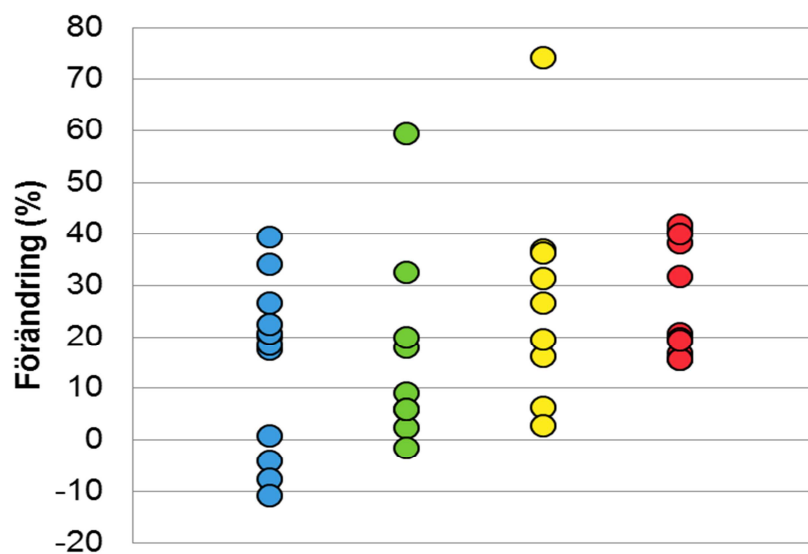


Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker

Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist



Pärmbilden föreställer procentuell förändring av 100-års vattenföring för Ätran i slutet av seklet enligt olika klimatscenarier.

KLIMATOLOGI Nr 38, 2015

Från utsläppsscenarier till lokal nederbörd och översvämningsrisker

Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist

Sammanfattning

Inom det av MSB finansierade projektet "Nederbörd och översvämningar i framtiden Sverige – ett system till stöd för klimatanpassning" har SMHI ansvarat för hydrologisk och hydraulisk modellering samt framtagande av tidsserier med lokalt klimat för framtida förhållanden. Två metoder att bearbeta klimatdata har använts; SMHI:s Distributionsbaserad skalering (DBS) och en statistisk metod utarbetad vid Göteborgs universitet.

Hydrologiska modeller har satts upp för Ätran och Torneälven och har sedan använts för beräkningar med de framtagna tidsserierna, som omfattar både SRES- och RCP-scenarier. Flöden med 100 års och 200 års återkomsttid har därefter beräknats liksom Beräknat högsta flöde (Bhf).

Hydrauliska modeller för Falkenberg vid Ätran och Haparanda vid Torneälven har satts upp och beräkningar av vattennivåer har gjorts utifrån flödesberäkningarna och antaganden om havsnivåer. Därefter har översvämningsskikt applicerats på kartor.

Samtliga beräkningar pekar mot ökande årsmedeltemperatur och årsmedelnederbörd i framtiden. För Ätrons avrinningsområde beräknas att antalet dygnstemperaturer kring noll grader och kring 15°C minskar till förmån för fler dagar med 5-10°C och från 15°C uppemot 25°C. Dagar med mindre än 10 mm nederbörd blir färre och dagar med 10-40 mm ökar. För Torneälvens avrinningsområde ser de riktigt låga dygnstemperaturerna ut att minska och istället blir det fler dagar med temperaturer strax under noll grader. En ökning av antalet dagar med medeltemperaturer kring 15°C ökar. Dagar med några mm nederbörd minskar och dagar med 5-25 mm ökar.

Samtliga beräkningar pekar på ökad intensiv nederbörd och antalet torra dagar minskar enligt nästan alla beräkningar.

Generellt sett ökar samtliga beräknade flöden för Ätran och för Torneälven ser de ut att minska mot slutet av seklet.

Det dimensionerande snötäcket minskar för Ätran med 30-80%. Även för Torneälven ses minskande snötäcke i de flesta scenarier på ca 10-60%. Medeltillrinningen ser ut att öka både för Torneälven och för Ätran. Den maximala tillrinningen minskar troligen för Torneälven, vilket till stor del kan kopplas till mindre snömängder, och ökar för Ätran, vilket beror på ökad nederbörd. För Torneälven ses en förskjutning mot tidigare flödestoppar på våren, kopplat till en tidigare snösmältning.

Havsvattenståndet har stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir i Ätran. Havet påverkar vattennivåerna i mynningen vid Torneälven och längs kusten. Uppströms i Torneälven är det storleksordningen på flödet som styr vattennivåerna, och därmed risken för översvämning.

Summary

In this report methods and results are presented from downscaling of about 40 climate scenarios to local time series for two drainage areas; River Torneå in northern Sweden and River Ätran in southern Sweden. Hydrological and hydraulic modelling has been made and flood maps have been produced for the cities Haparanda and Falkenberg. A study of future extreme precipitation is also presented. The work was performed within the project "Future rainfall and flooding in Sweden" financed by the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB).

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	1
2	INLEDNING	1
3	FRÅN UTSLÄPPSNIVÅER TILL ÖVERSVÄMNINGSSKIKT	1
4	KLIMATSCENARIER	2
4.1	SRES	3
4.2	RCP	3
4.3	Klimatmodeller	4
5	NEDSKALNINGSMETODIK	5
5.1	Distributionsbaserad skalering	6
5.2	Stokastisk vädergeneratormodell	7
6	TEMPERATUR OCH NEDERBÖRD	10
6.1	Ätran	10
6.2	Torneälven	12
6.3	Jämförelse mellan nedskalningsmetoderna	14
7	INTENSIV NEDERBÖRD	18
7.1	Intensiv nederbörd i dagens klimat	18
7.2	Intensiv nederbörd i framtiden	19
8	HYDROLOGISK MODELLERING	30
8.1	Ätran	31
8.2	Torneälven	35
9	FLÖDEN I FRAMTIDA KLIMAT	35
9.1	Ätran	36
9.2	Torneälven	37
9.3	Jämförelse av beräkningar	39
10	HYDRAULISK MODELLERING	41
10.1	Metodik	41
10.2	Modellering	42
10.3	Modellverifiering	42
10.4	Effekter av forsar	42
10.5	Känslighetsanalys av havsvattenståndet	43
10.6	Beräkningsfall	44
11	RESULTAT FRÅN HYDRAULISK MODELLERING	45
11.1	Ätran	45

11.2	Torneälven.....	50
12	ÖVERSVÄMNINGSSKIKT.....	54
12.1	Metodik allmänt.....	54
12.2	Ätran	55
12.3	Torneälven.....	57
13	SAMMANFATTNING.....	58
14	REFERENSER	60
15	BILAGOR	61

1 Bakgrund

Klimatförändringar i Sverige kommer med stor sannolikhet att medföra större nederbördsmängder på många håll. Det ökar risken för översvämningar och påverkar samhällets klimatrelaterade sårbarhet. Projektet "Nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige – ett system till stöd för klimatanpassning" syftar till att bidra med metoder och kunskap i det pågående klimatanpassningsarbetet. Projektet finansieras av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och är ett samarbete mellan Göteborgs universitet (GU), SMHI och Karlstad universitet (KaU).

Projektet är indelat i ett antal olika arbetsmoment varav SMHI ansvarar för hydrologisk modellering och hydraulisk modellering. För framtagandet av tidsserier med lokalt klimat för framtida förhållanden har SMHI skalat ned regionala klimatdata med DBS-metoden och Göteborgs universitet har utvecklat en statistisk metod för nedskalning av globala klimatdata. Dessa tidsserier har sedan använts för den hydrologiska modelleringen.

2 Inledning

Globala klimatmodeller ger information om hur det framtida klimatet kan utvecklas. Resultaten har dock en grov horisontell upplösning, vanligen 200 km. De regionala klimatmodellerna har betydligt högre upplösning, vanligen 50 km.

För att kunna göra hydrologiska beräkningar på avrinningsområdesskala krävs dock ännu högre rumslig upplösning av data. Regionala klimatmodelldata kan inte direkt användas som indata för hydrologiska modeller. De beskriver inte klimatet tillräckligt väl på lokal skala. Därför krävs justeringar av tidsserierna.

I denna rapport redovisas metoder och resultat från nedskalning av olika klimatscenarier till lokala tidsserier för de två avrinningsområdena, Ätran och Torneälven. Två olika nedskalningsmetoder har använts.

Hydrologiska modeller har satts upp för Ätran och Torneälven och har sedan använts för beräkningar med de framtagna tidsserierna. Flöden med 100 års och 200 års återkomsttid har därefter beräknats samt Beräknat högsta flöde (Bhf).

Hydrauliska modeller för Falkenberg vid Ätran och Haparanda vid Torneälven har satts upp och beräkningar av vattennivåer gjorts utifrån flödesberäkningarna och antaganden om havsnivåer. Därefter har översvämningsskikt applicerats på kartor.

Analyser av intensiv nederbörd för Haparanda, Uppsala och Falkenberg redovisas även.

3 Från utsläppsnivåer till översvämningsskikt

Projektet har utgått från klimatberäkningar med globala och regionala klimatmodeller från internationella forskningsvärlden. Data har hämtats in och bearbetats med två olika metoder för att kunna användas i hydrologisk modellering. Metoderna är Stokastisk vädergenerator använd av Göteborgs universitet och Distributionsbaserad skalering (DBS) använd av SMHI.

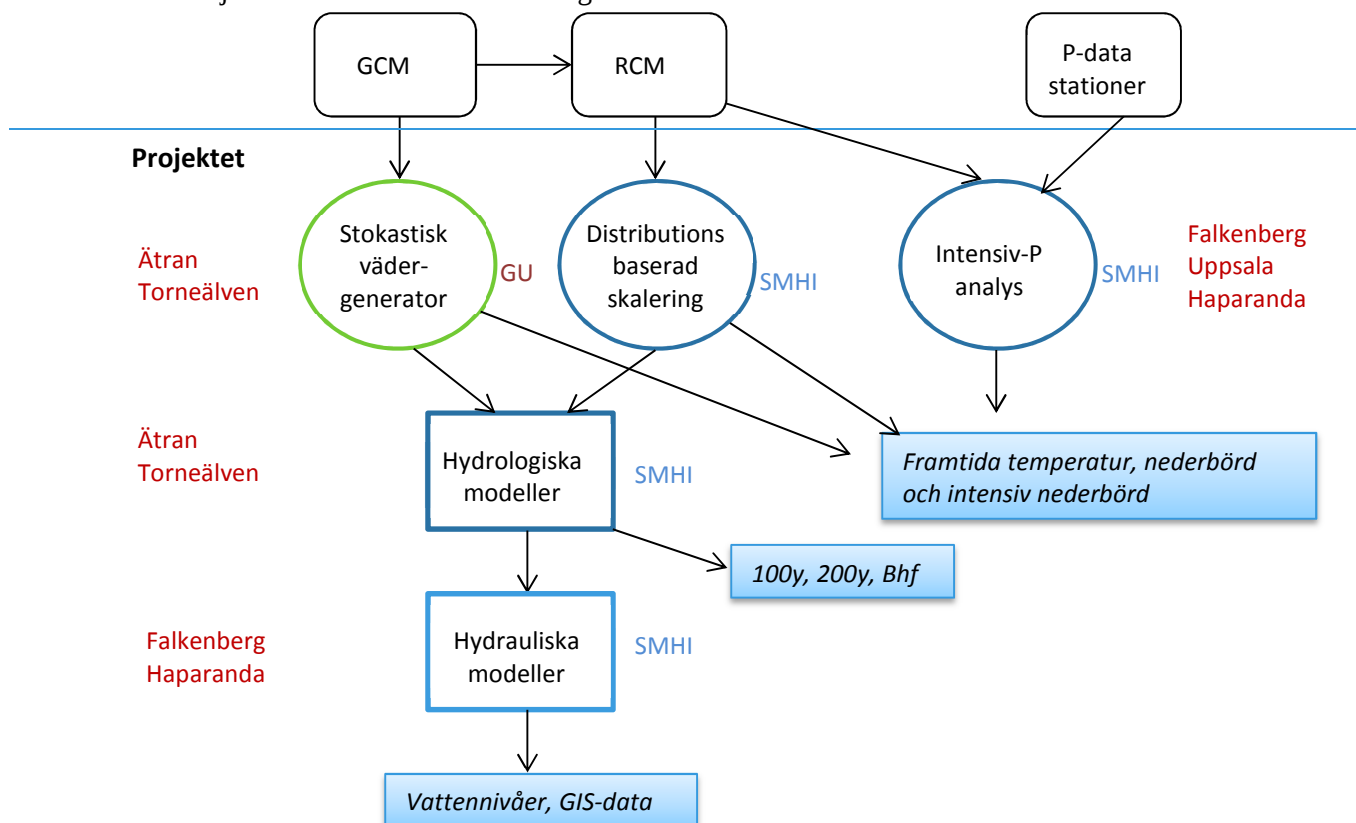
Klimatets utveckling i framtiden beror på hur atmosfärens innehåll av växthusgaser förändras. När framtidens klimat studeras är det därför nödvändigt att göra antaganden om hur utsläppen av växthusgaser kommer att bli. Det finns flera möjliga utvecklingar och vilken av dem som slår in beror på människans förmåga att begränsa utsläppen.

Olika set av klimatscenarier har studerats inom projektet. De representerar dels de äldre SRES-scenarierna och dels de nyare RCP-scenarierna, som användes i den senaste rapporteringen från IPCC¹.

Data från utvalda nederbördsstationer med 15-minuters registreringar har använts för att beräkna observerad extrem korttidsnederbörd. En särskild metod för att beräkna korttidsnederbörd för framtida klimatförhållanden har använts (Olsson and Foster, 2013) för de utvalda orterna Haparanda, Uppsala och Falkenberg.

För de hydrologiska studierna valdes Ätran och Torneälven och som särskilda studieobjekt för de hydrauliska beräkningarna valdes Falkenberg och Haparanda.

Projektet beskrivs schematiskt i figur 1.



Figur 1. Schematisk beskrivning av projektet som innefattar inhämtning av data från Globala klimatmodeller (GCM), Regionala klimatmodeller (RCM). Temperaturdata och nederbördsdata används sedan för att skalas ned, med två olika metoder, så att de kan användas för Hydrologisk modellering för att beräkna 100-års flöden (100y), 200-års flöden (200y) och Beräknade högsta flöden (Bhf). Därefter utförs Hydraulisk modellering som ger vattennivåer och dessa appliceras som GIS-skikt. Projektet har även utfört analys av intensiv nederbörd med data från RCM och mätdata från nederbördsstationer (P-data).

4 Klimatscenarier

Det finns flera tänkbara vägar människan kan gå vad gäller utsläppen av växthusgaser till atmosfären. Det finns inte en global klimatmodell som är den bästa. Dessa osäkerheter hanteras genom att använda flera olika klimatscenarier.

¹ IPCC är Intergovernmental Panel on Climate Change och omnämns ibland som FN:s klimatpanel.

SRES-scenarier (Special Report on Emission Scenarios, Nakićenović and Swart (eds.), 2000) användes i de beräkningar av framtidens klimat som låg till grund för arbetet med IPCC:s rapporter från år 2000 (TAR, IPCC, 2001) och 2007 (AR4, IPCC, 2007). De nyare strålningsdrivningsscenarierna, RCP-er (Representative Concentration Pathways) (ICONICS, 2013), användes i underlaget för den senaste rapporteringen 2013 (AR5, IPCC, 2013).

4.1 SRES

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

4.2 RCP

Representative Concentration Pathways (RCP) är scenarier över hur växthuseffekten kommer att förstärkas i framtiden. Det benämns strålningsdrivning och uttrycks som watt per kvadratmeter (W/m^2). Ju mer utsläpp av växthusgaser desto mer strålningsdrivning. RCP-scenarierna benämns med den nivå av strålningsdrivning som uppnås år 2100: 2,6, 4,5, 6,0 eller 8,5 W/m^2 . De klimatscenarier som används i denna studie baseras på RCP4.5 med begränsade utsläpp, respektive RCP8.5 med höga utsläpp.

