att det redan i dagens klimat finns en betydande översvämningsrisk kring Mälaren (Räddningsverket, 2001). Dessa beräkningar förutsatte låga vattenstånd på Mälarens nedströmssida (Saltsjön). Senare beräkningar visar att om hänsyn tas till att havet kan vara på en högre nivå och utgöra en dämmande effekt på tappningsförmågan blir de

beräknade dimensionerande nivåerna mycket höga, över 6 m i Mälarens höjdsystem (Andréasson och Gardelin, 2008).

Mälarens översvämningsrisker beror av tillflödet från land, regleringen, nivåerna i havet och av landhöjningen. Men riskerna är i lika hög grad kopplade till den fysiska planeringen och exploateringen av stränderna runt sjön. Även vinden påverkar riskerna, eftersom en kraftig storm i olämplig riktning tillfälligt kan höja nivåerna någon eller några decimetrar. I Figur 4-71 kan effekten på Mälarens vattenstånd under stormen Gudrun i januari 2005 studeras. Denna händelse var mycket extrem och vattenståndet i Hammarby steg då till 17 cm över Mälarens medelvattenstånd. Skillnaden mellan Västerås och Stockholm var mycket större än så (nästan 40 cm), men det är avvikelsen från Mälarens medelvattenstånd som är relevant i dessa sammanhang.



Figur 4-71. Vattenståndsobservationer i Mälaren år 2005. Mälarens medelvattenstånd (svart) beräknat utifrån mätstationer i Hammarby (röd), Västerås (blå) och Södertälje (grön). Alla nivåer i Mälarens höjdsystem. De stora skillnaderna mellan stationerna som ses i januari orsakades av stormen Gudrun den 8 januari (Från SMHI-rapport 2010-16).

4.10.3 Projekt Slussen

Stockholms stad har under flera års tid utrett en ombyggnad av Slussen (se Projekt Slussens hemsida www.stockholm.se/slussen). År 2005 tillsatte regeringen Klimat- och sårbarhetsutredningen, för att kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar. I november 2006 kom ett delbetänkande angående översvämningsshot, risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern (SOU 2006:94). De klimatscenarier som användes för Mälaren visade att både höga och låga vattennivåer kommer att bli vanligare i framtiden, dock inte de allra högsta nivåerna (Bergström, m.fl., 2006). De höga flödena år 2000 orsakade betydande problem runt Mälaren och tydliggjorde därmed behovet av en ökad tappningskapacitet.

I samband med den ombyggnad av Slussen som Stockholms stad förbereder avser man att öka tappningskapaciteten för att minska översvämningsriskerna runt Mälaren. SMHI har därför fått i uppdrag av Stockholms stad att föreslå en ny regleringsstrategi för Mälaren. De övergripande målen för den nya regleringen har varit:

1. Minska risken för översvämning runt Mälaren
2. Minska risken för låga vattenstånd i Mälaren.
3. Förhindra saltvatteninträngning

En strävan är att hålla Mälarens nivåer mellan +4,0 m och 4,7 m i det lokala höjdsystemet. I tillägg till detta har även hänsyn tagits för att eftersträva årtidsvariationer i Mälarens vattenstånd som gynnar strandnära naturmiljöer och om möjligt skapa längre perioder med strömmande vatten i Stockholms ström.

Det senaste regleringsförslaget, fas 3b, har rapporterats till Projekt Slussen i en slutrapport (Andréasson och Gustavsson, 2010).

4.10.4 Dimensionerande nivåer i dagens klimat

Omfattande beräkningar av nivåerna för Mälaren har gjorts för att finna vilken tappningskapacitet som behövs för att undvika översvämningar (Andréasson och Gardelin, 2008; Andréasson och Hellström, 2008; Andréasson och Gustavsson, 2010). I beräkningarna antas en framtida utbyggd tappningskapacitet på totalt ca 2000 m³/s. Motsvarande kapacitet är idag ca 800 m³/s. I Tabell 4-16 redovisas dimensionerande nivåer (Flödesdimensioneringsklass I, enligt Svensk Energi m.fl., 2007) för Mälaren enligt dagens tappningsförhållanden och efter en utbyggnad. Där redovisas även nivåer för flöden med olika återkomsttid. I dessa beräkningar har en motdämmande effekt från Saltsjön beaktats.

Tabell 4-16. Statistik över Mälarens högsta vattenstånd vid extrema flöden för dagens avbördningskapacitet och efter utbyggnad. Flöden med en angiven återkomsttid har hämtats från Andréasson och Hellström (2008). Det dimensionerande flöde är beräknat av Andréasson och Gustavsson (2010). Havsnivån antas ligga konstant på 4,08 m i Mälarens höjdsystem

Återkomsttid (år)	Dagens avbördningskapacitet	Utbyggd avbördningskapacitet
100	5,17	4,56
1000	>6,00	4,64
10000	>6,00	4,78
Dimensionerande nivå	>6,00	4,78

Med dagens utformning medför redan ett 100-årsflöde nivåer över 5 m om händelsen inträffar samtidigt med ogynnsamma havsvattenstånd. Ett dimensionerande flöde skulle ge nivåer över 6 m och omfattande konsekvenser. Med den planerade utökade kapaciteten kan flöden upp till 1 000 års återkomsttid hanteras utan att den övre nivån i nuvarande vattendom, 4,7 m, överskrids. Det övergripande målet att hålla Mälarens nivåer under 4,7 m överskrids dock med 8 cm vid vattenståndet 4,08 i havet.

Inga av de redovisade värdena inkluderar vindsnedställning av Mälarens vattenyta. Vindsnedställning är beroende av sjöns geometri och beräknas utifrån en typisk vind som ger en snedställning då jämvikt har uppnåtts. Inga ingående variabler i detta samband har förändrats sedan klimat- och sårbarhetsutredningen och den där beräknade vindsnedställningen gäller därför fortfarande, och är alternativneutralt. För Mälaren uppskattades vindpåverkan kunna ge en snedställning av sjöytan med som mest 2-3 dm. Vindsnedställning är en momentan effekt som ska läggas ovanpå den dimensionerande nivån.

4.10.5 Dimensionerande nivåer i framtidens klimat

Dimensionerande nivåer för framtida klimatförhållanden har beräknats för den planerade utbyggda tappningskapaciteten. Utgångspunkten för dessa beräkningar har varit de 16 klimatscenarier som finns redovisade i Tabell 3-1 och en metodik som har utvecklats inom ett pågående forskningsprojekt med finansiering från Elforsk (Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring). Beräkningarna har gjorts för klimatförhållanden i mitten på seklet (2020-2049) och i slutet på seklet (2067-2096), vilka har jämförts med beräkningar för den historiska perioden 1971-1990.

Ett rimligt antagande är att stigande havsvattenstånd och landhöjningen i Stockholm tidigast möts kring mitten på seklet och att det då är ungefär samma nivå i Saltsjön som 1990. En höjning av det globala vattenståndet med 1 m från 1990 till 2100 resulterar i en nettoeffekt för Stockholm på ca 0,5 m med en landhöjning på 5,2 mm/år. För beräkningar i mitten på seklet har därför beräkningarna gjorts utgående från samma saltsjövattenstånd som beräkningarna för dagens klimatförhållanden. Beräkningarna för slutet på seklet har gjorts med antagande om 0,5 m nettohöjning av saltsjövattenståndet.

I Tabell 4-17 redovisas hur den dimensionerande nivån påverkas vid mitten på seklet jämfört med dagens situation för två olika saltsjövattenstånd, normalt (3,58 m) och högt (4,08 m). Effekten är i stort sett densamma oavsett normalt eller högt saltsjövattenstånd. Medelvärdet från klimatensemblen ger att den dimensionerande nivån minskar med 7-8 cm. Detta innebär att den dimensionerande nivån skulle bli som högst 4.71 cm om Saltsjön står högt (jämför med Tabell 4-16).

Motsvarande resultat för slutet på seklet redovisas i Tabell 4-18. Vid normala saltsjövattenstånd minskar den dimensionerande nivån i medeltal med 17 cm. Om Saltsjön däremot står högt kommer den dimensionerande nivån att i medeltal vara 5 cm högre än idag, det vill säga 4,83 cm (jämför med Tabell 4-16).

Den dämmande effekt som ett högre havsvattenstånd har på tappningsförmågan från Mälaren motverkas således av förändringar i de hydrologiska förhållandena. Det är framförallt framtida minskning av ackumulerad nederbörd i form av snö som ger denna effekt.

Den utökade tappningskapaciteten i Söderström i kombination med den föreslagna regleringen minskar kraftigt översvåmningsriskerna i Mälaren. Den planerade tappningskapaciteten bedöms vara tillräcklig även under framtida klimatförhållanden med höjning av Saltsjön upp till 0,5 m, vilket är den antagna höjningen av havet i Stockholm i slutet av seklet.

Tabell 4-17. Förändring av dimensionerande vattenstånd i Mälaren vid mitten på seklet under förutsättning att havsnivån är samma som 1990. Den vänstra kolumnen motsvarar normala saltsjönivåer och den högra kolumnen höga saltsjönivåer. Statistiken har beräknats baserat på 16 klimatscenarier.

2020-2049	Saltsjön 3,58 m	Saltsjön 4,08 m
Medel	-7 cm	-8 cm
Max	+14 cm	+14 cm
Min	-20 cm	-21 cm

Tabell 4-18. Förändring av dimensionerande vattenstånd i Mälaren vid sekelskiftet under förutsättning att nettoökningen av havsnivån är 0,5 m. Den vänstra kolumnen motsvarar normala saltsjönivåer och den högra kolumnen höga saltsjönivåer. Statistiken har beräknats baserat på 12 klimatscenarier.