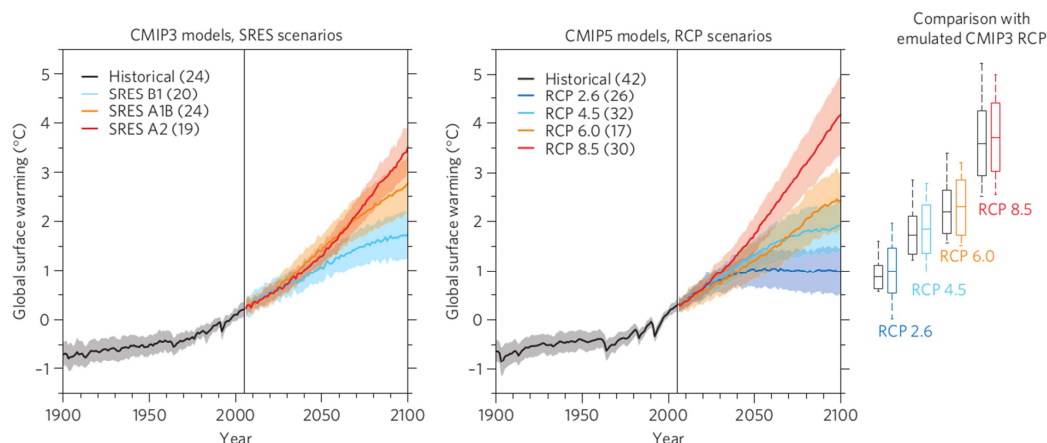
I tabell 1 beskrivs kortfattat vad RCP4.5 respektive RCP8.5 innebär vad gäller utsläpp av växthusgaser, befolknings- och teknikutveckling samt klimatpolitik.

Tabell 1. Beskrivning av vad de två RCP-erna innebär.

RCP4.5 – koldioxidutsläppen ökar fram till år 2040	RCP8.5 – fortsatt höga utsläpp av koldioxid
Kraftfull klimatpolitik. Lägre energiintensitet. Omfattande skogsplanteringsprogram. Lägre arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster. Befolkningsmängd: något under 9 miljarder. Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring 2040.	Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100. Metanutsläppen ökar kraftigt. Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion. Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt. Stort beroende av fossila bränslen Hög energiintensitet. Ingen tillkommande klimatpolitik.

Beräkningar med klimatmodeller visar att RCP4.5 och RCP8.5 ger en stor spännvidd avseende uppvärmningen mot slutet av seklet (figur 2). För de närmsta årtiondena har valet av RCP-scenario dock liten betydelse.

Tyngdpunkten i den ensemble (samling av klimatscenarier) av SRES-scenarier som används i föreliggande studie ligger på A1B. Den beräknade globala temperaturen enligt SRES A1B hamnar emellan de två RCP-scenarierna (figur 2).



Figur 2. Resultat från de beräkningar av temperatur som gjorts baserade på SRES-respektive RCP-scenarier. CMIP3 låg till grund för IPCC:s rapportering AR4 och CMIP5resultat användes för den senaste AR5.

4.3 Klimatmodeller

Ett klimatscenario är en beskrivning av en tänkbar utveckling av klimatet i framtiden i meteorologiska termer. För att göra beräkningar av det framtida klimatet krävs klimatmodeller. De är matematiskt formulerade beskrivningar av de fysikaliska processerna i klimatsystemet. Samma utsläppsscenario kan ge upphov till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används.

En global klimatmodell (GCM= global circulation model) beskriver hela jorden och en regional klimatmodell (RCM = regional climate model) beskriver ett delområde, men med högre upplösning. En global klimatmodell behöver information om framtida förändringar i atmosfärens sammansättning. Det ges av SRES- och RCP-scenarier. En regional klimatmodell drivs med indata från en global klimatmodell.

Resultat från nio olika globala modeller, med RCP4.5 respektive RCP8.5, har nedskalats på SMHI med den regionala klimatmodellen RCA4 för Europa (tabell 2)

Tabell 2. De institut som utfört global klimatmodellering och de globala modeller som använts. Dessa nio globala modelleringar har sedan nedskalats med den regionala klimatmodellen RCA4 från Rossby Centre, SMHI. Samtliga har upplösningen 50 km och har använts för RCP4.5 och RCP8.5 för perioden 1961-2100.

Nation	Institut	GCM
	CCCma, Kanada	CanESM2
	CNRM CERFACS, Frankrike	CNRM-CM5
	GFDL, USA	GFDL-ESM2M
	ICHEC, Europeiskt konsortium	EC-EARTH
	IPSL, Frankrike	IPSL-CM5A-MR
	MIROC, Japan	MIROC5
	MPI, Tyskland	MPI-EMS-LR
	NCC, Norge	NorESM1-M
	MOHC, Storbritannien	HadGEM2-ES

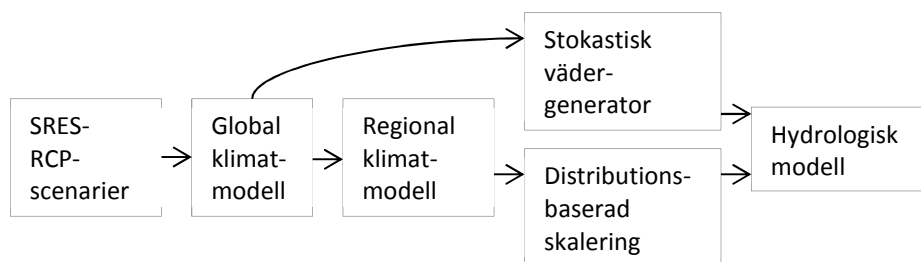
De regionala SRES-klimatscenarierna har beräknats med några olika modeller. De flesta är dock gjorda med RCA3, en äldre variant av RCA4 (tabell 3).

Tabell 3. Sammanställning av använda SRES-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 Centre National de Recherches Météorologiques i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från Meteorologisk institutt 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	ARPEGE	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

5 Nedskalningsmetodik

Dagens regionala och globala modellsimuleringar har systematiska avvikelser från observerade data av till exempel temperatur och nederbörd. Hydrologisk modellering är känslig för dessa avvikelser och de meteorologiska variablerna behöver därför först korrigeras. Två olika metoder har använts för att använda utdata från klimatmodelleringar och korrigera dessa för hydrologisk modellering (figur 3). Distributionsbaserad skalering (kap. 5.1), utgår från dynamiskt nedskalade regionala klimatmodelldata. Den andra metoden (kap. 5.2) är en statistisk nedskalning direkt från globala klimatmodelldata.



Figur 3. Schematisk beskrivning av arbetsgången för att ta fram tidsserier för hydrologisk modellering.

5.1 Distributionsbaserad skalering

Det finns olika metoder för att utföra korrekationer av de systematiska avvikelserna, eller bias som de ofta kallas, varav en av metoderna är Distributionsbaserad skalering (DBS, Distribution Based Scaling, Yang m.fl., 2010). Som namnet antyder är det en metod som använder sig av statistiska fördelningar av en variabel och anpassar denna mot observerade data. Detta möjliggör en korrigering inte bara av medelvärdet utan även av flera statistiska moment, som till exempel variansen.

För att kunna använda statistiska metoder krävs data för en längre period, så att naturlig variabilitet inkluderas i fördelningen. Enligt WMO:s rekommendationer används typiskt en 30-årsperiod.

I ett första steg läses dagliga data för 30 år in från modellen samt från observerade referensdata. Olika fördelningar anpassas till data-setet beroende på vilken variabel som ska korrigeras. För nederbörd används en dubbel gammafördelning och för temperatur en normalfördelning.

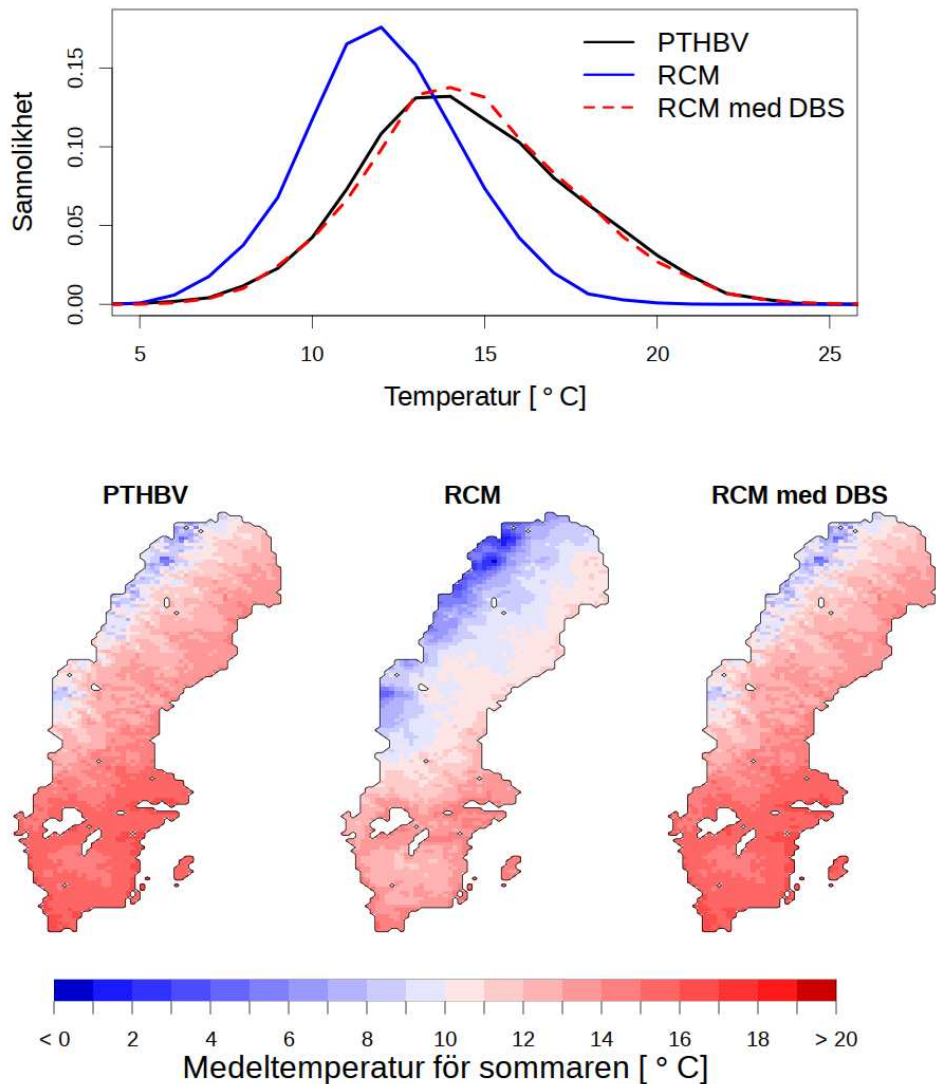
Sedan beräknas en så kallad transferfunktion, för varje gridruta, med uppgiften att anpassa modellens fördelning till den observerade fördelningen. Transferfunktionen appliceras sedan på modelldata för både kalibreringsperioden och andra perioder som modellen har gjort beräkningar för, till exempel för ett framtida scenario.

Figur 4 visar ett exempel på korrektion av modellberäknade data med kraftiga avvikelser i temperatur under sommarmånaderna. DBS korrigerar modelldata så att de ligger mycket nära observerade data, med konsekvensen att även medeltemperaturen stämmer väl med observationerna. Korrigeringarna utförs för varje gridpunkt (geografisk beräkningspunkt) i modellen.

Hydrologisk modellering sker ofta med en upplösning som är ännu finare än den man typiskt får från regionala klimatmodeller. DBS kan även användas för att ytterligare skala ner modelldata, om den har tillgång till observationer som beskriver den finare skalan.

SMHI använder en databas som heter PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Den innehåller statistiskt bearbetade och optimalt interpolerade nederbörds- och temperaturmätningar som rutinmässigt tillförs SMHIs databaser. Databasen har en upplösning på 4x4 km².

Den statistiska nedskalningen av klimatmodelldata sker genom en enkel interpolering av modelldata till den upplösning som finns i PTHBV. De interpolerade fälten saknar därmed de småskaliga variationer som finns beroende på variationer i topografi och längs kuststräckor. Detta hanteras av DBS-metoden på samma sätt som systematiska avvikelser och korrigeras tillsammans med andra avvikelser i modellen.



Figur 4. Exempel på biaskorrigerig med DBS-metoden för en regional klimatmodell (RCM) med stor temperaturbias för sommarmånaderna. Den övre panelen visar fördelningen för en punkt i södra Sverige med observationer (svart), rådata från modellen (blått) samt korrigerade modelldata (rött). Medeltemperaturen för perioden visas i kartorna. Observationer till vänster, modellberäknade data i mitten och korrigerade modelldata till höger.

5.2 Stokastisk vädergeneratormodell

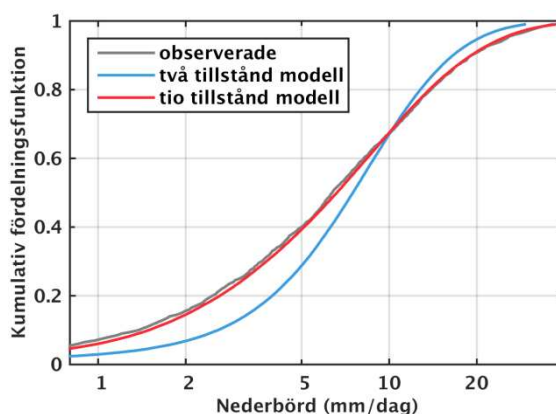
Som ett alternativ till regional klimatmodellering kan regionala klimatscenarier skapas från globala klimatscenarier (GCM) med statistisk nedskalning. I detta projekt används en stokastisk vädergeneratormodell, som skapar "syntetiska tidsserier" för nederbörd och temperatur vars statistiska egenskaper liknar observerade tidsserier. Modellen kalibreras först mot historiska tidsserier från PTHBV-databasen, och modifieras sedan för att generera framtida tidsserier som visar klimatförändringar som matchar GCM utdata.

Göteborgs universitet har vidareutvecklat en vädergeneratormodell från ett tidigare projekt. I det projektet skapades scenarier för enskilda nederbördsstationer. Utmaningen i föreliggande projekt var att utveckla vädergeneratormodellen så att lokala nederbörds- och temperaturscenarier för hela avrinningsområdet kan skapas. Eftersom de regionala

klimate scenarierna ska användas till hydrologisk modellering är det viktigt att korrelationen i tid och rum motsvarar korrelationen i dagens observationer. Detta för att kunna uppnå realistiska hydrologiska simuleringar.

Två stora förändringar krävdes. För det första, i den befintliga vädergeneratormodellen användes två interna tillstånd, våt eller torr. Det är tillräckligt för att reproducera nederbördintensitetsfördelningar för enskilda stationer. En sådan modell ger dock dåliga resultat för ett stort avrinningsområde. Modellen utvecklades därför så att den använder en skala från torr till mycket våt i tio steg.

I figur 5 visas fördelningen av kumulativ femdygnsmedelnederbörd för Torneälvens avrinningsområde. Modellen med två interna tillstånd underskattar antalet dagar med lätt regn och överskattar antalet dagar med kraftigt regn. Den nya modellen med 10 tillstånd genererar tidsserier som bättre överensstämmer med observationerna.



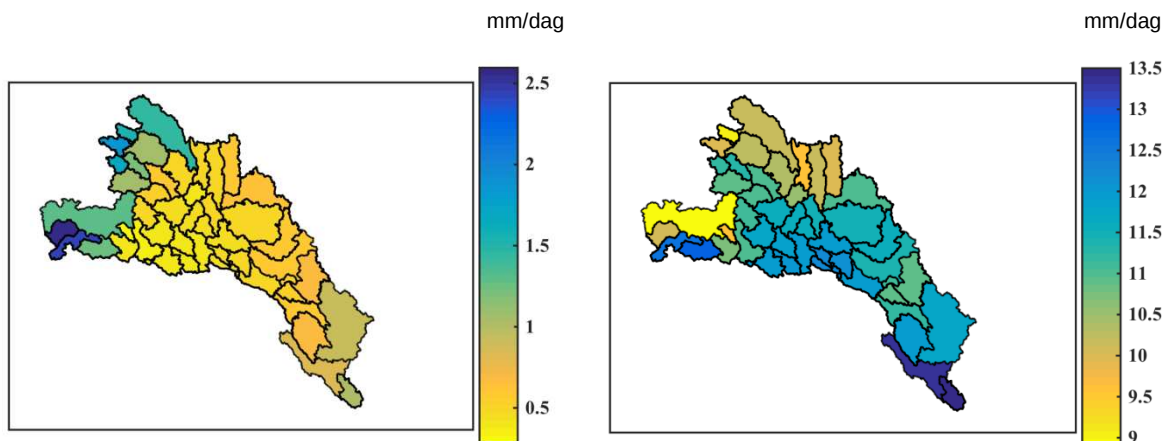
Figur 5. Kumulativ frekvensfördelning av 5-dagars ackumulerad nederbörd för Torneälvens avrinningsområde. Observationer visas som grå linje och modellresultat som blå linje för två-tillstånd-modellen och som röd linje för tio-tillstånd-modellen.

Dygnsmedeltemperaturen simulerades som villkorad av nederbörden i en efterföljande algoritm.

Avrinningsområden indelas i mindre delavrinningsområden. Den geografiska variationen i nederbörd och temperatur mellan de olika delområdena måste simuleras innan scenarier kan användas i hydrologisk modellering. Den nya modellen kompletterades därför med en disaggregeringsalgoritm som delar upp medelnederbörd för hela avrinningsområdet mellan delområden på ett sätt som ger realistisk rumslig korrelation.

Disaggregeringsalgoritmen är också en stokastisk process som genererar fördelningsmönster beroende på totala nederbördsmängden över hela avrinningsområdet.

Effekten som simuleras visas i figur 6. För dagar med lite nederbörd brukar de västra delområdena, nära fjällregionen, ha mest nederbörd. De dagar då den totala nederbörden är stor finns mest nederbörd i de mellersta delområdena och i södra delen av avrinningsområdet.

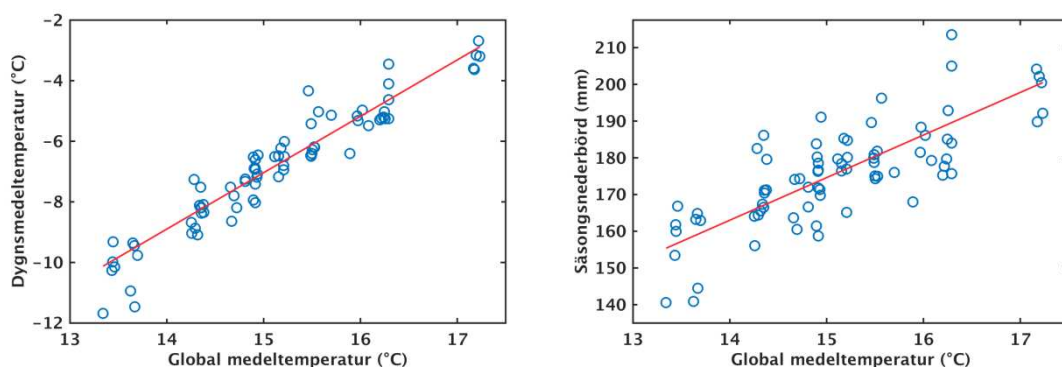


Figur 6. Medelfördelning av delområdenas nederbörd för 30 dagar med lite nederbörd (vänster) respektive 30 dagar med kraftig nederbörd (höger) för Torneälvens avrinningsområde vintertid.

Förändringsfaktorer beskriver förändringarna i lokala klimatet som förväntas för en viss förändring i det globala klimatet. Den nya aspekten av vår studie var hur dessa förändringsfaktorer beräknades. Om man enbart beräknar medeltalet av de data som produceras av klimatmodellerna jämnas alla väder och klimatvariationer ut.

Förändringsfaktorer i stokastisk nedskallning brukar beräknas som skillnaden i klimat mellan en referensperiod och en framtidsperiod från en enstaka klimatsimuleringsmodell. I denna studie har istället klimatparametrar för 20-årsperioder beräknats från flera simuleringar. Därefter har en linjär funktion anpassats för den globala temperaturen. Denna metod tillåter klimatförändringssignaler från simuleringar med olika längder och med olika utsläppsscenarioer, att syntetiseras tillsammans. Metoden reducerar dramatiskt osäkerheten i förändringsfaktorer för en viss global klimatmodell.

Exempel på beräkningarna och de linjära anpassningarna visas i figur 7. Enligt klimatmodellen blir vintern varmare i Torneälvens avrinningsområde med mer nederbörd i framtiden. För varje grads global temperaturhöjning ökar temperaturen i området med 1.9 grader och nederbörden ökar med ca 7%.



Figur 7. Relationen mellan beräknad global temperatur och temperatur respektive nederbörd för Torneälvens avrinningsområde vintertid. Beräknad dygnsmedeltemperatur till vänster och genomsnittlig säsongsnederbörd till höger som funktion av global temperatur beräknad med den globala klimatmodellen NCAR CCSM3. Varje symbol representerar ett 20-årsvärde från perioden 1961-2100 för en beräkning med ett utsläppsscenario.

6 Temperatur och nederbörd

Samtliga beräkningar pekar mot ökande årsmedeltemperatur och årsmedelnederbörd. För att titta på resultaten av nedskalningsberäkningarna är det några omständigheter som är viktiga att notera.

De beräkningar som gjorts med samma SRES-scenarier, men med de två nedskalningsmetoderna, har mycket stark fokus på den globala klimatmodellen ECHAM5. Det gäller även för SMHI:s SRES-ensemble som helhet. Störst vikt ligger på A1B-scenariot.

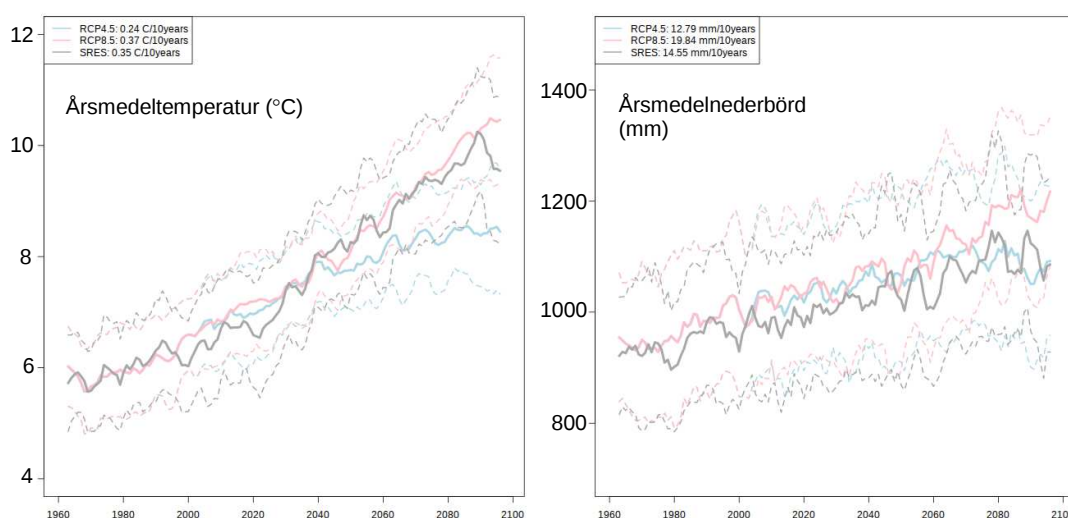
SMHI:s RCP-ensemble är jämnt viktad mot nio olika globala klimatmodeller (GCM) och är alla nedskalade med samma version och uppsättning av den regionala klimatmodellen (RCA4).

Det är skillnader i både regionala klimatmodeller (RCM) och versioner av den regionala klimatmodellen RCA (RCA3 och RCA4) samt DBS-version i SMHI:s två ensembler (SRES respektive RCP).

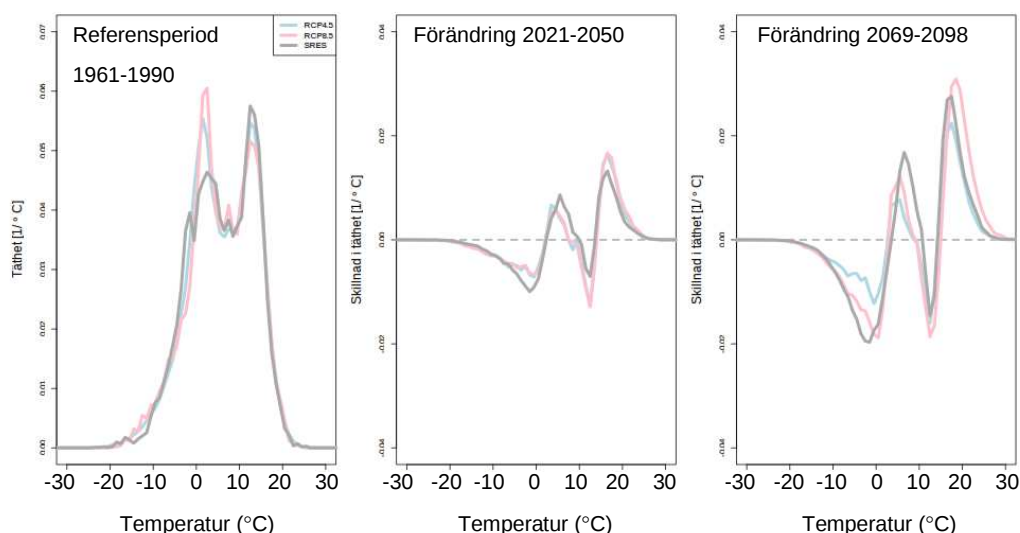
6.1 Ätran

Med Ätran avses här avrinningsområdet.

Beräkningarna med RCP-scenarierna följs väl åt till mitten av seklet, därefter ökar både temperatur och nederbörd för RCP8.5 (figur 8). SRES-scenarierna visar något lägre värden än RCP-scenarierna för temperatur tills mitten av seklet, för att därefter överensstämma väl med RCP8.5. För årsnederbörden ligger SRES generellt lägre än RCP, men mot slutet av seklet hamnar SRES i nivå med RCP4.5.



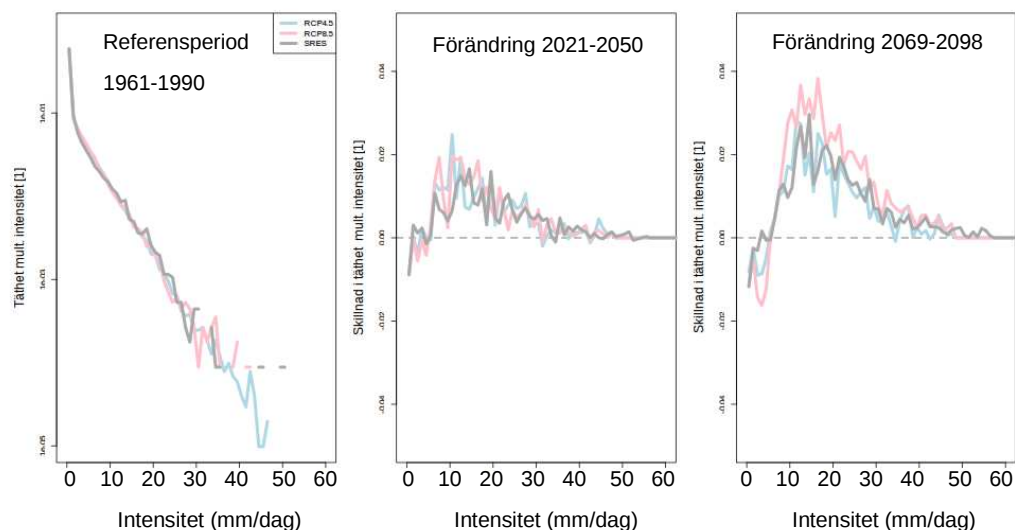
Figur 8. Årsmedeltemperatur (°C) och årsmedelnederbörd (mm) för Ätrans avrinningsområde 1961-2100 enligt de olika beräkningarna med SRES-respektive RCP-scenarier. Samtliga beräkningar avser nedskalningar med DBS-metoden. Heldragna linjer avser medelvärden och de streckade linjerna anger min- och maxvärden.



Figur 9. Analys av dygnstemperaturer för Ätrans avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnstemperaturer (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden för perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

Dygnstemperaturer under -10°C och över 20°C är inte så vanliga i området. De vanligast förekommande dygnstemperaturerna är strax under noll grader uppemot $+15^{\circ}\text{C}$. Det framgår av vänstra diagrammet i figur 9. Förändringarna i framtida klimat pekar på minskning av antalet dygnstemperaturer kring noll grader och kring 15°C , och ökning av antalet dygnstemperaturer $5-10^{\circ}\text{C}$ och från 15°C uppemot 25°C . Förändringen är tydligare mot slutet av seklet.

Det syns en markant skillnad mellan sannolikheten för temperaturer strax över noll grader för SRES respektive RCP avseende referensperioden (figur 9). Troligtvis beroende på den lilla, men väl utmärkande, toppen just under noll grader för SRES. Det indikerar antagligen snösmältningsproblem i den gamla versionen av regionala klimatmodellen, RCA3. DBS-metoden är inte identisk för de nedskalningar som gjorts för SRES-scenarierna respektive RCP-scenarierna, vilket också skulle kunna påverka resultaten.



Figur10. Analys av dygnsnederbörd för Ätrans avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnsnederbörd (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden för perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

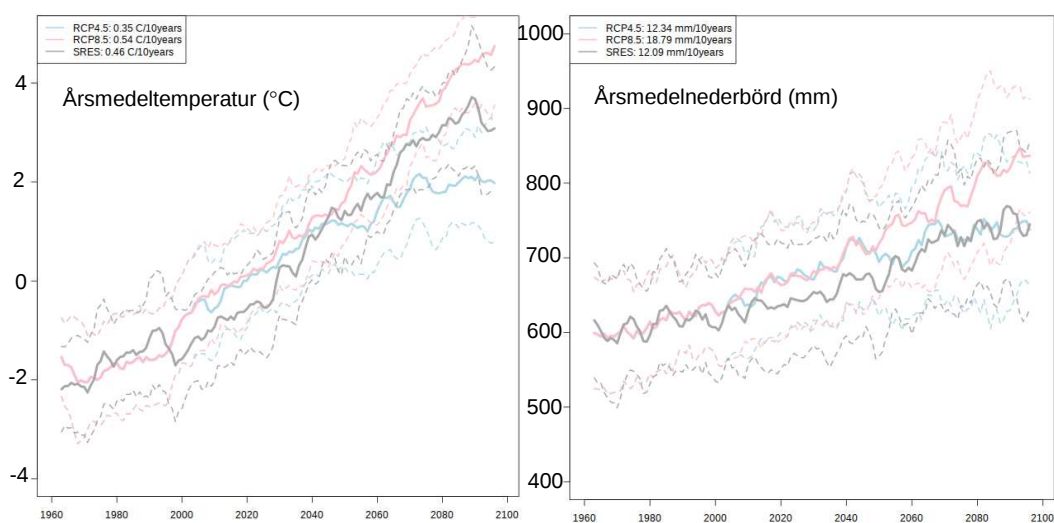
Under de flesta dagar med nederbörd faller endast några millimeter och dagar med större mängder är få. Det kan utläsas av vänstra diagrammet i figur 10. Förändringsdiagrammen i figur 10 visar att dagar med under 10 mm minskar och att dagar med 10-40 mm ökar och då särskilt kring 10-25 mm.

Förändringsmönstret är mycket lika för de bägge RCP-scenarierna och för SRES-scenarierna men med större förändring för RCP8.5.

6.2 Torneälven

Med Torneälven avses här avrinningsområdet för Torneälven.

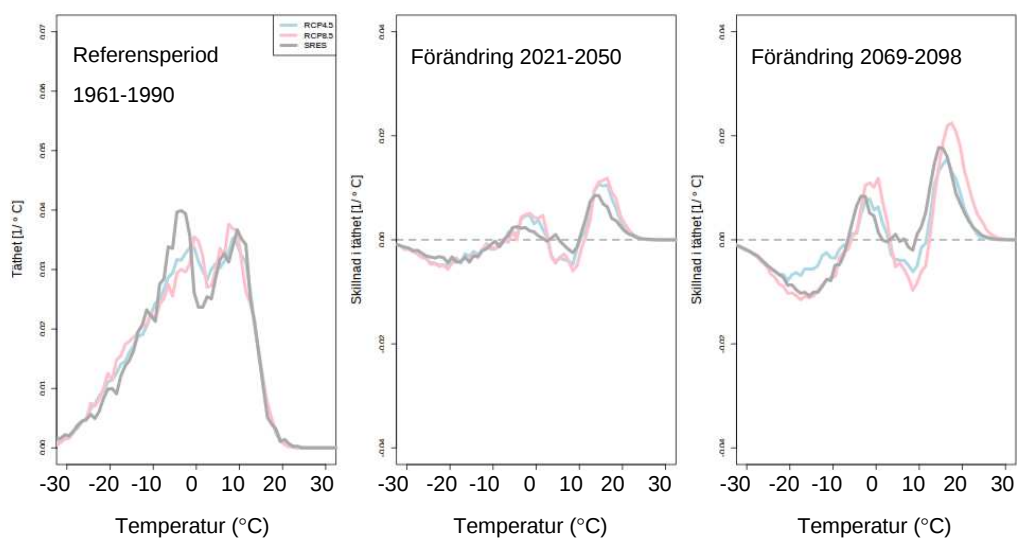
Utvecklingen för årsmedeltemperatur och årsmedelnederbörd följs väl åt med RCP4.5 och RCP8.5 fram till ca 2050 (figur 11). Därefter ökar både temperatur och nederbörd mer enligt RCP8.5. SRES-ensemblen visar på lägre förändringar i både temperatur och nederbörd under första halvan av århundradet. Därefter följer SRES väl RCP4.5 för nederbörd, men hamnar emellan RCP4.5 och RCP8.5 för temperatur.