2067-2096	Saltsjön 3,58 m under referensperioden jämfört med 4,08 m under scenarioperioden	Saltsjön 4,08 m under referensperioden jämfört med 4,58 m under scenarioperioden
Medel	-17 cm	+5 cm
Max	+1 cm	+20 cm
Min	-36 cm	-17 cm

4.10.6 Risker idag och i framtiden

Innan ombyggnaden av Slussen är klar och nya regleringsmöjligheter finns på plats så tvingas vi leva med en förhållandevis hög risk för stora översvämningsproblem liknande eller värre än de som inträffade år 2000. Sannolikheten för detta är strax över 1 % per år vilket innebär att den totala risken under kommande tioårsperiod är drygt 10 %. När den nya Slussen med utökad tappningskapacitet är klar och en ny vattendom föreligger är översvämningsrisken från Mälaren inte längre ett hot i tidsperspektivet 50-100 år. Det som kan förändra denna bild på längre sikt är stigande havsnivåer, vilket successivt kan komma att minska de skapade marginalerna.

När havet stiger kommer antalet tillfällen då Saltsjön står högre än Mälaren att öka från ca 2 dagar/år med dagens nivåskillnad mellan Mälaren och Saltsjön, till ca 23 dagar/år då havets nivå höjs +30 cm respektive ca 75 dagar/år då havets nivå höjs +50 cm. Detta betyder att de kulvertar som har förbindelse med Mälaren behöver kunna stängas för att undvika saltvatteninträngning.

Den nya regleringen innebär att risken för låga vattennivåer i Mälaren minskar för nuvarande klimatförhållanden, d.v.s att Mälaren understiger 4,0 m mer sällan och under kortare perioder än med dagens reglering.

Inom projekt Slussen har känslighetsanalyser gjorts på hur regleringen fungerar under normaldrift i framtida klimatförhållanden i mitten på seklet (2036-2065). Slutsatsen från dessa analyser är att regleringen verkar robust för förändringar i tillrinningsmönster orsakat av klimatförändringar, men att klimatförändringar kommer att leda till ökad risk för låga vattennivåer i Mälaren under sommar och höst. Vad gäller de lägsta nivåerna så sänks de, med storleksordningen 1-2 dm, på grund av ökad avdunstning.

4.11 Övriga relevanta klimataktorer av intresse för Stockholms län

Texter inom detta avsnitt är sammanställda från de analyser och resonemang som fördes inom Klimat och Sårbarhetsutredningen (SOU, 2007). Sammanställningarna har hämtats från klimatunderlaget till denna utredning (Persson, m. fl., 2007). Även om resultaten från dessa studier inte specifikt var inriktade mot Stockholms län har sammanställningen försökt att göras med fokus på detta område.

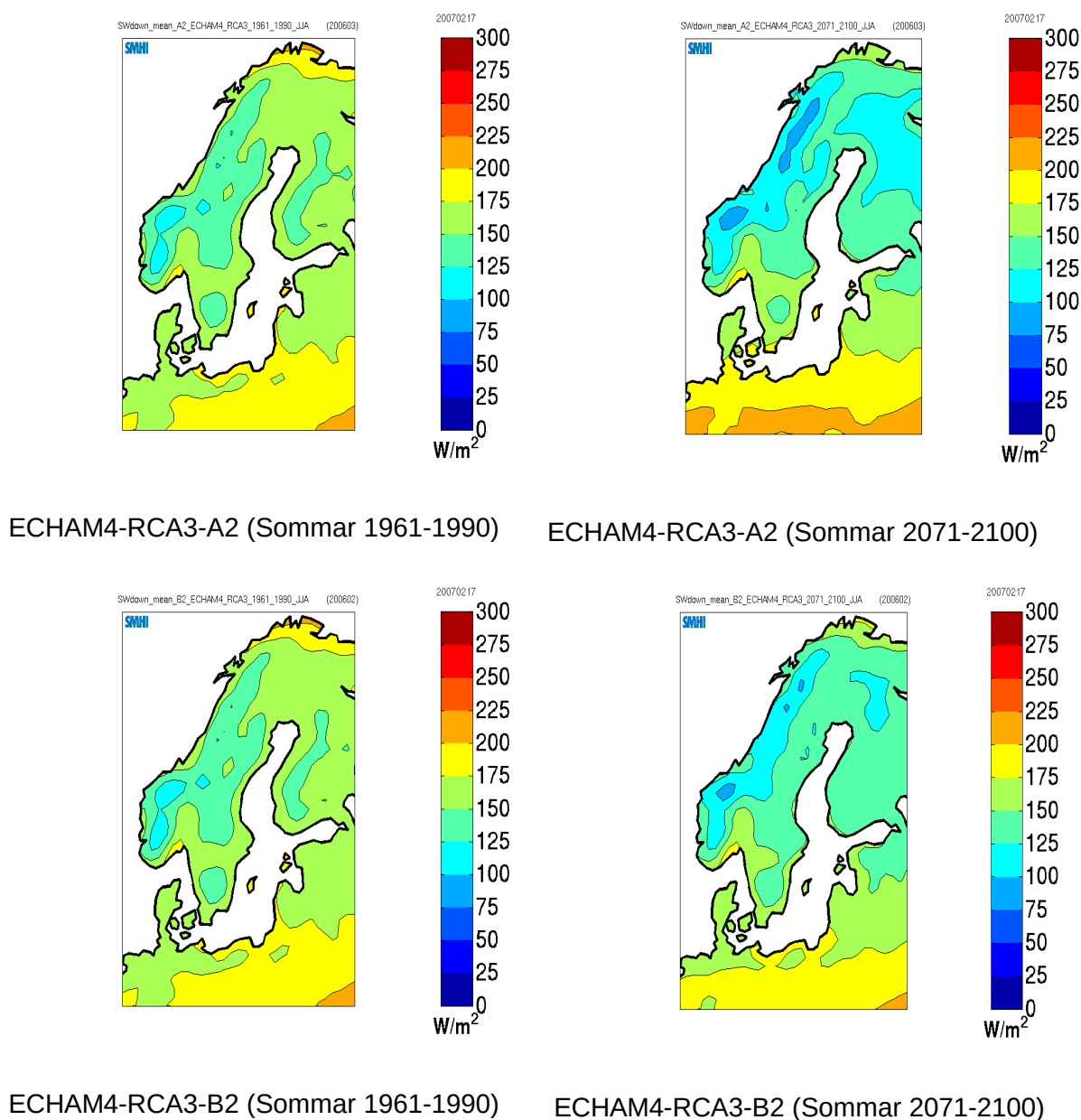
Notera att de klimatscenarier som användes inom dessa studier huvudsakligen skiljer sig från det som har använts tidigare i denna rapport. Klimatscenarierna har tagits fram utgående från två olika globala klimatmodeller HadAM3H och ECHAM4/OPYC3 och två utsläppscenarier, A2 och B2. I tillägg till detta har två olika regionala modellversioner använts, RCAO och RCA3.

4.11.1 Solinstrålning

Långvågig strålning i Stockholms län varierar beroende på säsong från ca 250-300 W/m² på vintern till ca 325-375 W/m² under sommaren. Strålningsintensiteten i de framtida klimatscenarierna är dock ungefär oförändrad oberoende av säsong.

Medelvärdet för kortvågig strålning är hög under sommaren, ca 150 W/m², och nära noll under vintermånaderna. De framtida scenarierna visar att kortvågig strålning i stort sett är oförändrad under vinter och höst medan den minskar något under vår och sommar. Se exempel för klimatscenarierna RCA3-ECHAM4-A2 och RCA3-ECHAM4-B2 under sommarmånaderna i Figur 4-72.

Antalet soltimmar förväntas för Stockholms län bli i stort sett oförändrad i framtida klimatscenarier enligt klimatberäkningarna.

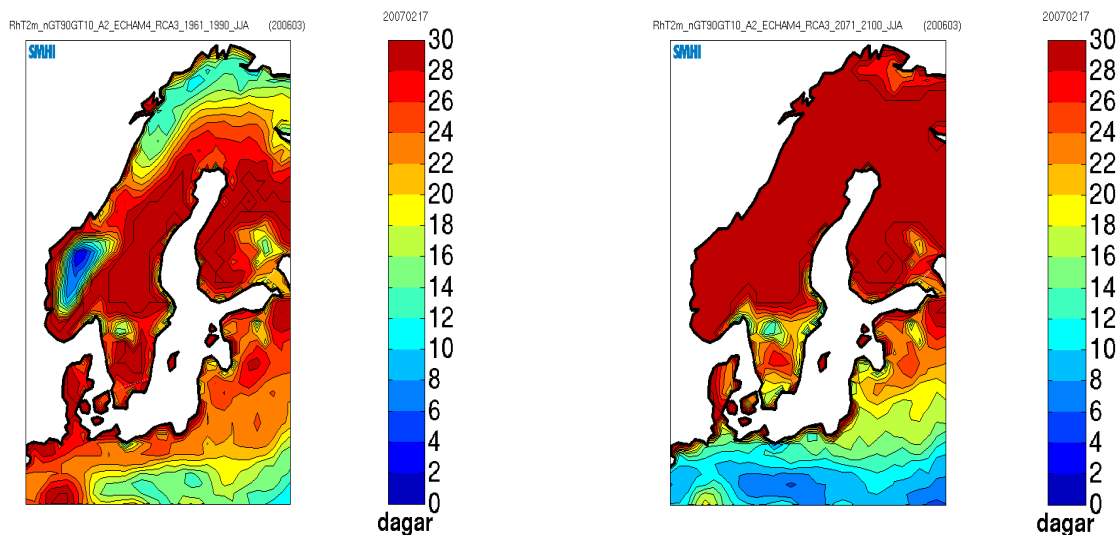


Figur 4-72. Beräknad kortvågig strålning under sommarmånaderna juni, juli och augusti. Tidsperioden 1961-1990 finns i den vänstra kolumnen och den framtida perioden 2071-2100 finns i den högra. En liten minskning kan ses för Stockholms län mellan de båda tidsperioderna. Från Persson, m. fl.,(2007).

4.11.2 Relativ luftfuktighet och temperatur ("Mögelindex")

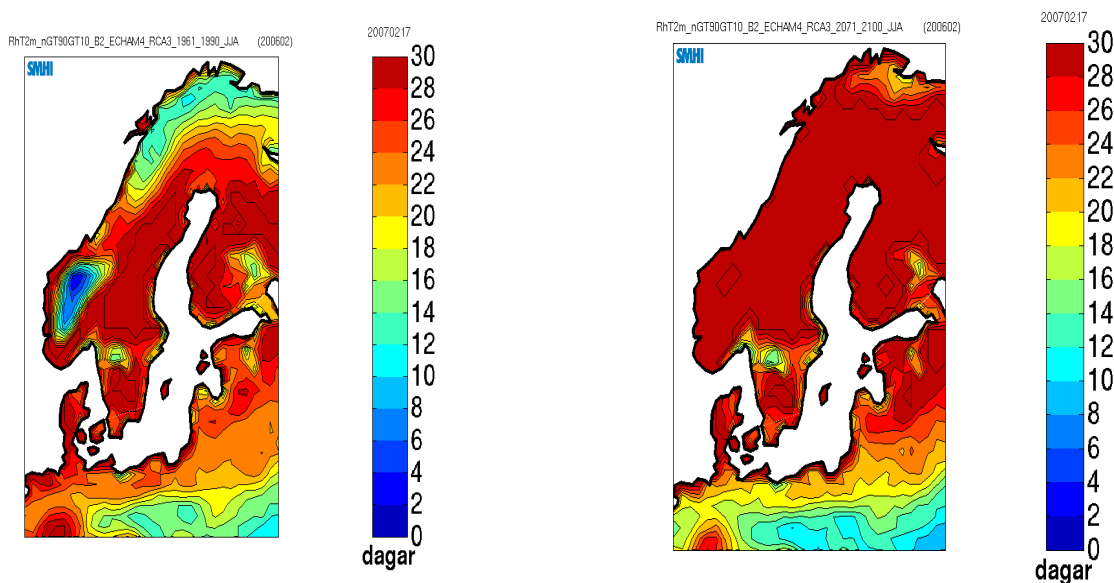
En hög relativ luftfuktighet kan förorsaka problem med mögelangrepp i byggnader. Persson m.fl., (2007) tog därför fram ett "mögelindex" genom att studera antalet dagar med en medelluftfuktighet på över 90 %, i kombination med en medeltemperatur på över 10 °C. Under sommaren är antalet dagar med sådana förhållanden högt i Skandinavien och ligger på omkring tre veckor.

För Stockholms län förändras antalet mögeldagar i stort sett ingenting. De stora förändringarna förväntas ske i norra delen av Sverige. Se exempel för klimatscenarierna RCA3-ECHAM4-A2 och RCA3-ECHAM4-B2 under sommarmånaderna i Figur 4-73.



ECHAM4-RCA3-A2 (Sommar 1961-1990)

ECHAM4-RCA3-A2 (Sommar 2071-2100)



ECHAM4-RCA3-B2 (Sommar 1961-1990)

ECHAM4-RCA3-B2 (Sommar 2071-2100)

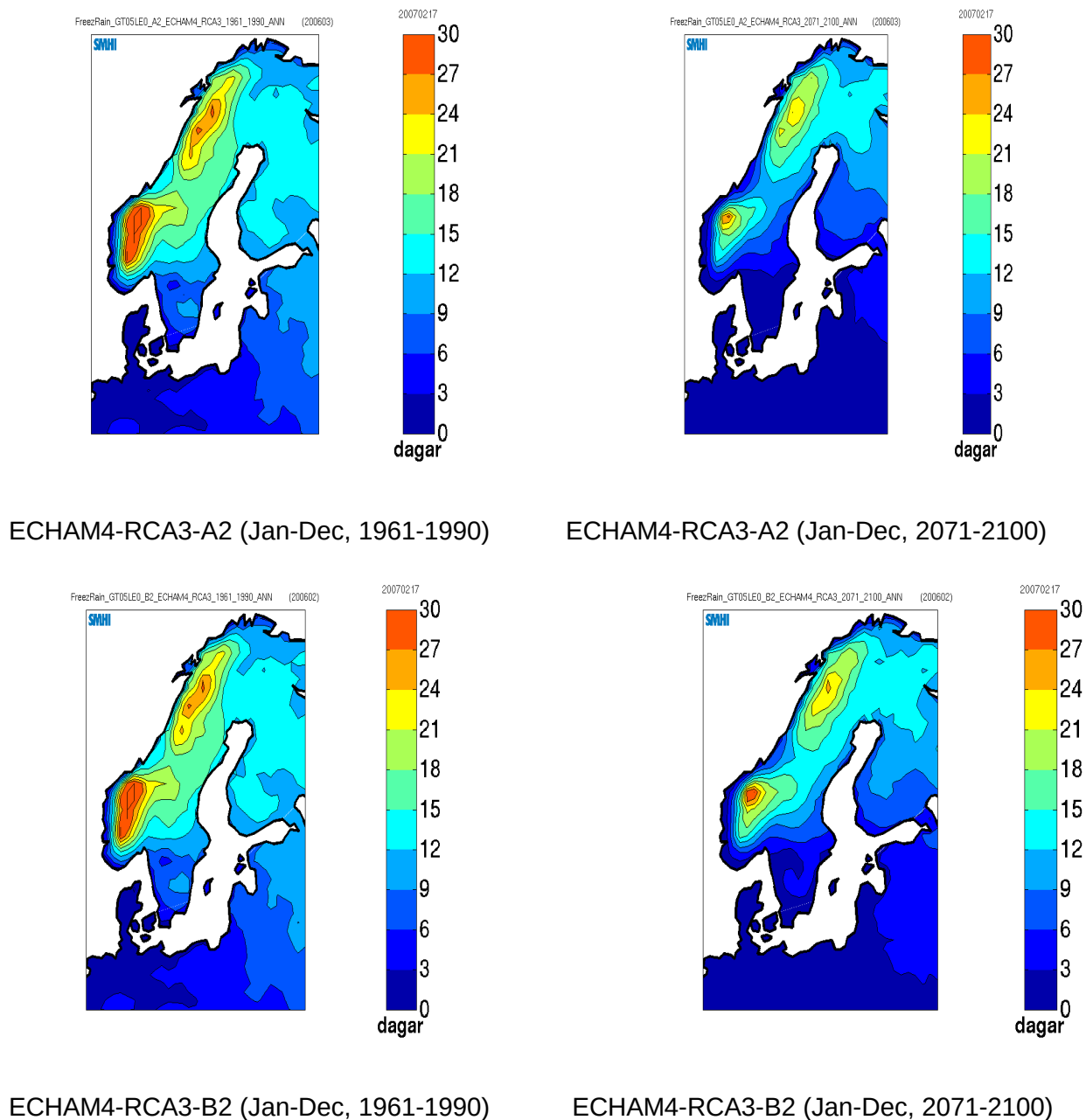
Figur 4-73.

Beräknat antal mögeldagar under sommarmånaderna juni, juli och augusti. Tidsperioden 1961-1990 finns i den vänstra kolumnen och den framtida perioden 2071-2100 finns i den högra. Detta gäller för de båda klimatscenarierna som visas. Ingen större skillnad kan ses för Stockholms län mellan de båda tidsperioderna. Från Persson, m. fl., (2007).

4.11.3 Underkyllt regn

Ett index togs även fram för att fånga väderförhållanden med risk för underkyllt regn. Indexet beräknades som antalet dagar med en maxtemperatur som inte når över smältpunkten i kombination med mer än 0,5 mm regn.

Framtida förekomst av underkyllt regn kommer att bestämmas av förändring av nederbörd samt förändring i temperatur. För Stockholms län kommer underkyllt regn att bli mer ovanligt som en följd av det varmare klimatet. Se exempel för klimatscenarierna RCA3-ECHAM4-A2 och RCA3-ECHAM4-B2 i Figur 4-74.



Figur 4-74. Figurerna visar årsvisa medelvärdet av antalet dagar med underkyllt regn. Tidsperioden 1961-1990 finns i den vänstra kolumnen och den framtida perioden 2071-2100 finns i den högra. Detta gäller för de båda klimatscenarierna som visas. För Stockholms län kan en minskning av antalet dagar ses som en följd av det varmare klimatet. Från Persson, m. fl., (2007).

4.11.4 Dagnummer för islossning i sjöar

Antal dagar med istäckta sjöar samt isens tjocklek kommer att minska i Skandinavien.

I dagens klimat inträffar islossning för sjöar i södra delen av Sverige ungefär kring dagnummer 40-70. Förändringen i framtida scenarier visar att 2011-2040 kommer islossningen att starta omkring en månad tidigare. För perioden 2071-2100 pekade de framtida scenarierna på att islossning kommer att ske 50-60 dagar tidigare i södra Sverige.

4.11.5 Salthalt, temperatur och isutbredning i havet

Östersjöns havsis förväntas minska kraftigt i framtida klimat. Issäsongen blir kortare och isens maximala geografiska utbredning minskar.