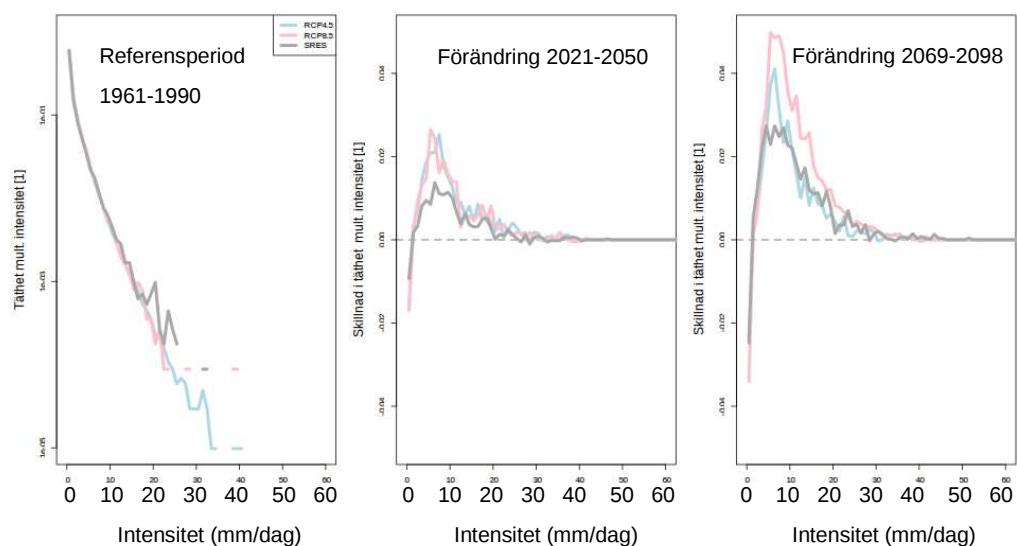
Figur 11. Årsmedeltemperatur (°C) och årsmedelnederbörd (mm) för **Torneälvens** avrinningsområde 1961-2100 enligt de olika beräkningarna med SRES- respektive RCP-scenarier. Samtliga beräkningar avser nedskälningar med DBS-metoden. Heldragna linjer avser medelvärden och de streckade linjerna anger min- och maxvärden.

Dygnstemperaturer under -30°C och över 20°C är inte så vanliga i området. De vanligast förekommande dygnsmedeltemperaturerna är mellan -10°C och uppemot 15°C. Det framgår av vänstra diagrammet i figur 12.

Även beräkningarna för Torneälven tyder på att den äldre regionala klimatmodellen, RCA3, har problem runt snösmältningen. Det syns som en mer utmärkande dipol i temperaturfördelningen i beräkningarna för referensperioden med SRES-scenarier (figur 12). De framtida förändringarna i fördelning av dygnstemperaturer visar liknande mönster för både SRES- och RCP-scenarier. Ett skifte mot varmare temperaturer kan ses i framtidsberäkningarna. De riktigt låga dygnstemperaturerna minskar och istället ökar dagar med temperaturer strax under noll grader. Det sker också en ökning av dagar med medeltemperaturer kring 15°C. Förändringen är tydligare mot slutet av seklet.



Figur 12. Analys av dygnstemperaturer för **Torneälvens** avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnstemperaturer (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden för perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).



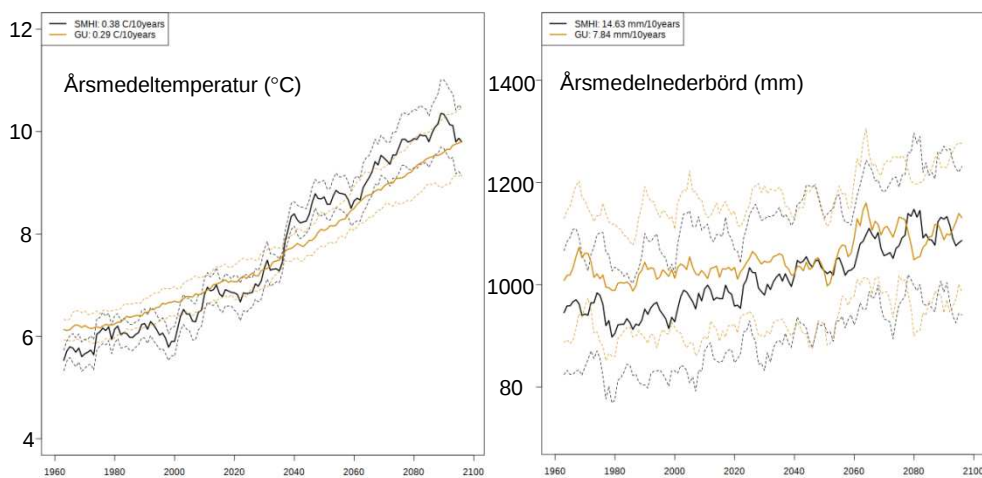
Figur 13. Analys av dygnsnederbörd för **Torneälvens** avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnsnederbörd (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden för perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

Att det är få dagar med större mängder nederbörd är ännu tydligare för Torneälvens område jämfört med Äträs (jmf figur 10 och 13). Ätran ligger också i det mer nederbördsrika västra Sverige. Förändringsdiagrammen i figur 13 visar att dagar med några mm nederbörd minskar och att dagar med 5-25 mm ökar och då särskilt kring 5-15 mm.

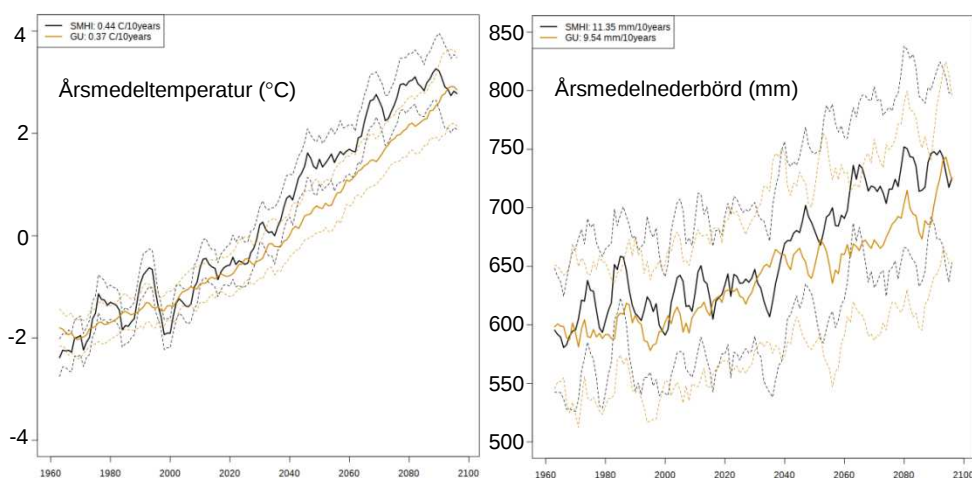
Förändringsmönstret är mycket lika för scenarierna, men med starkare ökning med RCP8.5 mot slutet av seklet. SRES-scenarierna visar svagare förändring jämfört med RCP-scenarierna.

6.3 Jämförelse mellan nedskalningsmetoderna

I kapitel 6.1 och 6.2 jämförs de olika scenarierna nedskalade med DBS-metoden. I detta kapitel jämförs DBS-nedskalning med den statistiska nedskalning som gjorts av Göteborgs universitet. I detta fall är det enbart 6 SRES-scenarier som använts.



Figur 14. Årsmedeltemperatur (°C) och årsmedelnederbörd (mm) för **Åtrons** avrinningsområde 1961-2100 enligt de två olika nedskalningsmetoderna av SRES- scenarier. Heldragna linjer avser medelvärden och de streckade linjerna anger min- och maxvärden.

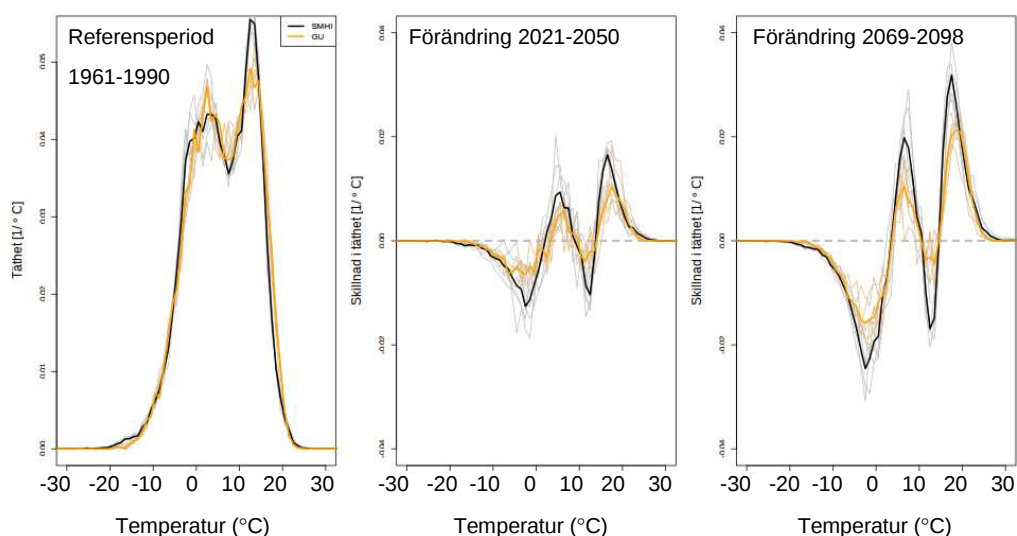


Figur 15. Årsmedeltemperatur (°C) och årsmedelnederbörd (mm) för **Torneälvens** avrinningsområde 1961-2100 enligt de två olika nedskalningsmetoderna av SRES- scenarier. Heldragna linjer avser medelvärden och de streckade linjerna anger min- och maxvärden.

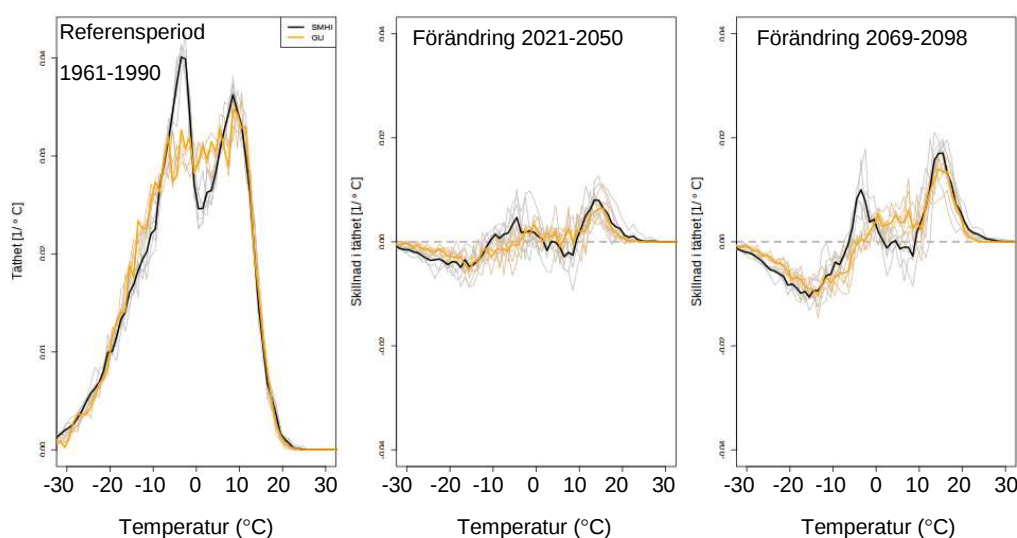
Den statistiska nedskalningsmetod som Göteborgs universitet använt, betecknad GU i figurerna, underskattar mellanårliga variansen något för nederbörd, och mycket för temperatur. Det gäller både för Åtrons och för Torneälvens avrinningsområden (figur 14 och 15).

Förändringen av klimatet, temperatur och nederbörd, är också mindre enligt den statistiska nedskalning som Göteborgs universitet gjort jämfört med den DBS-nedskalning som SMHI utfört. Det kan uttryckas som att klimatförändringssignalen är svagare.

För Torneälven de närmsta årtiondena följer beräkningarna varandra ganska väl. Därefter pekar DBS-metoden på kraftigare temperatur- och nederbördsökning (figur 15).

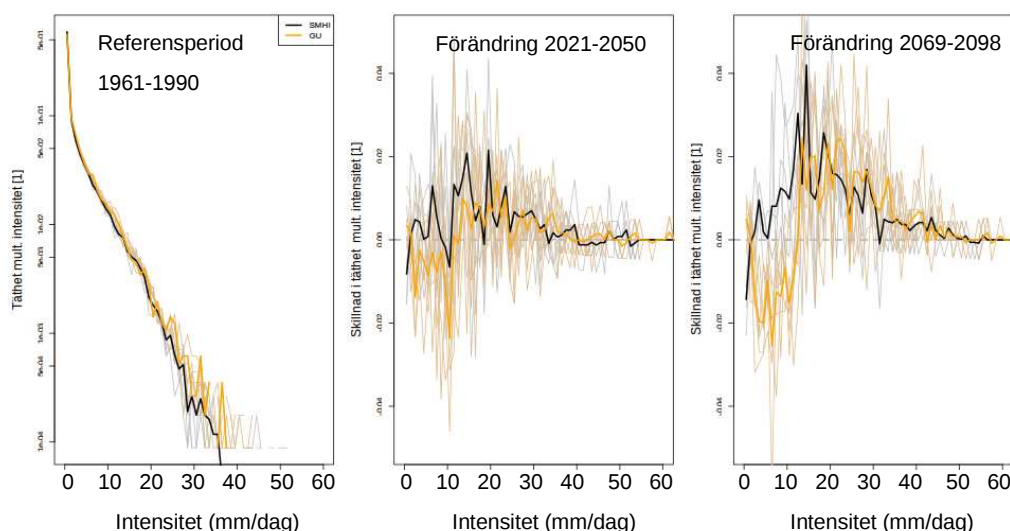


Figur 16. Analys av dygnsmedeltemperaturer för **Åtrans** avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnstemperaturer (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden. Perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

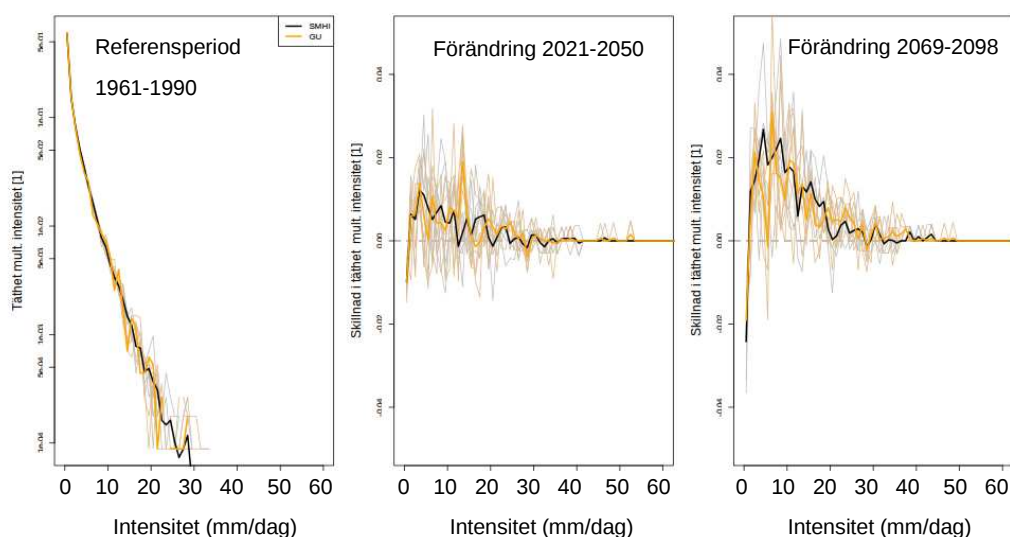


Figur 17. Analys av dygnsmedeltemperaturer för **Torneälvens** avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnstemperaturer (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden. Perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

Fördelningen av temperaturer för Åtrans avrinningsområde beskrivs likartat med de olika nedskalningsmetoderna både för referensperioden och för förändringarna i framtiden (figur 16). Troligen ger den statistiska nedskalningen (GU) för Torneälven bättre resultat kring noll grader eftersom den överensstämmer mer med RCP-resultaten (figur 17 jämfört med figur 12). Skillnaden kan bero på de ändringar som gjorts i den regionala klimatmodellen RCA (från version 3 till 4) i kombination med uppgradering av DBS-metoden. DBS-nedskalning av SRES-respektive RCP-scenarierna har alltså gjorts med olika versioner.



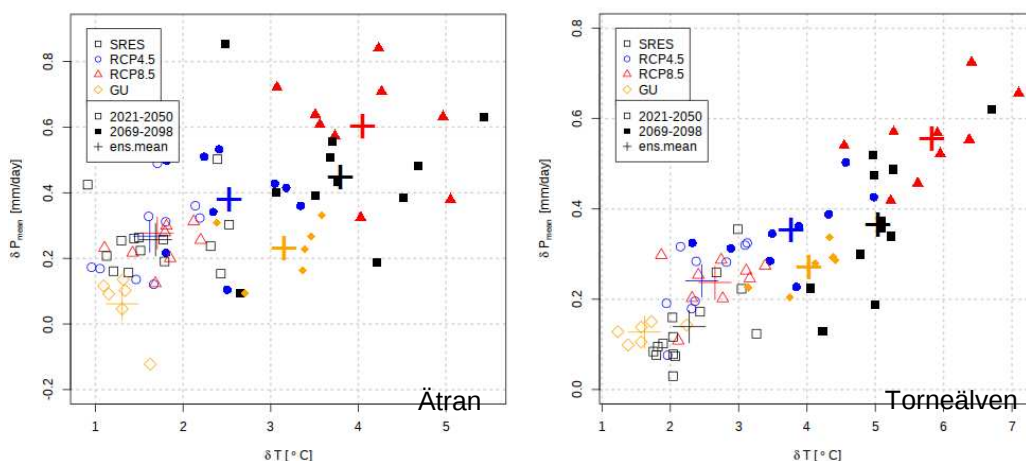
Figur 18. Analys av dygnsnederbörd för **Ätrons** avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnsnederbörd (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden. Perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).



Figur 19. Analys av dygnsnederbörd för **Torneälvens** avrinningsområde. Referensperiodens fördelning av dygnsnederbörd (vänster) och förändringen i framtida klimat jämfört med referensperioden. Perioden 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

För Ätran visar beräkningarna på motsatta förändringssignaler för låga nederbördsintensiteter, särskilt tydligt för perioden vid slutet av seklet (figur 18). En jämförelse med DBS-nedskalade RCP-er (figur 10) ger att de ligger emellan de resultat som ses i figur 18 för låga intensiteter.

För Torneälven följde de två metodernas resultat varandra ganska väl (figur 19).



Figur 20. Beräknad förändring i nederbörd versus förändring i temperatur för Ätrans och Torneälvens avrinningsområden, jämfört med beräknade värden för referensperioden 1961-1990. Ofyllda symboler avser perioden 2021-2050 och fyllda symboler avser perioden 2069-2098. SRES (svart), RCP4.5 (blå) och RCP8.5 (röd) är de DBS-nedskalade scenarierna och GU (gul) är de av Göteborgs universitet statistiskt nedskalade SRES-scenarierna. Plustecken avser medelvärden av de olika ensemblerna.

I figur 20 ses att RCP8.5 (röd) visar större temperatur- och nederbördsökning än RCP4.5 (blå) för både Ätran och Torneälven. De DBS-nedskalade SRES-scenarierna ligger däremellan men med stor spridning. De statistiskt nedskalade SRES-scenarierna ger lägre ändringar i medeltal. Spridningen inom ensemblegrupperna är större för Ätran.

I bilaga 1 ses 99.9-percentilen och maxvärdena för Ätran och Torneälven. De statistiskt nedskalade värdena visar större ändringar för dessa dvs. för extrem nederbörd.

Förändringen i nederbörd med ökande temperatur för de maximala värdena ligger ganska samlad, med undantag av ett extremt värde för Ätran vid slutet av århundradet (bilaga 1). Det finns också ett värde som sticker ut för Torneälvens maxvärden för 2021-2050.

Tabell 4. Andel dagar med <1mm nederbörd/dag (%). DBS RCP4.5, DBS RCP8.5 och DBS SRES tot avser samtliga nedskalade scenarier med DBS-metoden. DBS SRES och Stat. SRES är de gemensamma SRES-scenarier för de två nedskalningsmetoderna.

Område:	Ätran			Torneälven		
	1961-90	2021-50	2069-98	1961-90	2021-50	2069-98
DBS RCP4.5	56.5	54.7	54.9	55.8	52.5	51.7
DBS RCP8.5	56.5	54.9	54.3	55.8	52.5	49.0
DBS SRES tot	57.6	55.8	55.3	57.7	55.8	52.8
DBS SRES	57.8	56.2	55.0	57.5	55.6	52.6
Stat. SRES	56.5	57.2	57.5	60.1	58.1	56.4

Andelen torra dagar, här definierade som dagar då nederbörden understiger 1mm/dag, minskar. Undantaget är de statistiskt nedskalade SRES-scenarierna för Ätran som visar en ökning (tabell 4).

7 Intensiv nederbörd

SMHI har inom projektet studerat den intensiva nederbörden för de tre utvalda objekten: Haparanda, Uppsala och Falkenberg.

För dagens klimat har nederbördsmätningar från mätstationer med 15-minuters data använts och nederbördsmängder för olika återkomsttider anges. För att bedöma hur den intensiva nederbörden kan tänkas förändras i framtiden användes i ett första skede data från 6 regionala modellberäkningar med SRES-scenarier.

Det kompletterades med beräkningar baserade på de, av IPCC senare framtagna, scenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.

Den modellberäknade framtidsnederbörden för perioden 2071-2100 jämförs med modellberäknade data för 1961-1990. Resultaten anges som procentuell avvikelse från perioden 1961-1990.

7.1 Intensiv nederbörd i dagens klimat

En analys av extrem korttidsnederbörd i dagens klimat har gjorts baserat på nederbördsmätningar utförda var 15 minut med fasta intervall (00, 15, 30, 45 minuter varje timme). Det finns inte stationer på exakt de utvalda platserna utan totalt 12 stationer används som representanter för nederbördsklimatet i områdena. För de utvalda stationerna har beräkningar av återkomsttider för tidsintervallen (varaktighet) 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360, 720 och 1440 minuters nederbörd utförts. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar en gång under denna tid.

De använda stationerna upprättades 1995 med undantag av Torup som startade 2008. Under de år som stationerna använts har dock minst 13 år kunna utnyttjas, de flesta har 14 år eller mer. För Torup användes en närliggande station för att få en längre tidsserie.

Vid statistisk återkomsttidsanalys av tidsserier är tumregeln att inte extrapolera analyser längre än dubbla tidsseriens längd, därför är osäkerheten stor för de längre perioderna 50 år och 100 år.

Den statistiska extremvärdesanalysen baseras på varje års maximala nederbördsmängd för respektive varaktighet. Värdena inträffar sommartid vid kraftig skurnederbörd, vanligen juli-augusti.

Olika fördelningsfunktioner har testats: Gumbel med anpassning till en rätlinje och GEV (Generalized Extreme Value distribution) som anpassar till en krökt kurva. Här redovisas värdena från Gumbel-anpassningen.

Resultaten presenteras, i tabeller och diagram i bilaga 2, för de olika varaktigheterna med återkomsttider av längderna 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 och 100 år. Eftersom 50års- och 100års-värdena är mycket osäkra har de gråmarkerats i tabellerna och uteslutits i diagrammen.

Sannolikheten att ett 10-års regn inträffar nästa år, eller vilket enskilt år som helst, är 10 %. Sannolikheten att ett tioårsregn inträffar någon gång under de närmaste 10 åren är 65 %. Det är alltså större sannolikhet att ett 10-årsregn överskrids än underskrids någon gång de närmaste 10 åren, se vidare tabell 5. Med ettårsregn avses mängden nederbörd som uppnås eller överskrids i genomsnitt en gång om året. Ett ettårsregn kan alltså förekomma flera gånger ett år och inte någon gång ett annat år.

De stationer som valts att representera Falkenberg är Hallands Väderö, Torup, Nidingen och Ullared. För Uppsala är det Sala, Adelsö, Svanberga, Kerstinbo, Films kyrkby och Örskär. För Haparanda finns endast stationerna Storön och Överkalix-Svartbyn.

Tabell 5. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Sannolikhet under (år)	1	2	5	10	20	50	100
Återkomsttid (år)							
2	50	75	97	100	100	100	100
5	20	36	67	89	99	100	100
10	10	19	41	65	88	99	100
20	5	10	23	40	64	92	99
50	2	4	10	18	33	64	87
100	1	2	5	10	18	39	63

7.2 Intensiv nederbörd i framtiden

För att bedöma hur klimatförändringen kan komma att påverka kortvarig intensiv nederbörd har nederbörd beräknad med klimatmodeller studerats. Beräkningarna baseras på 30-minuters värden från sex globala SRES-klimatscenarier, nedskalade av SMHI med den regionala klimatmodellen RCA3 till 50×50 km (tabell 6). Den högsta tidsupplösning som sparas från de regionala klimatmodellkörningarna är just 30-minuter.

Tabell 6. Regionala klimatscenarier utgående från SRES-scenarier, analyserade med avseende på intensiv korttidsnederbörd.

Global klimatmodell	Regional klimatmodell	SRES-scenarier
ECHAM5(1)	RCA3	A1B
ECHAM5(2)	RCA3	A1B
ECHAM5(3)	RCA3	A1B
HadCM3(Q0)	RCA3	A1B
ECHAM4	RCA3	A2
ECHAM4	RCA3	B2

För att studera korttidsnederbörden har fem gridrutor i modellen valts ut kring de aktuella objekten. För var och en av gridrutorna har tidsserier med 30 min, 1 tim, 6 tim, 12 tim och 24 tim nederbörd extraherats ur modellresultaten för de två 30-årsperioderna; 1961-1990 (referensperiod) och 2071-2100. För varje serie har en extremvärdesanalys gjorts genom att beräkna varje års högsta 30-minuters intensitet. Serierna över de högsta 30-minutersvärdena har anpassats till en fördelningsfunktion (Gumbel) och därur beräknades värdena motsvarande 1, 5, 10, 20, 50 och 100 års återkomsttider. Data för de olika varaktigheterna analyserades på samma sätt. Metoden finns beskriven av Olsson och Foster (2013).

Diagram över procentuell förändring av nederbörd med återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år och varaktigheterna 30 min, 1 tim, 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar för Haparanda, Uppsala och Falkenberg vid slutet av seklet ses i figur 21, 24 och 27.

Analysen över RCP-scenarier omfattar samma ensemble med nio globala modeller samt RCP4.5 och RCP8.5, som tidigare beskrivits i tabell 3. I föreliggande studie har 5 gridrutor kring respektive objekt valts ut och varaktigheterna 20 minuter, 40 minuter, 1 timme, 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar beräknats.

Diagram över procentuell förändring av nederbörd med återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år för de aktuella varaktigheterna ses i figur 22 och 23 för Haparanda, figur 25 och 26 för Uppsala och figur 28 och 29 för Falkenberg.

Samtliga beräkningar pekar på ökad intensiv nederbörd. Haparanda uppvisar den största ökningen, med uppemot 30%, men Falkenberg ligger inte långt efter. Eftersom nederbörden i Falkenberg är större ger den procentuella ökningen större utslag avseende absoluta tal.

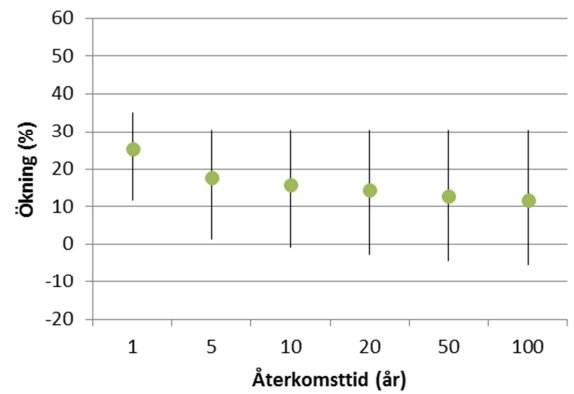
RCP8.5 visar på den största ökningen och RCP4.5 ger vanligen den lägsta ökningen. RCP-scenarierna visar som regel ökande tendens för de längre återkomsttiderna, dvs. högre procentuell ökning av korttidsnederbörden då återkomsttiden är lång. SRES-scenarierna påvisar motsatt trend för Haparanda och Uppsala.

Spridningen mellan de olika scenarierna är stor men mycket få scenarier visar minskning av den intensiva nederbörden.

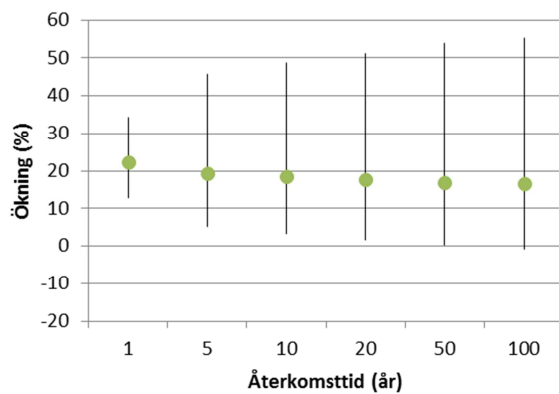
Som exempel på framtida nederbördsmängder (mm) för korttidsnederbörd finns i bilaga 3 medelvärden enligt SRES-scenarierna applicerade på stationsdata.

Haparanda

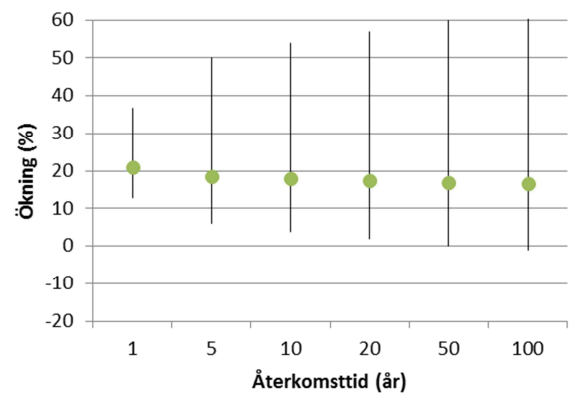
30 min



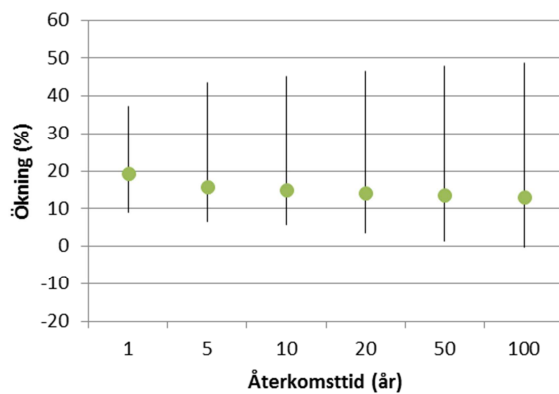
1 timme



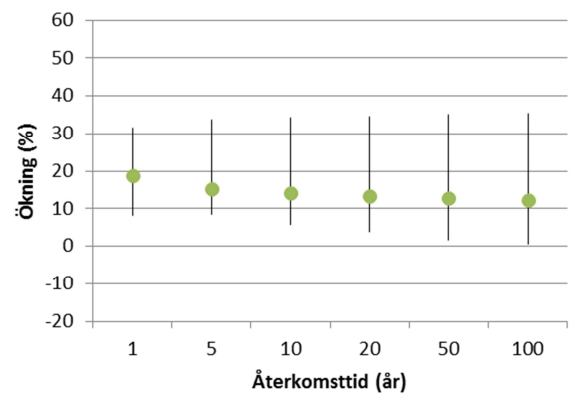
6 timmar



12 timmar



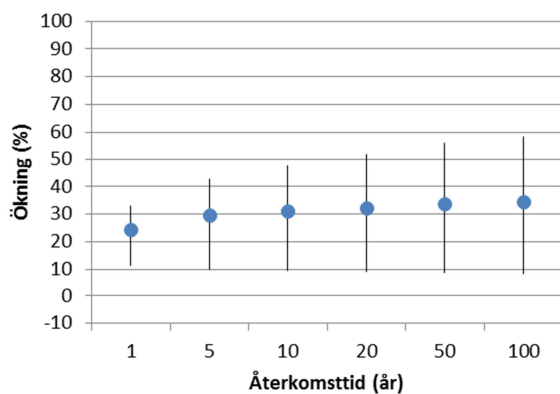
24 timmar



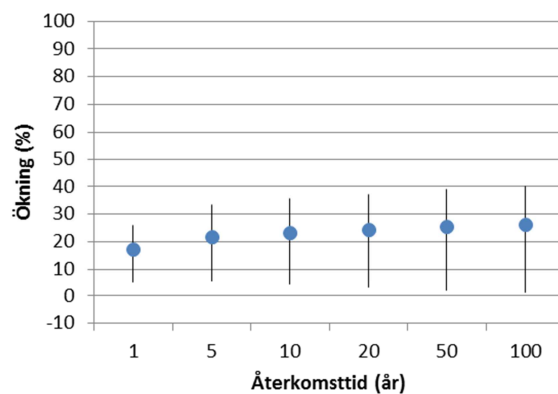
Figur 21. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Haparanda** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden för de sex **SRES**-klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 30 minuter och 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Haparanda