Salthalten i Östersjön kommer i ett framtida klimat att förändras till följd av förändrade vindmönster och förändrad avrinning. Osäkerheten är emellertid stor beträffande förändringens omfattning. De flesta modellberäkningarna tyder på en minskning av salthalten, även om det inte är entydigt.

Ytvattentemperaturen i havet kommer att stiga i takt med att lufttemperaturen stiger. Ökningen av ytvattentemperatur på årsbasis förväntas bli omkring 2-4 °C, men skiljer sig åt mellan de olika klimatscenierna.

5 Slutsatser

I föreliggande rapport redovisas en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Stockholms län såväl under dagens klimatförhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100.

För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett antal klimatscenarier utnyttjats i arbetet. Detta urval är baserat på vad som varit tillgängligt vid SMHIs forskningsavdelning när rapporten skrevs. Scenarierna representerar en god bredd av den internationella forskningens resultat och är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007. Den stora spridningen mellan olika klimatmodeller ger en mer nyanserad bild än vad som tidigare varit fallet. Beräkningarna visar exempelvis att vi inte kan utesluta att det inträffar riktigt kalla vintrar åtminstone under en kommande 30-års period. Man bör vara medveten om att klimatforskningen ständigt kommer med nya resultat som kan komma modifiera bilden ytterligare.

Följande huvuddrag framgår av föreliggande klimatanalyser:

- Klimatberäkningarna visar en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Men de visar också på stor spridning. Temperaturökningen är störst under vinterperioden men framträder under alla årstider. Förändringen av årsmedeltemperaturen ligger i medeltal på cirka 4-6 °C ökning mot slutet av seklet.
- Förändringen av årsmedelnederbörd ligger i medeltal på en ökning med 10 % till 30 % i slutet av seklet. Den största ökningen av nederbörden sker under vinterhalvåret.
- Analyser av extrem nederbörd visar på stor spridning. Medelvärde för förändringen från två oberoende analyser av intensiv korttidsnederbörd och extrem dygnsnederbörd är cirka 20 % under seklet.
- Snötillgången beräknas enligt samtliga beräkningar minska avsevärt i Stockholms län efterhand som klimatet blir varmare. Snöns maximala vatteninnehåll beräknas minska med ca 70 % under seklet. Resultaten från beräkningarna visar att antalet dagar med snö på marken kommer att minska med mellan 65 och 100 dagar.

- Vattenföringens säsongsvariation går mot en flödesregim med högre flöden under höst och vinter och lägre vårflood. Dessa förändringar syns tydligast mot slutet av detta sekel. Det kan bli ökad risk för torka och vattenbrist under sommaren. Grundvattenförhållanden påverkas i motsvarande grad.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet väntas minska i de flesta av länets vattendrag.
- Det finns idag inget vetenskapligt underlag som entydigt visar på ändrade risker för kraftiga stormar i framtiden i Stockholms län. Men man bör vara beredd på att nya resultat från forskningen kan komma att ändra denna slutsats i framtiden.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden i Stockholms län kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras. Kraftiga värmeböljor beräknas bli allt vanligare vilket ökar behovet av kyla i byggnader samtidigt som riskerna för skogsbränder beräknas öka. Samtidigt pekar analyserna mot en successiv minskning av dagar med nollgenomgång av dygnstemperaturen samtidigt som uppvärmningsbehovet minskar då vintrarna blir mildare. Tjälén förväntas också tränga mindre djupt ner i marken i ett varmare klimat. Det mildare klimatet medför också en kraftig förlängning av vegetationsperioden i länet.

För bedömningen av framtidens havsnivåer har i första hand en sammanställning från olika internationella källor utnyttjats. Även här råder stor osäkerhet, men det tycks som om det för närvarande är rimligt att anta att världshaven som högst stiger upp emot en meter från 1990 till slutet av 2100. Detta antagande har använts i denna studie. För den fortsatta utvecklingen har vi antagit att havet stiger 2 m fram till 2200. Denna relativt snabba stigning av havsnivåerna förutsätter en fortsatt drastisk ökning av utsläppen av växthusgaser under seklet. I utredningen har den globala havsnivåhöjningen omräknats till regionala effekter för länets kustkommuner i Stockholms län med hänsyn tagen till bl.a. landhöjningen.

Beträffande framtidens översvämningsrisker i Stockholms län så måste man hålla isär olika typer av problem. Det gäller lokala översvämnningar på grund av skyfall, problem med höga flöden i vattendrag samt riskerna med höga havsnivåer. Mälaren intar dessutom en särställning eftersom riskerna beror av ett flertal samverkande faktorer. Generellt kan man dock dra följande slutsatser om framtidens översvämningsrisker i Stockholms län:

- Lokala översvämningsproblem kopplade till skyfall väntas öka generellt, eftersom de flesta klimatberäkningarna pekar mot ökad risk för kraftiga regn.
- Översvämningsproblem kopplade till vattendragen i länet väntas minska något efterhand som det blir mindre snö och kraftigare avdunstning i ett varmare klimat.
- Risker för översvämnningar på grund av höga havsnivåer förändras endast långsamt och kompenseras till en början av landhöjningen. Först från mitten av seklet börjar effekten av ett stigande världshav ge sig till känna. Bortom år 2100 kan effekterna av ett stigande världshav bli betydande för Stockholms län.
- För närvarande betyder kortvariga oväder med lågt lufttryck och kraftig vind mer för översvämningsrisken än den globala höjningen av havsnivån. Ökningen på lång sikt av de mest extrema nivåerna varierar regionalt och beräknas bli något större än ökningen av årsmedelvärdet. Föreliggande beräkningar av extremvärden bygger på en modellberäkning med ett klimatscenario. Det pågår för närvarande forskning vid SMHI, med nya klimatscenarier, vilket väntas leda till nya resultat under 2013.

De översvämningsrisker som är kopplade till Mälaren är idag oacceptabelt stora. Det dimensionerande vattenståndet är enligt genomförda beräkningar mer än 6 m i Mälarens höjdsystem, det vill säga drygt 1,3 m högre än den högsta tillåtna nivån enligt vattendomen. Redan ett flöde med en återkomsttid på 100 år skulle resultera i nivåer över 5 m om det samtidigt är ett högt vattenstånd i havet.

I samband med den ombyggnad av Slussen, som Stockholms stad förbereder, avser man att öka förmågan att tappa vatten från Mälaren, från dagens kapacitet på 800 m³/s till 2000 m³/s, för att minska översvämningsriskerna. Den utökade tappningsförmågan i kombination med en ny reglering av Mälaren gör att översvämningsriskerna därefter kommer att kunna kontrolleras och att översvämningsrisken inte längre kommer att vara ett hot i tidsperspektivet 50 -100 år.

När havet stiger kommer antalet tillfällen då Saltsjön står högre än Mälaren att öka från ca 2 dagar/år med dagens nivåskillnad mellan Mälaren och Saltsjön, till ca 23 dagar/år då havets nivå höjs +30 cm respektive ca 75 dagar/år då havets nivå höjs +50 cm. Detta betyder att de kulvertar som har förbindelse med Mälaren behöver kunna stängas för att undvika saltvatteninträngning.

Hur översvämningsrisken ändras i ett framtida klimat beror främst på ändringar i tillrinningsmönster och nettohöjning av havsvattenståndet (Stockholms landhöjning verkar åt motsatt håll). Den kombinerade effekten av dessa faktorer pekar på att den planerade tappningskapaciteten är tillräcklig även under framtida klimatförhållanden, men att den skapade marginalen successivt kan komma att minska på grund av stigande havsnivåer. Gränsen för vad som kan hanteras med den planerade nya utformningen av Slussen är en nettohöjning av havets nivå med ca + 50 cm.

Eftersom det sker en snabb ekonomisk utveckling i Stockholms län med ständig utbyggnad och omformning av bebyggelse och infrastruktur så ändras förutsättningar och riskexponering kontinuerligt. Detta är en faktor som troligen påverkar framtidens översvämningsrisker i minst lika hög grad som ett förändrat klimat.

6 Referenser

Alexandersson, H. (2006) *Vindstatistik för Sverige 1961 – 2004*. SMHI Meteorologi nr. 121, Norrköping.

Andréasson, J. och Gardelin, M. (2008) *Dimensioneringsberäkning för Mälaren – delrapport inom projekt Slussen*. SMHI Rapport Nr 2008-19.

Andreasson, J. och Gustavsson, H. (2010) *Förslag på Mälarens framtida reglering – Slutrapport fas 3*. SMHI-rapport nr. 2010-16.

Andréasson, J. och Hellström, S-S. (2008) *Tappningsanalys för Mälaren utgående från flödet år 2000 omskalat till olika återkomsttider*, SMHI-PM 2008-10-22.

Andréasson, J., Bergström, S. och Gardelin, M. (2009) *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Delrapport från SMHI till Elforsk, november 2009.

Bergström S., Andréasson J., Stensen B., Wern L. (2010) *Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen*, SMHI, Rapport Nr 2010-78.

Bergström, S., Andréasson, J. och Hellström, S-S. (2006) *Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem –Hydrologiskt underlag till Klimat och sårbarhetsutredningen*, SMHI Reports Hydrology, RH20, Norrköping.

Copenhagen Diagnosis (2009) *Updating the World on the Latest Climate Science*. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindshadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.

Deltacommissie (2008) *Working together with water - A living land builds for its future. Findings of the Deltacommissie 2008*. www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf.

Ehlert, K. (1970). *Mälarens hydrologi och inverkan på denna av alternativa vattenavledningar från Mälaren*. SMHI Serie hydrologi: Nr 8.

Gardelin, M., Andréasson, J., Sahlberg, J., Stensen, B. (2010) Klimatscenarier Brandrisk HBV – Delrapport Etapp 1. SMHI Rapport Nr 2010-33.