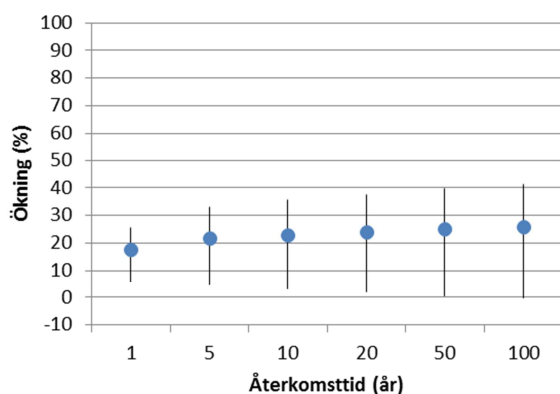
20 min



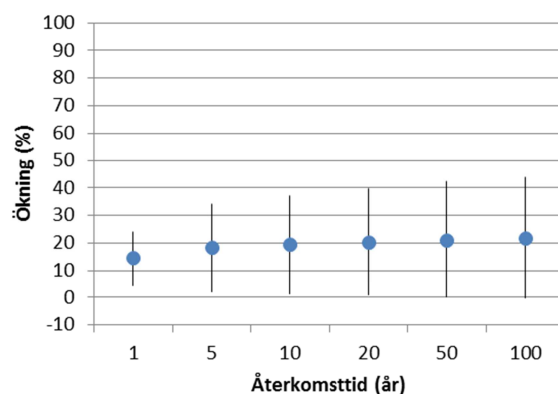
40 min



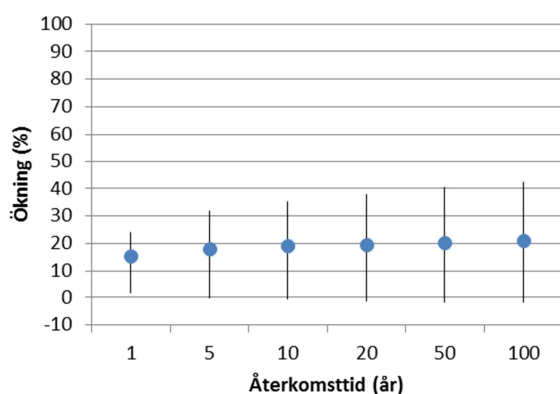
1 timme



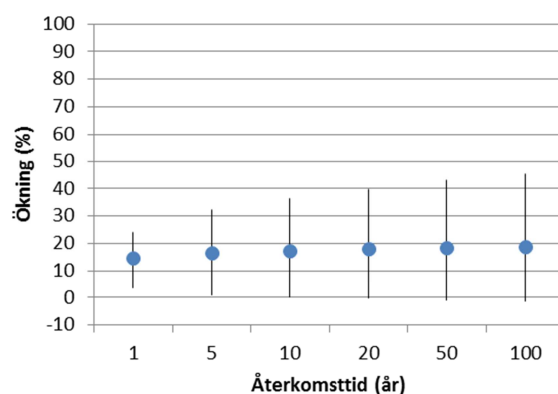
6 timmar



12 timmar



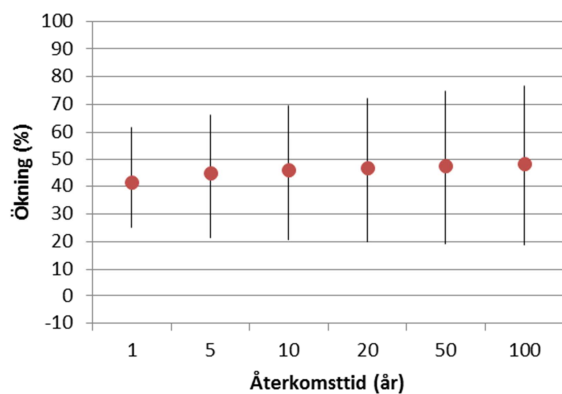
24 timmar



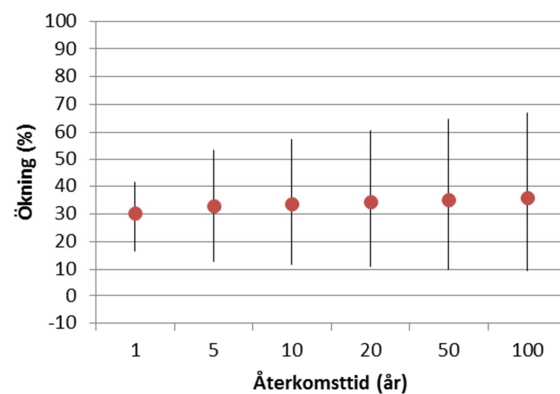
Figur 22. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Haparanda** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år enligt **RCP4.5**. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 20 och 40 minuter samt 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Haparanda

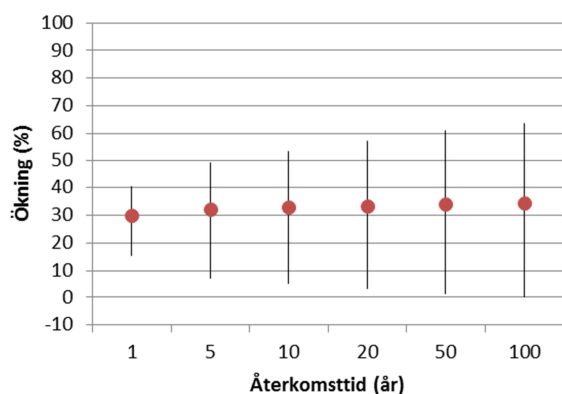
20 min



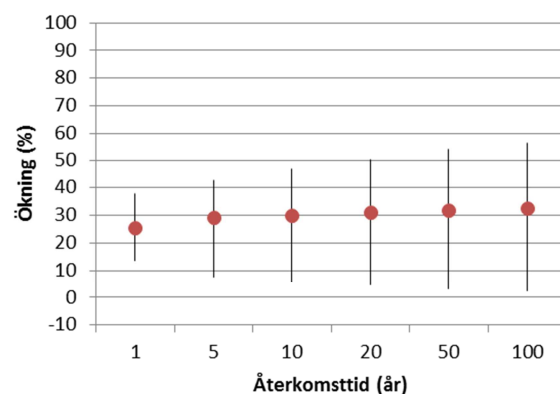
40 min



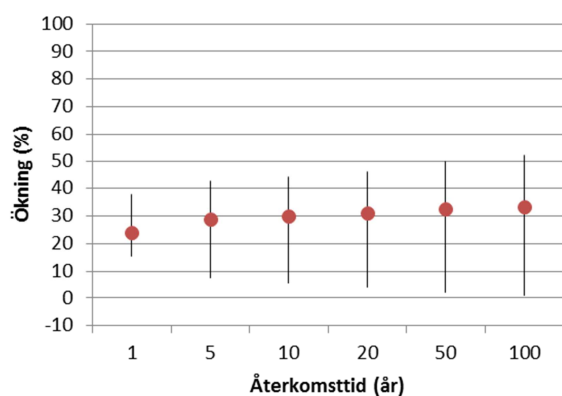
1 timme



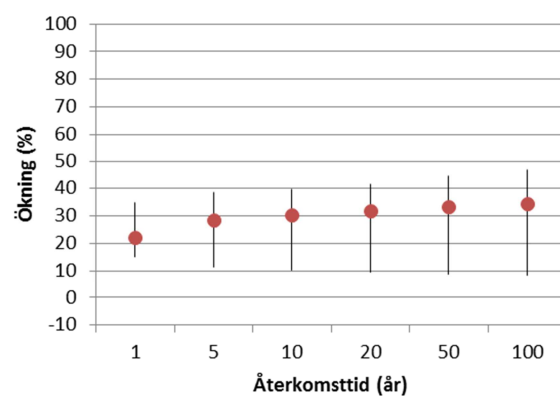
6 timmar



12 timmar



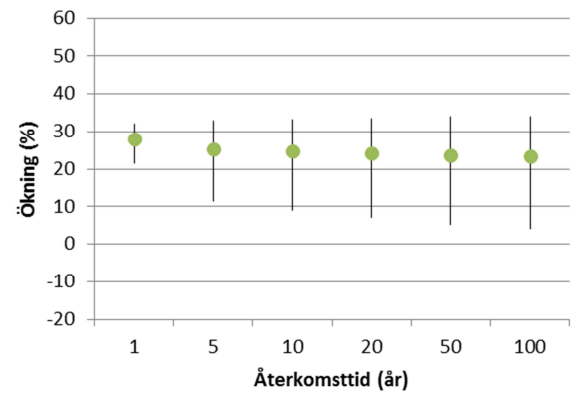
24 timmar



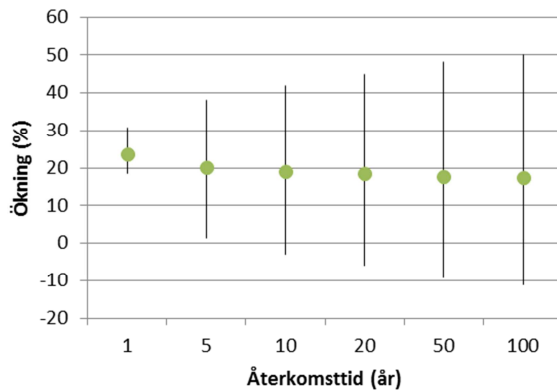
Figur 23. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Haparanda** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år enligt **RCP8.5**. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarierna som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 20 och 40 minuter samt 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Uppsala

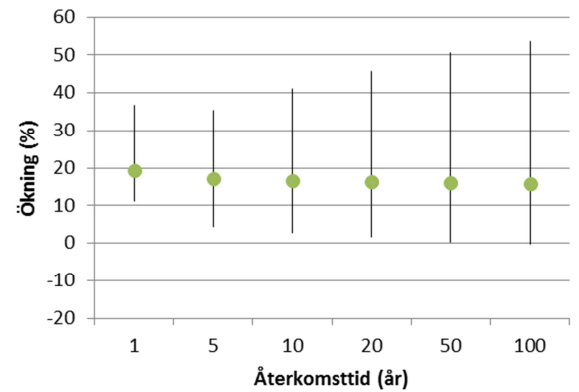
30 min



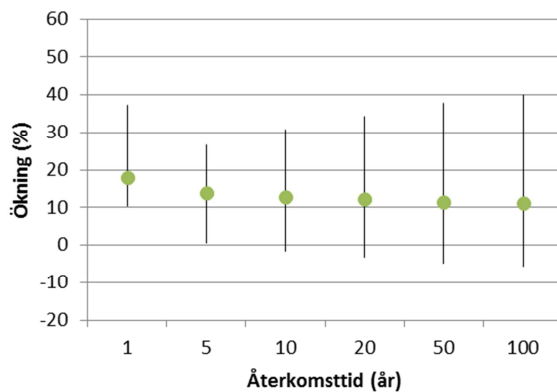
1 timme



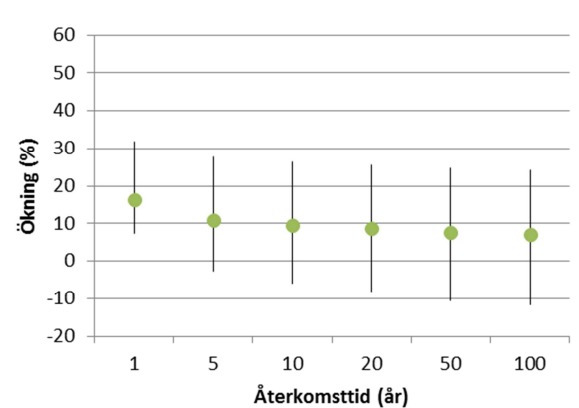
6 timmar



12 timmar



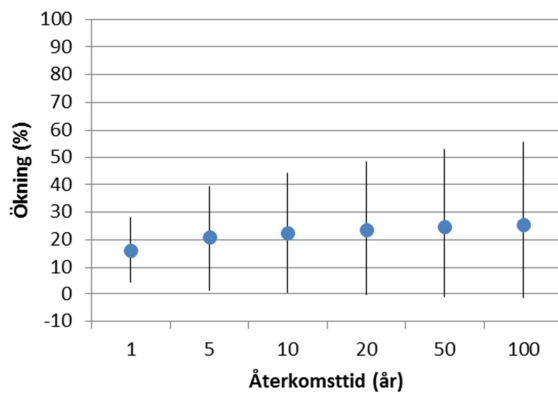
24 timmar



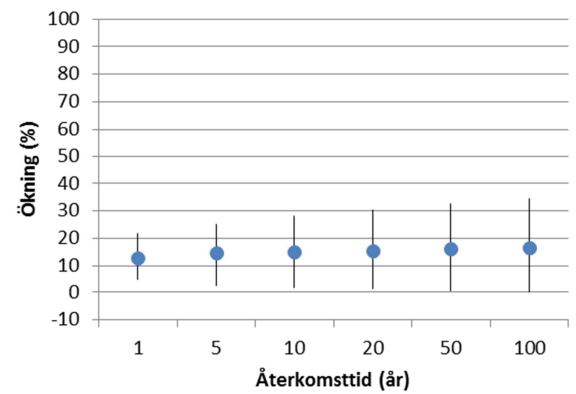
Figur 24. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Uppsala** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden för de sex **SRES**-klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 30 minuter och 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Uppsala

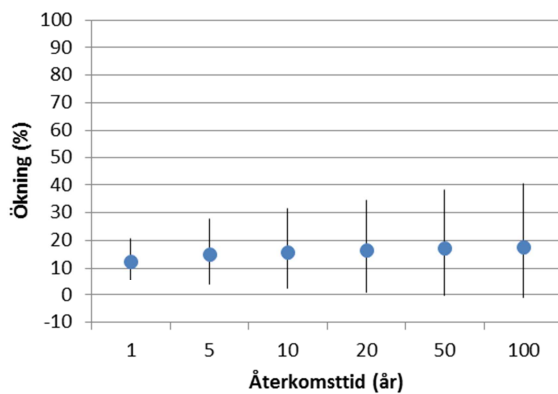
20 min



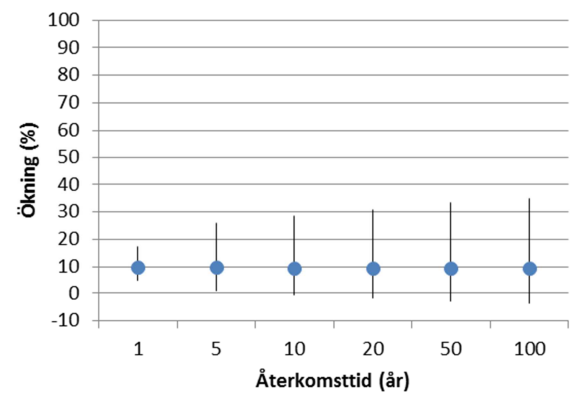
40 min



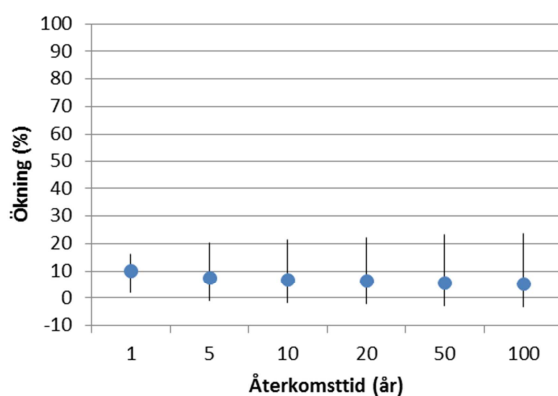
1 timme



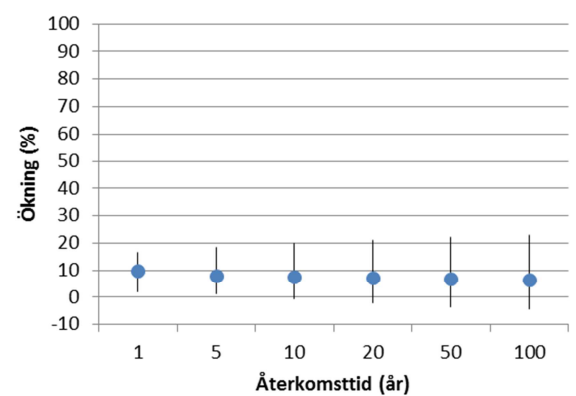
6 timmar



12 timmar



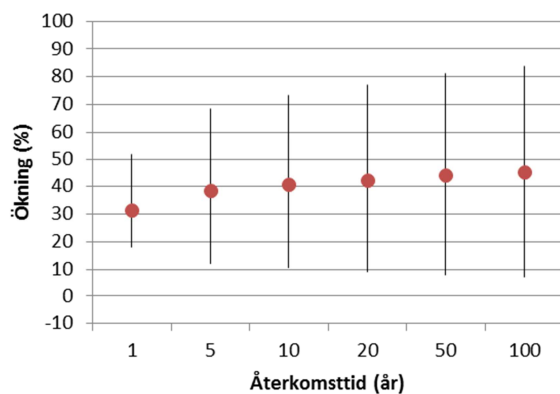
24 timmar



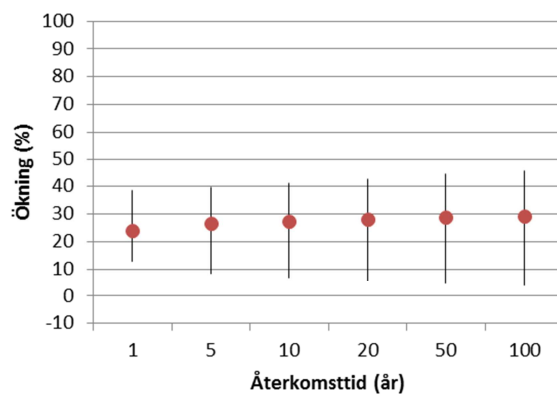
Figur 25. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Uppsala** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år enligt **RCP4.5**. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 20 och 40 minuter samt 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Uppsala

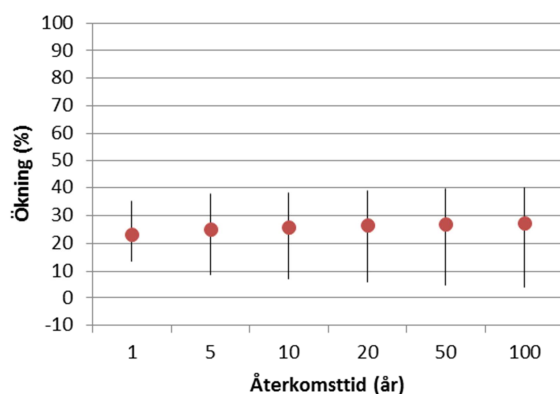
20 min



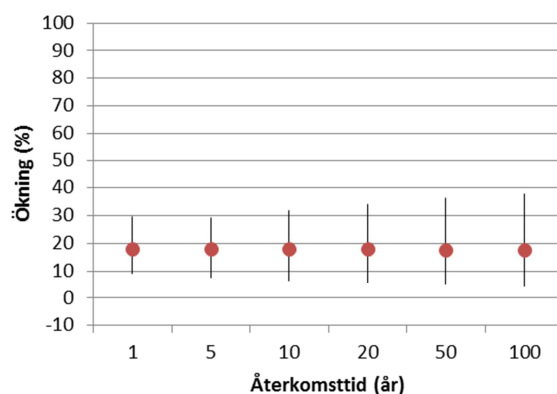
40 min



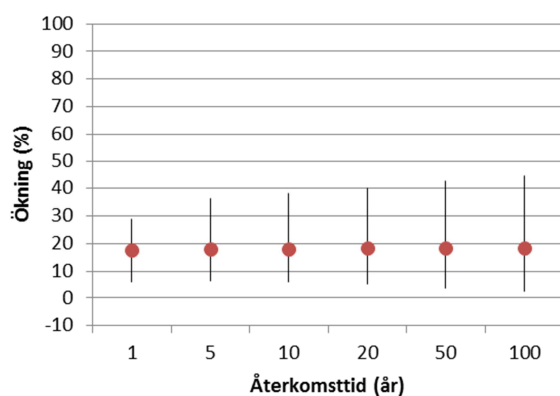
1 timme



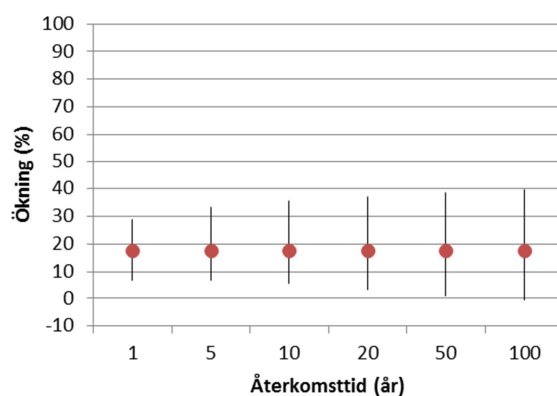
6 timmar



12 timmar



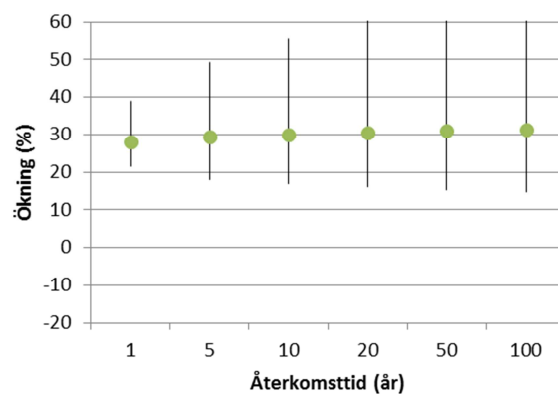
24 timmar



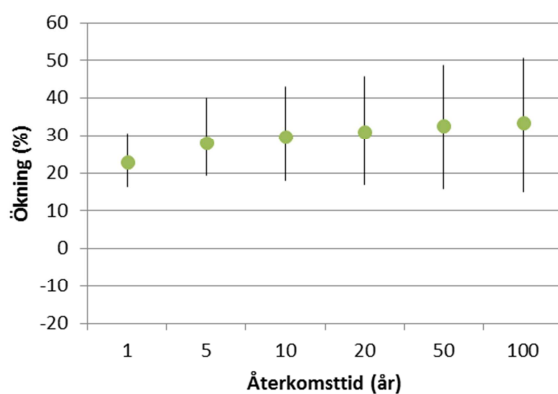
Figur 26. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Uppsala** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år enligt **RCP8.5**. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 20 och 40 minuter samt 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Falkenberg

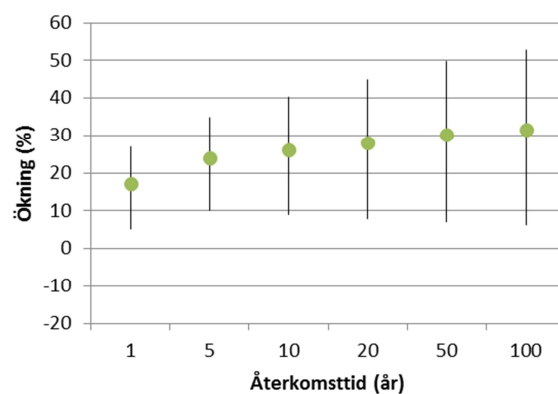
30 min



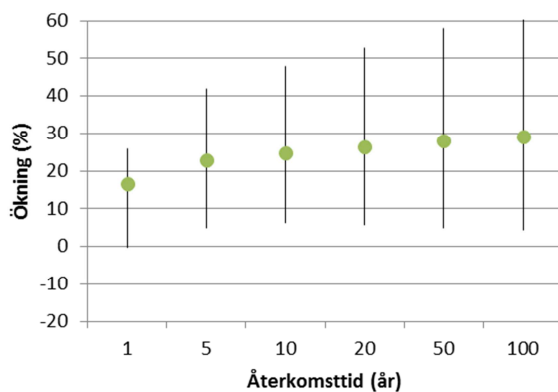
1 timme



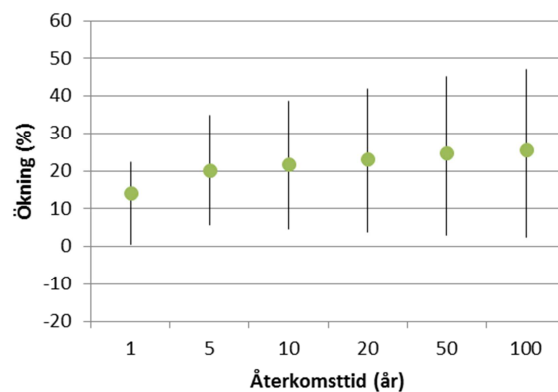
6 timmar



12 timmar



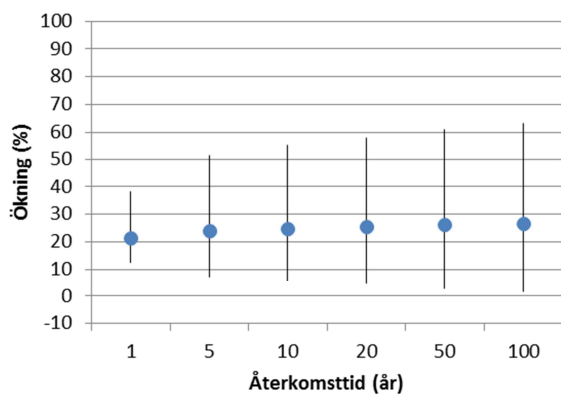
24 timmar



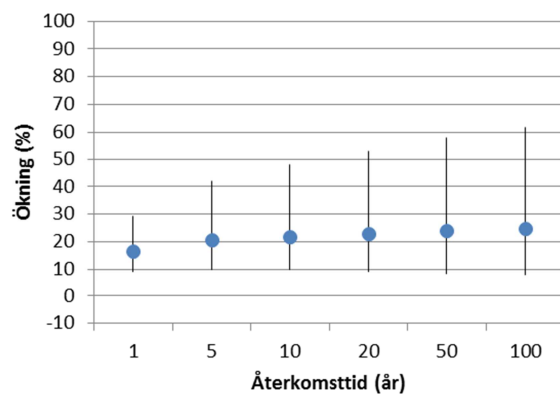
Figur 27. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Falkenberg** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden för de sex **SRES**-klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 30 minuter och 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Falkenberg

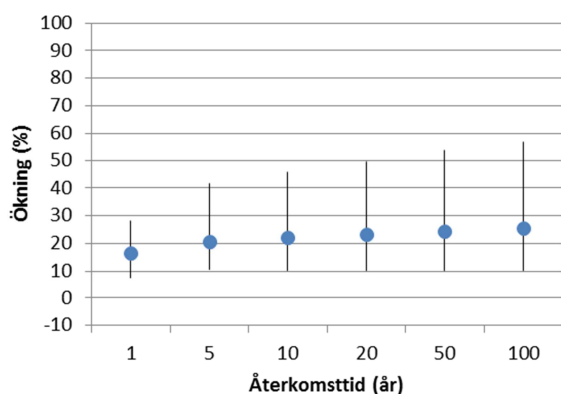
20 min



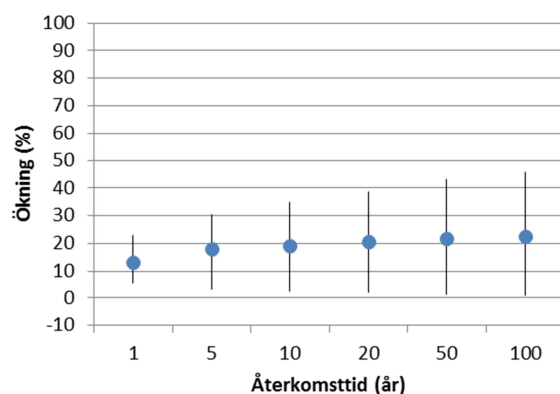
40 min



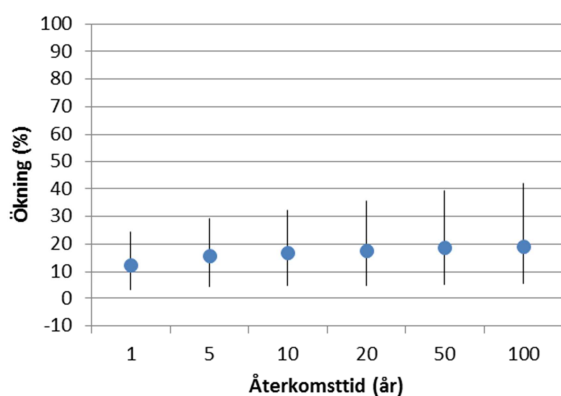
1 timme



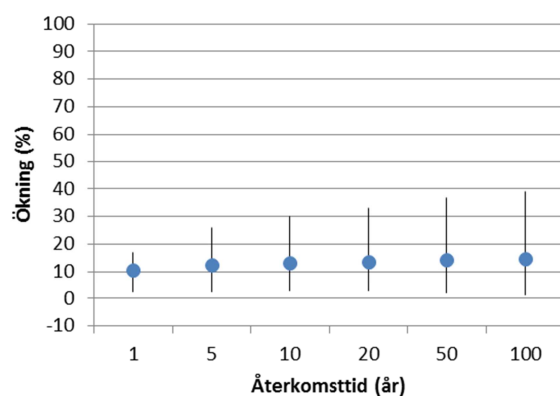
6 timmar



12 timmar



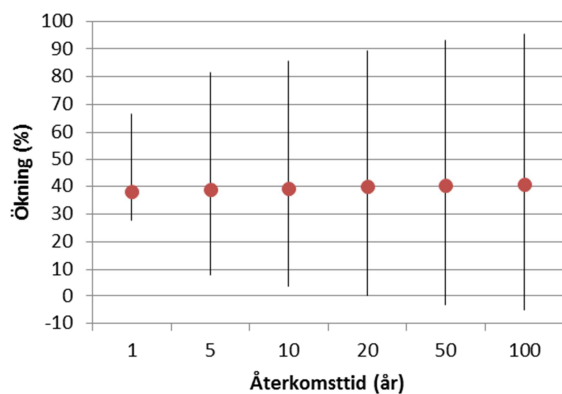
24 timmar



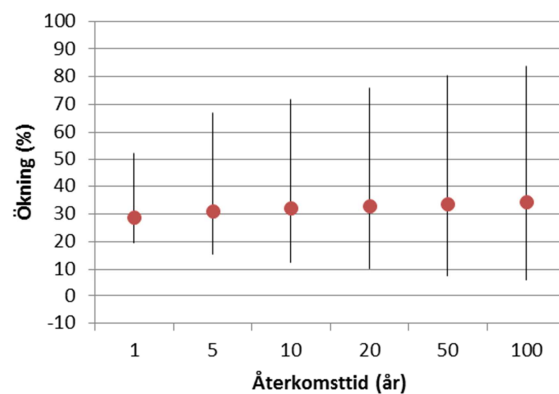
Figur 28. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Falkenberg** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år enligt **RCP4.5**. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 20 och 40 minuter samt 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