Hay L.E., Wilby R.L., Leavesley G.H. (2000) *A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States*. J Am Water Resour Assoc 36(2):387–397.

IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Johansson, B. (2000) *Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective*. Nordic Hydrology, 31, 207-228.

Johansson, B. and Chen, D. (2003) *The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling*. International Journal of Climatology, 23, 1523-1535.

Johansson, B. and Chen, D. (2005) *Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden*. Climate Research, 29, 53-61.

Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. och Bergström, S. (1997) *Development and test of the distributed HBV-96 model*. Journal of Hydrology, 201, 272-288.

Lindström G., S-S. Hellström, *Simulering av tjäldjup i ett framtida klimat* (2007-05-21)

Lowe, J. A., Howard, T. P., Pardaens, A., Tinker, J., Holt, J., Wakelin, S., Milne, G., Leake, J., Wolf, J., Horsburgh, K., Reeder, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S., Bradley, S. (2009) *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/images/stories/marine_pdfs/UKP09_Marine_report.pdf

Ministry of Natural Resources and Environment (2009) *Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Vietnam*. Report from the Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam, Hanoi.

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.

Naturvårdsverket (2007) *FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare*. Rapport 5677, Stockholm.

Nerheim, S. och Wern, L. (2008) *Havsvattenstånd i Saltsjön – nu och i framtiden*. SMHI Rapport Nr 2008-18.

Netherlands Environmental Assessment Agency, Royal Netherlands Meteorological Institute and Wageningen University and Research Centre (2009) *News in Climate Science and Exploring Boundaries - A Policy brief on developments since the IPCC AR4 report in 2007*. Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven, November 2009 PBL publication number 500114013.

NOAA (2009) *NOAA Response to Congressional Questions Regarding Climate Change*. The Honorable Joe Barton and the Honorable Fred Upton. Questions for the Record from the March 25, 2009 Hearing on Climate Adaptation. Response Updated November 2009 to Include Additional Graphic (www.noaa.gov/images/climate_cooling_testimony111909.pdf).

Ojala L., Thunholm B., Persson G., Bergmark M. (2007) *Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – underlag för analys*. SGU-rapport 2007:9.

Olsson, J. och Willén, U. (2010) *Downscaling extreme RCA3-precipitation for urban hydrological applications*. Mistra-SWECIA Working Paper No 3. (<http://www.mistra-swecia.se/download/18.49ec666b1288411134c8000108/Mistra-SWECIA+Working+Paper+No+3.pdf>) .

- Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M., and Viklander, M. (2009a) *Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: a case study in Kalmar City, Sweden*, Atmos. Res., 92, 364-375.
- Olsson, J., Dahné, J., German, J., Westergren, B., von Scherling, M., Ohls, F., Olson, A. (2010) *En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem*. SMHI:s rapportserie Klimatologi, nr 3, 2010.
- Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G. and Ullerstig, A. (2010) *Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations*. Tellus A, no. doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x.
- Persson, G., Barring, L., Kjellström, E., Strandberg, G., Rummukainen, M. (2007) *Climate indices for vulnerability assessments*. SMHI Reports Meteorology and Climatology.
- Raab, B., Vedin, H. (2004) *Klimat, Sjöar och vattendrag*. Andra utgåvan, SNA.
- Rodhe A., Lindström G., Dahné J. (2009) *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat*. http://www.sgu.se/dokument/fou_extern/Rodhe-Lindstrom-Dahne_2009.pdf
- Räddningsverket (2001). *Översiktlig översvämningskartering för Mälaren*. Rapport 22, 2001-10-23.
- Sanner, H. och Hellström, S-S. (2007) *Förslag på ny reglering av Mälaren fas 1*. SMHI Rapport Nr 2007-51.
- SGI (2011) *Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län – för dagens och framtidens klimat*. Dnr 2-1003-0202, Statens geotekniska institut, Linköping.
- SGU (2010) *Grundvattennivåer och vatten - försörjning vid ett förändrat klimat*. SGU-rapport 2010:12.
- SLU (1998) *Biogeofysiken introduktion*, SLU, Institutionen för markvetenskap, Avd. meddelande 98:9, 1998.
- SOU (2006) *Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern*. Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU 2006:94. Stockholm.
- SOU (2007a). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60, Stockholm.
- SOU (2007b) *Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat*. Klimat- och sårbarhetsutredningen SOU 2007:60, bilaga B14.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007) *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007*.
- SWECLIM (2001). *Expertstöd i klimatfrågan*, årsrapport.
- van der Linden P., och J.F.B. Mitchell (eds.) (2009) *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds) (2008) *Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: - an international scientific assessment*. International Scientific Assessment. Background document to Deltacommissie (2008).
- Wern, L. och Barring, L. (2009) *Sveriges vindklimat 1901-2008 - Analys av förändring i geostrofisk vind*. SMHI Meteorologi nr 138. Norrköping.

Yang, W., Andréasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J and Wetterhall, F. (2010) *Distribution based scaling to improve usability of RCM projections for hydrological climate change impacts studies*. Hydrology Research, 41.3-4, 211-229.

Hemsidor:

www.lantmateriet.se (2010) Ny nationell höjdmodell

www.smhi.se (2010) Flödesstatistik för Sveriges vattendrag

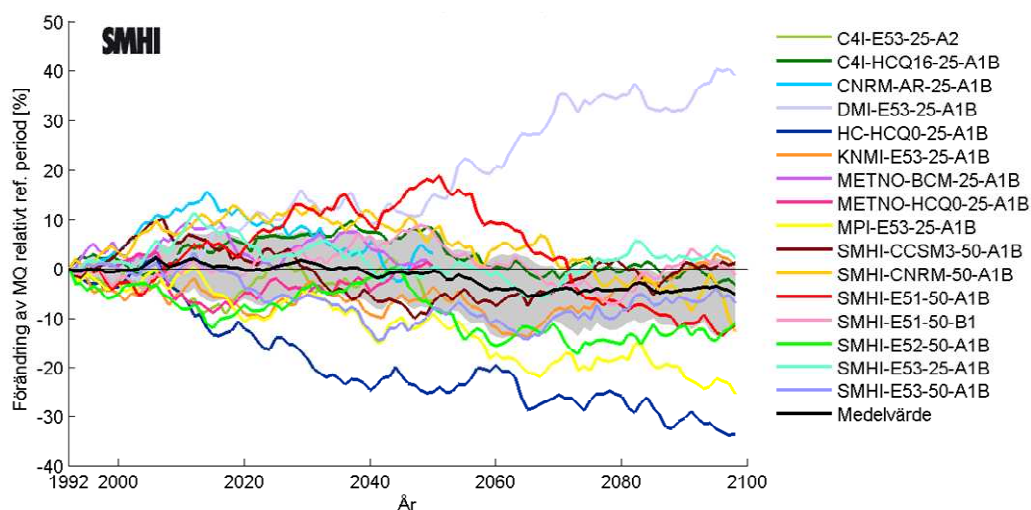
Lantmäteriet - Om referenssystem och höjdsystem.

http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4210

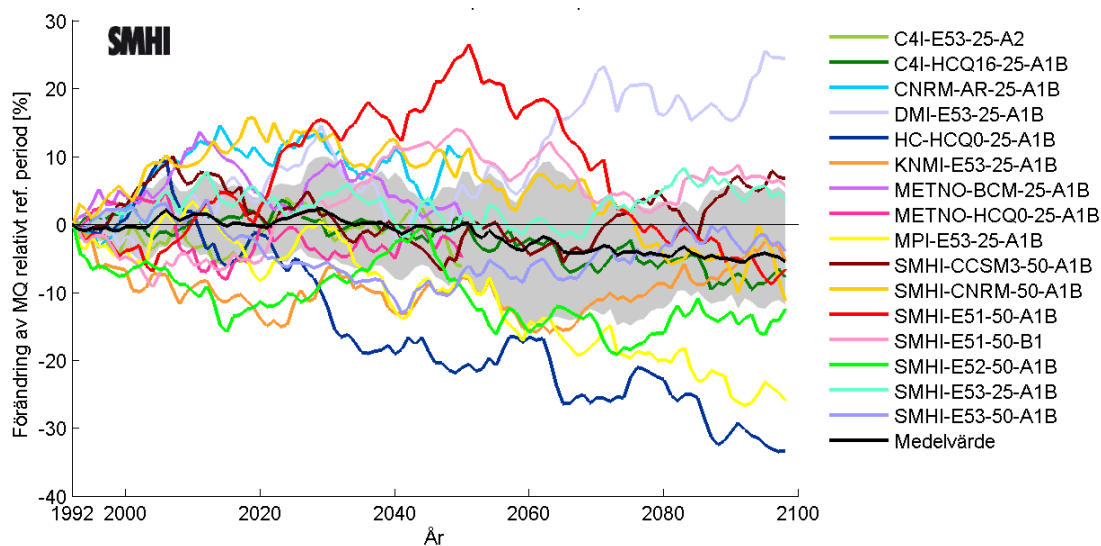
7 Appendix A

Resultatgrafer med samtliga scenarier redovisas i följande stycken för framtida klimatpåverkade årsmedelflöden, 100-årsflöden samt för snömax och snödagar.

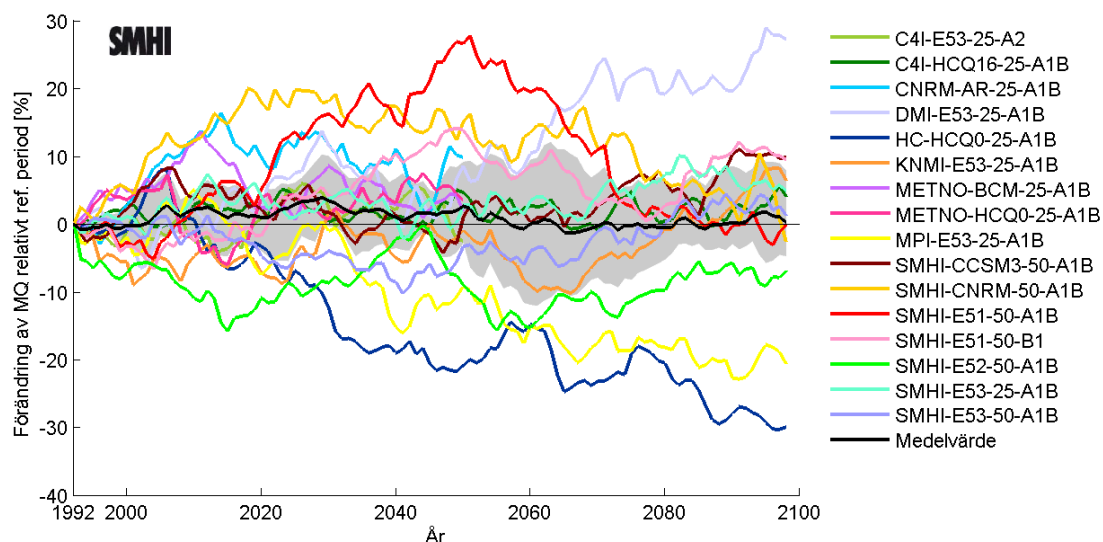
7.1 Framtida förändring av årsmedeltillrinning



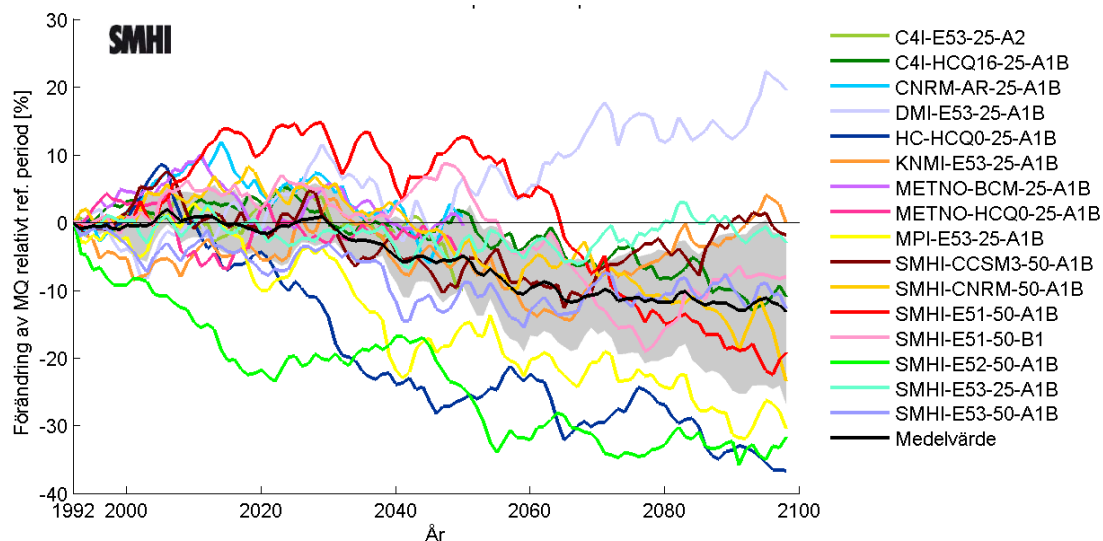
Figur 7-1. Procentuell förändring av **Mälarens** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 7-2. Procentuell förändring av **Norrtäljeåns** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

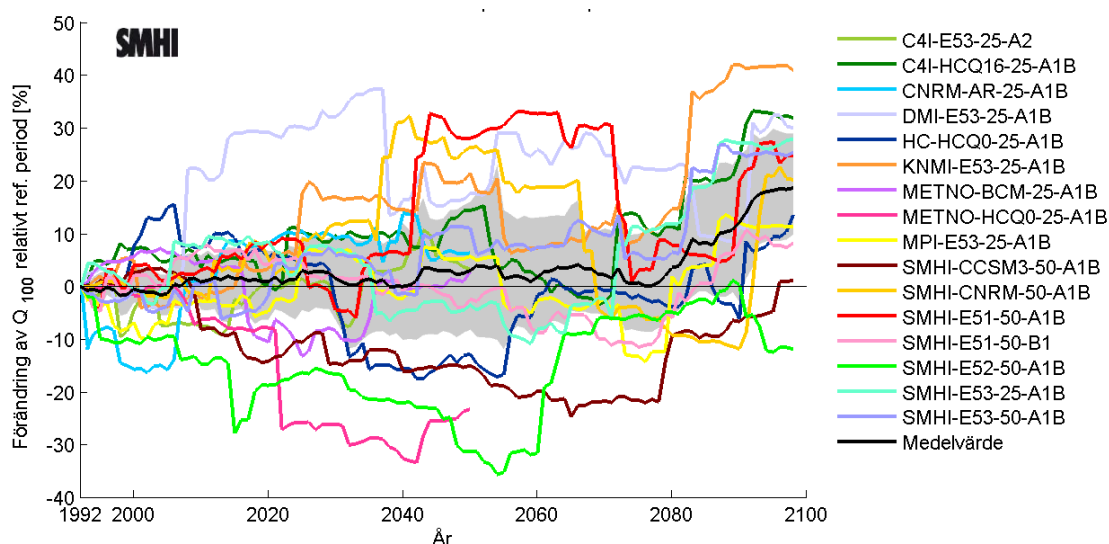


Figur 7-3. Procentuell förändring av **Oxundaåns** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

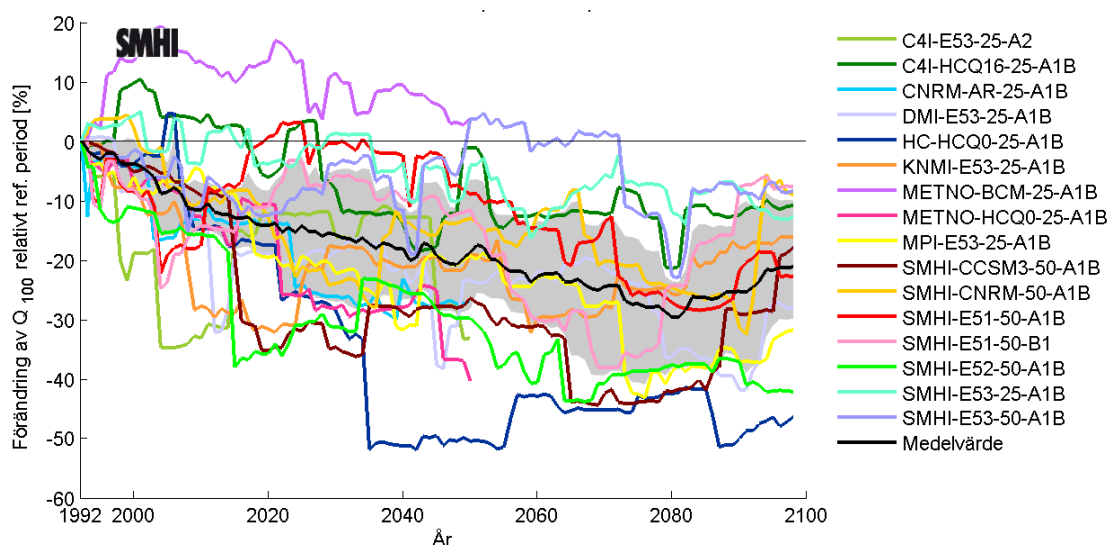


Figur 7-4. Procentuell förändring av **Tyresåns** totala årsmedeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

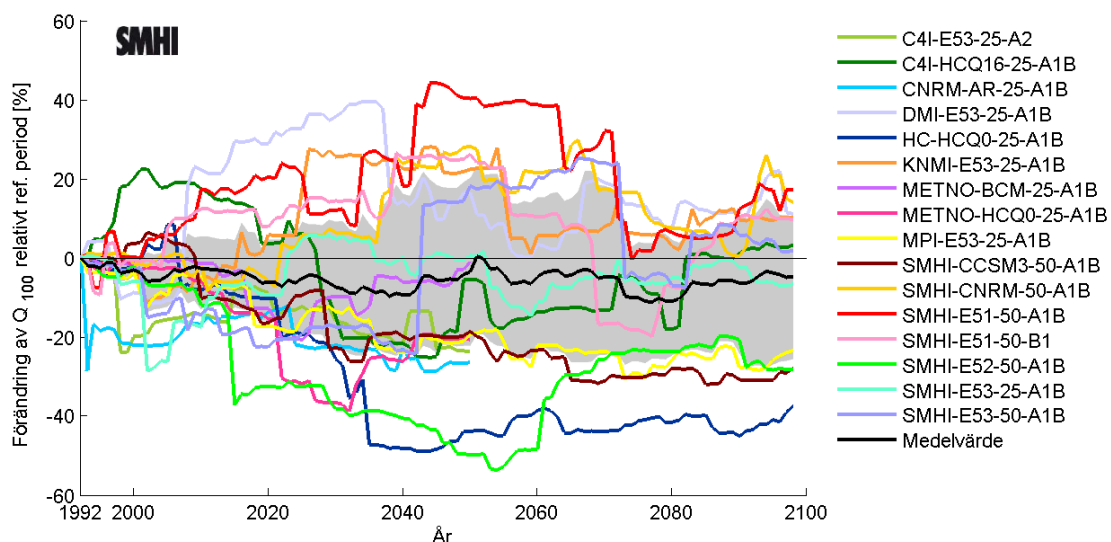
7.2 100-årsflödets framtida förändring



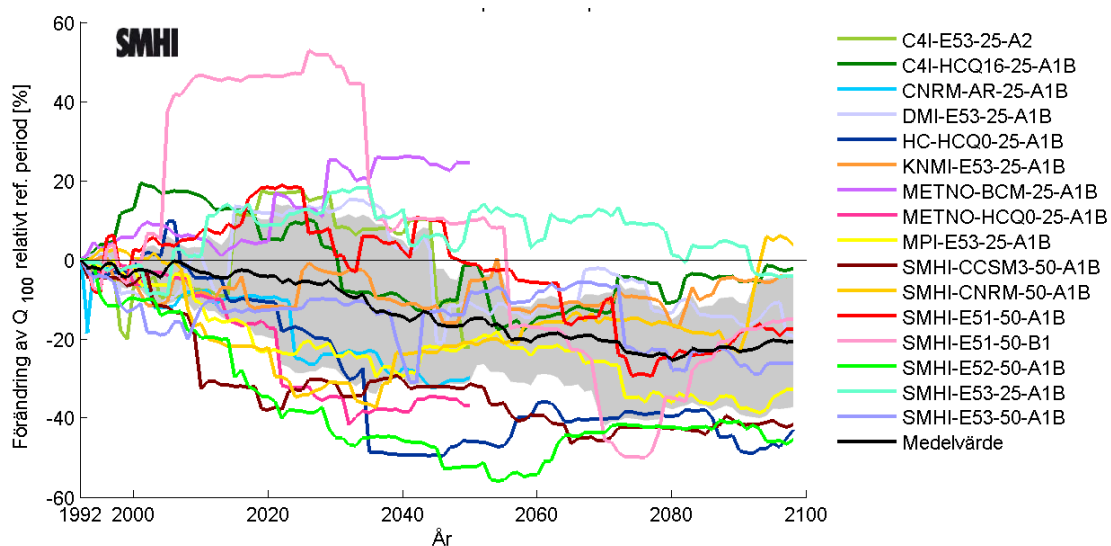
Figur 7-5. Procentuell förändring av **Mälarens** totala 100-årsstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 7-6. Procentuell förändring av **Norrtäljeåns** totala 100-årsstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

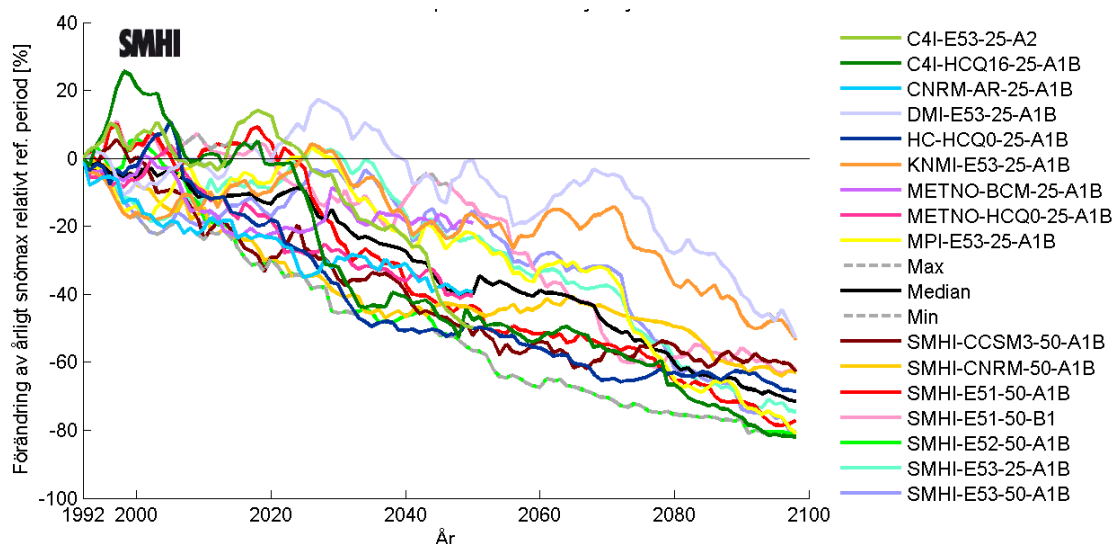


Figur 7-7. Procentuell förändring av **Oxundaåns** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

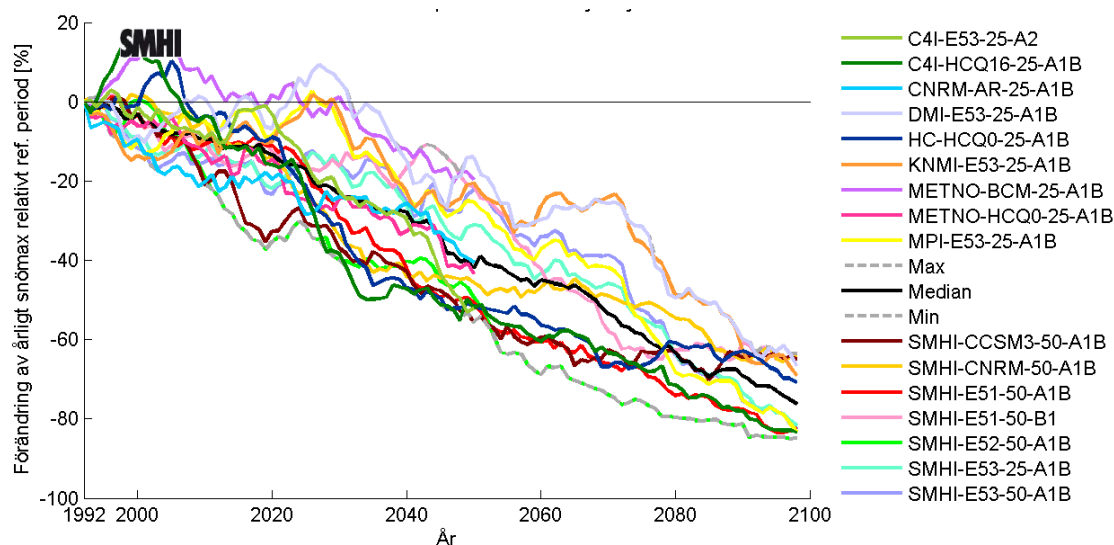


Figur 7-8. Procentuell förändring av **Tyresåns** totala 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

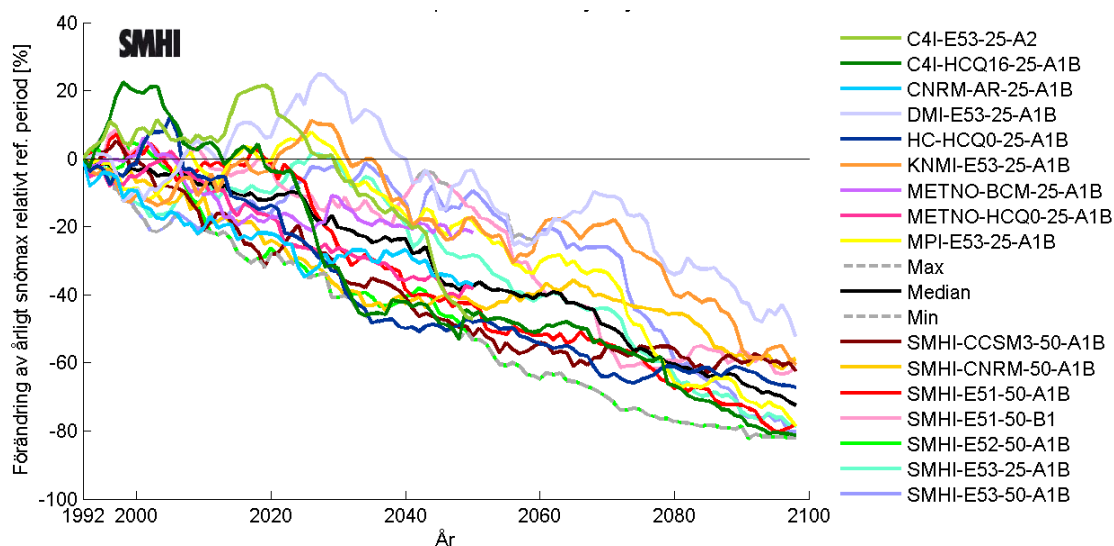
7.3 Framtida förändring av snömax



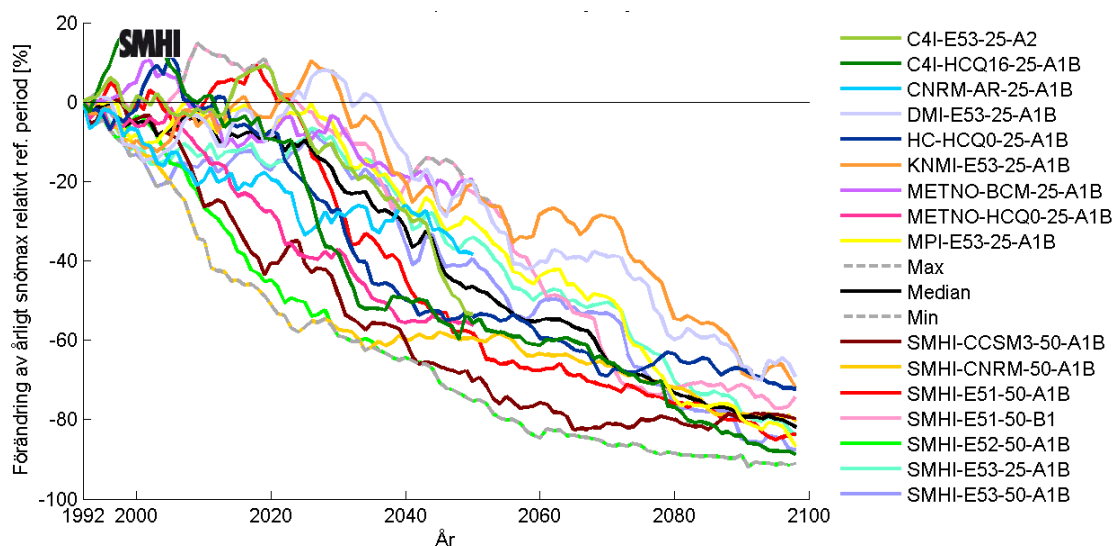
Figur 7-9. Beräknad framtida förändring av snömax för **Mälarens** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är ca 45 mm.



Figur 7-10. Beräknad förändring av snömax för **Norrtäljeåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är 80 mm.

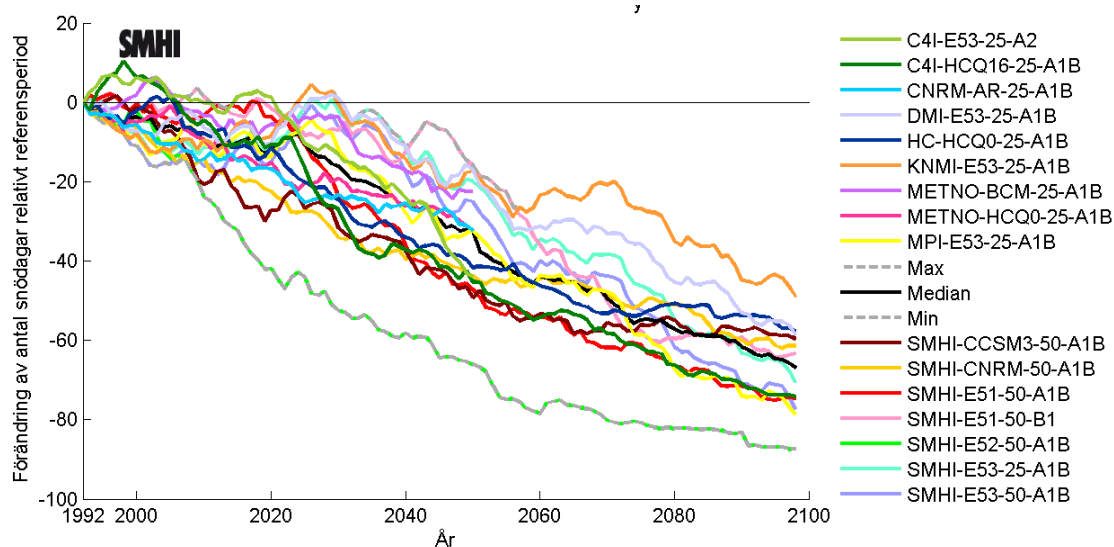


Figur 7-11. Beräknad förändring av snömax för **Oxundaåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är 50 mm.

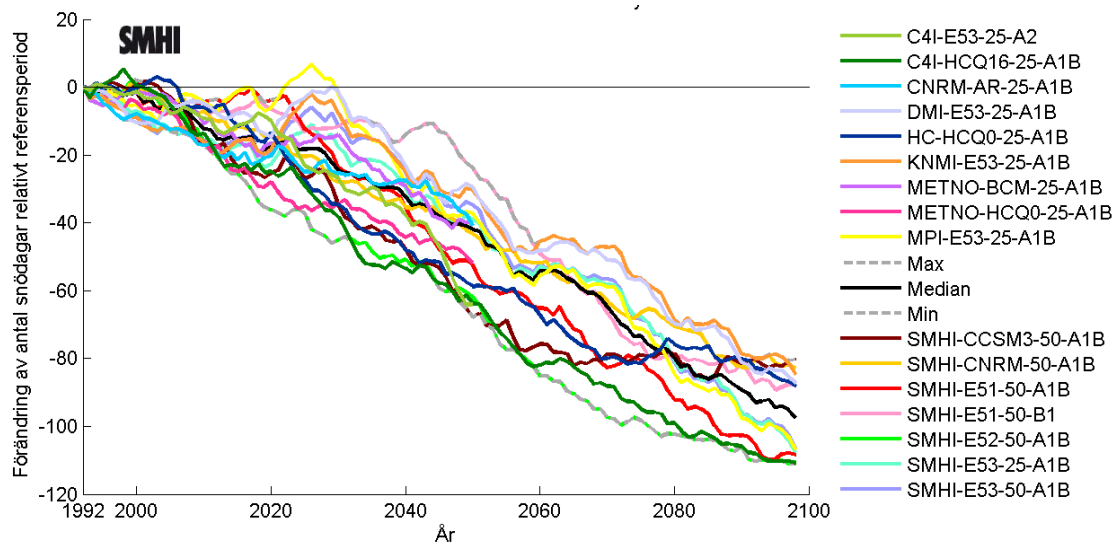


Figur 7-12. Beräknad förändring av snömax för **Tyresåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Medel av beräknad snömax för referensperioden är 80 mm.

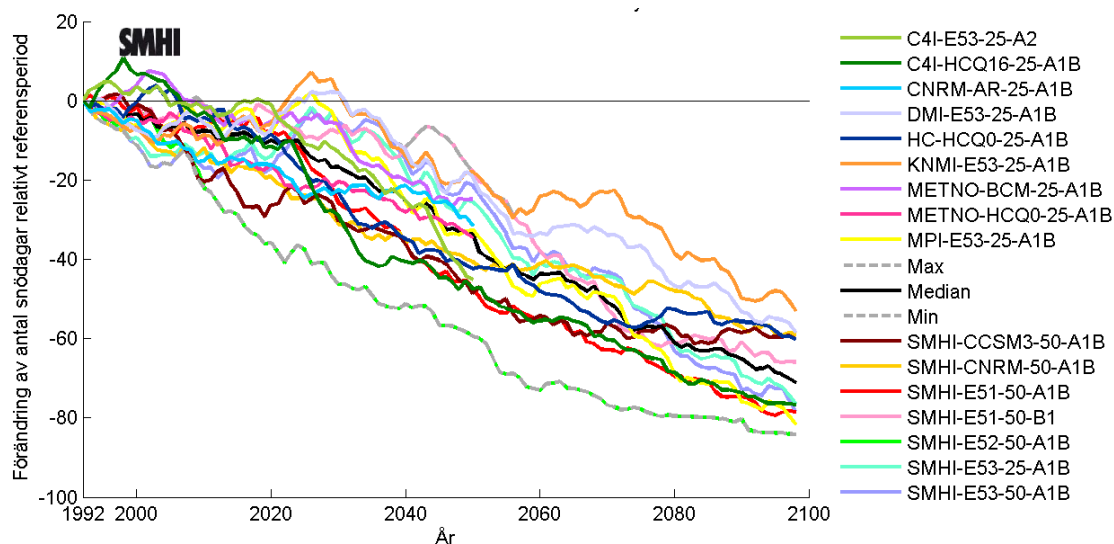
7.4 Framtida förändring av antal snödag



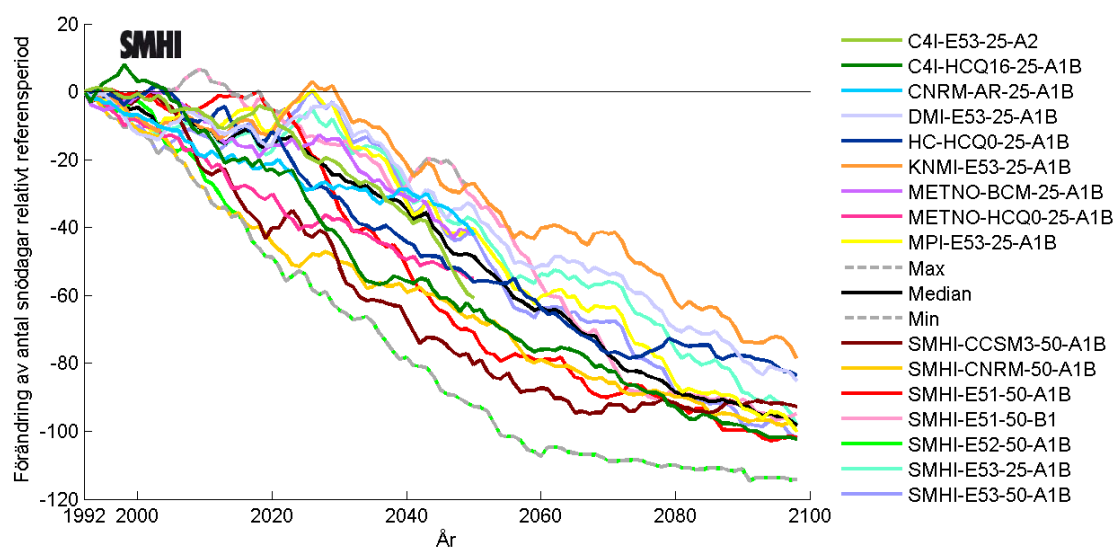
Figur 7-13. Beräknad förändring av snödag för **Mälarens** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snödag under referensperioden är 75 – 100 dagar.



Figur 7-14. Beräknad förändring av snödag för **Norrtäljeåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snödag under referensperioden är 100 – 125 dagar.



Figur 7-15. Beräknad förändring av snöddagar för **Oxundaåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snöddagar under referensperioden är 75 – 100 dagar.



Figur 7-16. Beräknad förändring av snöddagar för **Tyresåns** avrinningsområde jämfört med referensperioden 1963-1992. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar. Observerat antal snöddagar under referensperioden är 75 – 100 dagar.



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