Falkenberg

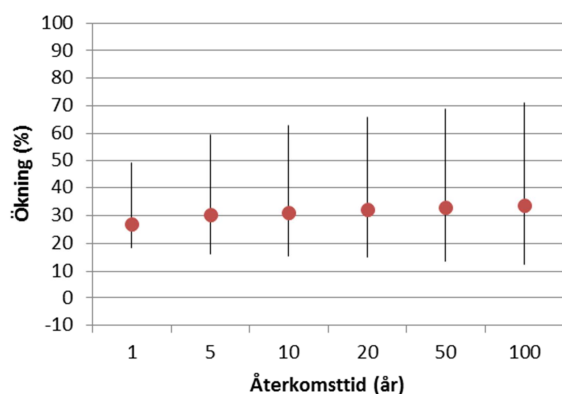
20 min



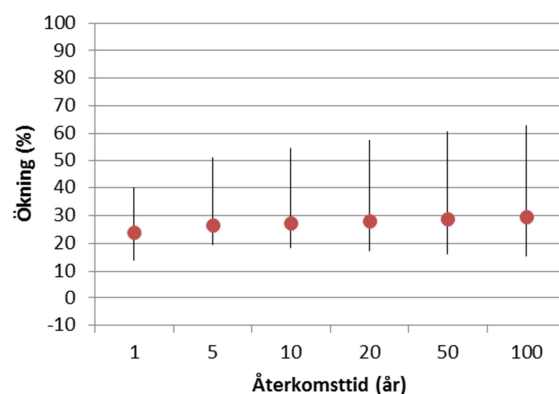
40 min



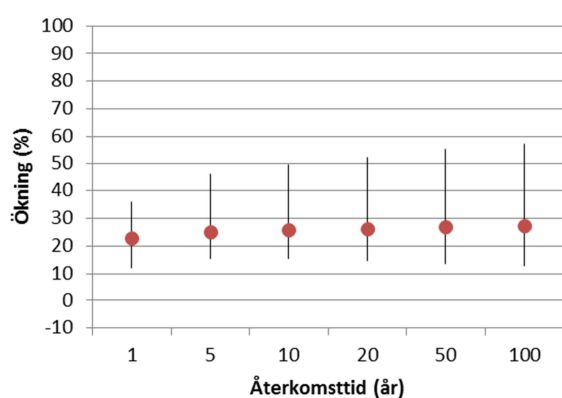
1 timme



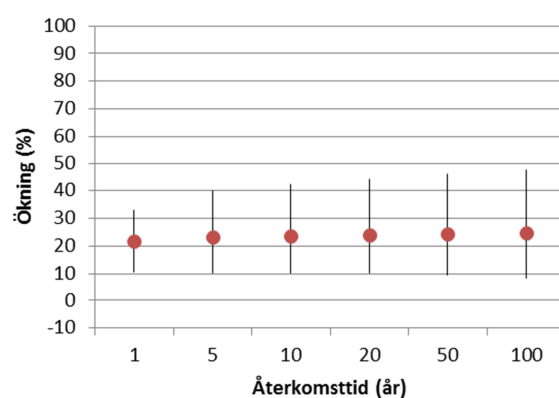
6 timmar



12 timmar



24 timmar

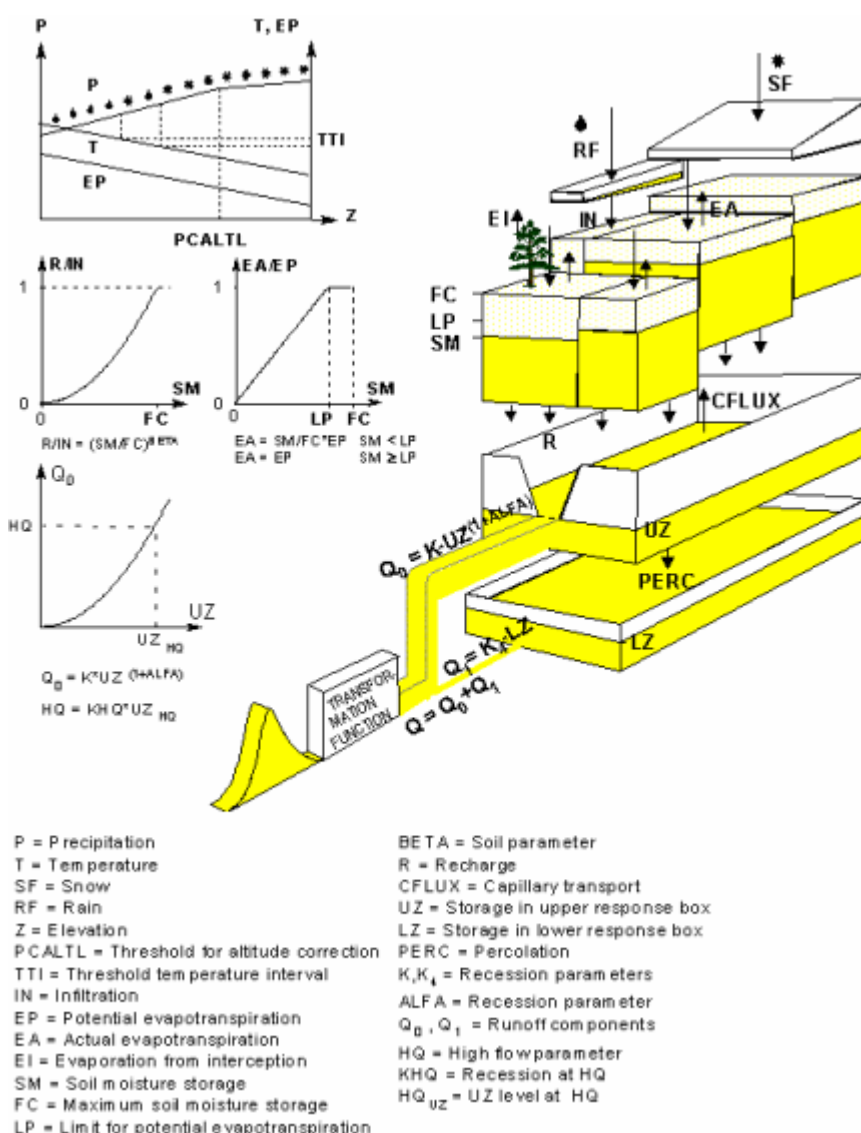


Figur 29. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i **Falkenberg** från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år enligt **RCP8.5**. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarier som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 20 och 40 minuter samt 1, 6, 12 respektive 24 timmar.

8 Hydrologisk modellering

Den hydrologiska avrinningsmodell som använts för beräkningarna av flöden är HBV-modellen. Den har utvecklats vid SMHI sedan början av 70-talet (Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, dvs. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag.

HBV-modellen har en enkel struktur (figur 30) och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler, en för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av avdunstning och markfuktighet och en tredje rutin för beräkning av hur flödesförloppet påverkas av yttre faktorer såsom sjöar och dammanläggningar. Modellen är semidistribuerad vilket innebär att avrinningsområdet delas in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras. Den har dessutom speciella funktioner för att hantera sjöar och regleringsrutiner.



Figur 30. Beskrivning av HBV-modellen.

Indata till modellen är nederbörd och temperatur som hämtas från den databas med areellt fördelad nederbörd och temperatur från 1961 som SMHI förvaltar för främst hydrologiska beräkningar. Databasen refereras till som PTHBV-databasen.

För beräkningarna av framtida flöden har indata framtagits i enlighet med beskrivningarna av metodik för nedskalning i kapitel 5.

Hydrologiska beräkningar har gjorts för flöden med återkomsttiderna 100 år och 200 år samt av Beräknat högsta flöde (Bhf). Beräkningarna har gjorts för dagens klimat och framtida klimat. Framtida klimat representeras av SMHI:s 16 SRES-scenarier, 18 RCP-scenarier samt 6 SRES-scenarier som Göteborgs universitet levererat. Totalt 40 framtidsscenarier.

8.1 Ätran

SMHI har tidigare, på uppdrag av Räddningsverket, genomfört dimensioneringsberäkningar för Ätran (Räddningsverket, SMHI, 2000). Den hydrologiska modelluppsättning som då gjordes var inte avsedd för indata på PTHBV-format. Den är därför inte möjlig att använda med drivdata från klimatsimuleringar enligt den teknik som nu tillämpas. Av denna anledning har en nyuppsättning av HBV-modellen gjorts, för Ätrons avrinningsområde, för att möjliggöra klimatanpassning av Beräknat högsta flöde (Bhf). Indelning i delområden har gjorts där det finns stora sjöar, i punkter med observerad vattenföring, dimensioneringspunkten (Falkenberg) och i mynningen i havet (figur 31).

Geografisk information (areal samt hypsograf som redovisar fördelningen mellan sjö, öppen mark och skog i olika höjdzoner för respektive delområde), hämtades huvudsakligen från SMHI:s databas SVAR samt Röda kartan.

Indata till modellen är nederbörd och temperatur som hämtas från SMHI:s databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd med data från och med 1961. För att kalibrera modellen har vattenföringsdata i punkterna Pepparforsen (2341), Hillared (364), Assmebro (1166) och Yngeredsforsen (2472) använts samt vattenståndsdata i Åsunden (489 Torpa).

Generella avbördningskurvor har lagts in för sjöarna Åsunden, Sämsjön, Fegen, Kalvsjön och Ätraforsdammen för att översiktligt beskriva dämpningen av flödet från sjön. En tidsfördröjning i vattendraget på 1 dygn är inlagt mellan utloppet av Hillared till utloppet av Norrströmmen.

Eftersom modellen används för beräkning av dimensionerande flöden har kalibrering av modellen gjorts med fokus på att beskriva tillfällena med hög tillrinning väl. I beräkningspunkter som inte är en sjö är tillrinning och vattenföring/flöde samma sak. I sjöar dämpas tillrinningstoppen och utflödestoppen från sjön blir lägre än tillrinningstoppen.

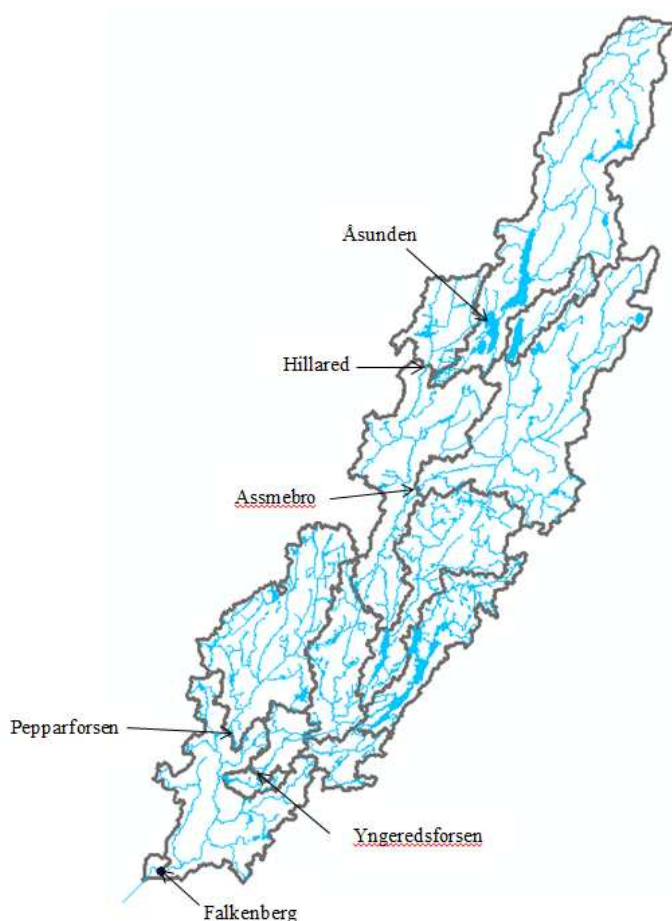
Kalibrering har gjorts i punkterna Hillared, Assmebro, Yngeredsforsen och Pepparforsen. Kalibreringsperioden som använts för Pepparforsen och Assmebro är 1997.09.01-2012.08.31, för Yngeredsforsen 2002.09.01-2012.08.31 och för Hillared 1965.09.01-1975.08.31.

Verifieringsperioden som använts för Pepparforsen är 1983.09.01-1997.08.31, för Assmebro 1962.09.01-1997.08.31, för Yngeredsforsen 1997.09.01-2002.08.31 och för Hillared 1975.09.01-2006.08.31.

Parameteruppsättningen från Yngeredsforsen har använts även för områdena nedströms Pepparforsen och Yngeredsforsen där mätningar av vattenföring saknas.

Beräkning av flödesdimensioneringsklass 1 flöde har gjorts i punkten Falkenberg. Beräkningarna har utförts enligt ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” (Svensk Energi m.fl., 2007).

Vid dimensioneringsberäkningarna användes perioden 1962.10.01-2012.09.30 för beräkning av 30-årssnön och senaste snömaximum, då så lång period som möjligt med data bör användas. För dimensionering användes perioden 1992.04.17-2012.12.30.



Figur 31. Karta över Ätrans avrinningsområde och delområdesindelning i HBV-modellen.

8.1.1 Kalibrering

I tabell 7 visas resultat från kalibreringen av Pepparforsen, Hillared, Assmebro och Yngeredsforsen.

Tabell 7. Kalibreringsresultat för Ätran.

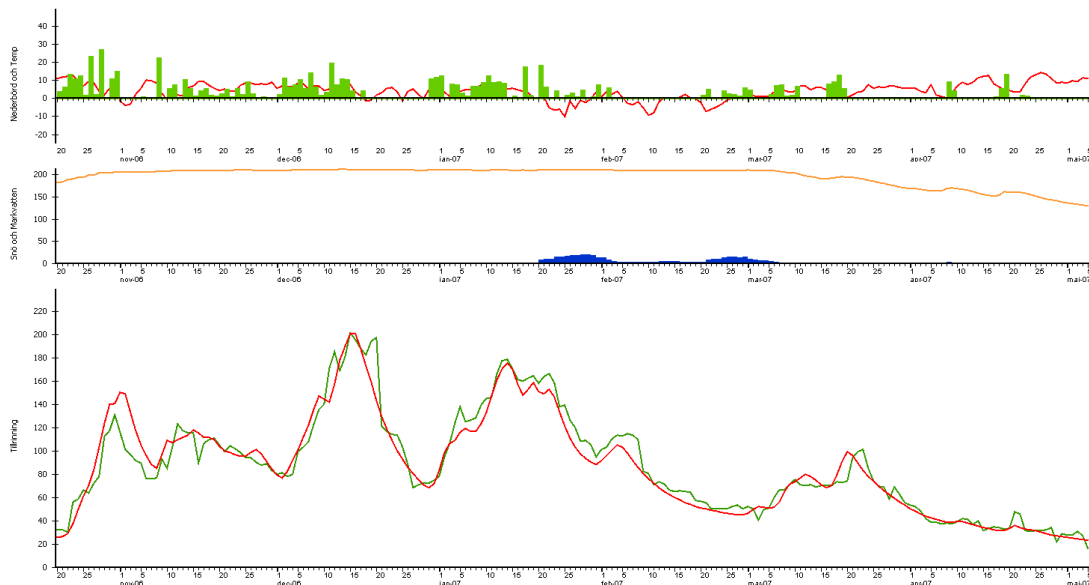
Kalibreringspunkt	Kalibreringsperiod		Verifieringsperiod	
	R ²	Relativt volymsfel (%)	R ²	Relativt volymsfel (%)
Pepparforsen	0,94	0	0,91	- 1,6
Hillared*	0,82	0	0,81	- 0,1
Assmebro	0,92	0	0,84	5,0
Yngeredsforsen, lokal tillrinning**	0,84	0	0,78	3,6
Yngeredsforsen, total tillrinning***	0,91	- 0,6	0,91	- 1,8

* Kalibreringen av Hillared har gjorts mot tillrinning, med vattenföringsdata från Hillared och vattenståndsdata från Äsunden. En generell avbördningskurva för Äsunden har lagts in efter kalibreringen och kalibrerats in mot observerat vattenstånd i Äsunden.

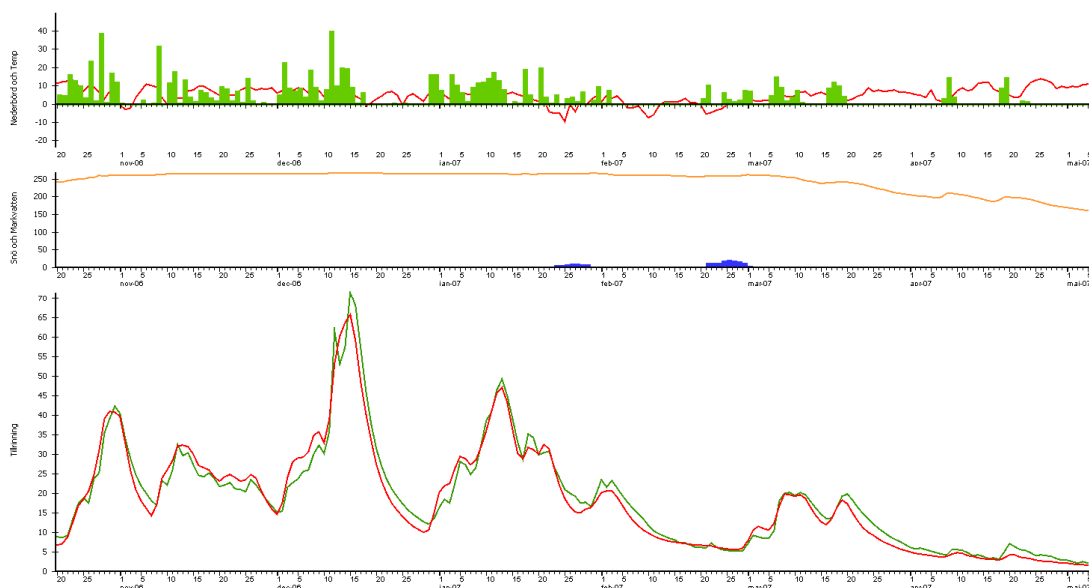
**Kalibrering på lokal tillrinning nedströms Hillared och Assmebro.

***Med avbördningskurva i Äsunden och alla uppströms kalibreringar inlagda.

Resultatet av kalibreringen kan ses i figur 32 och figur 33 samt i tabell 7. Figurerna visar det högsta flödet under perioden med data (hösten, vintern och våren 2006-2007).



Figur 32. Tillrinning till **Yngeredsforsen** (total tillrinning) hösten, vintern och våren 2006-2007. Överst: nederbörd (staplar, enhet mm) och temperatur (linje, enhet °C), mitten: snö (blå staplar, enhet mm) och markvatten (linje, enhet mm) nederst: observerad tillrinning Yngeredsforsen (grön linje, enhet m³/s) och beräknad (röd linje, enhet m³/s).



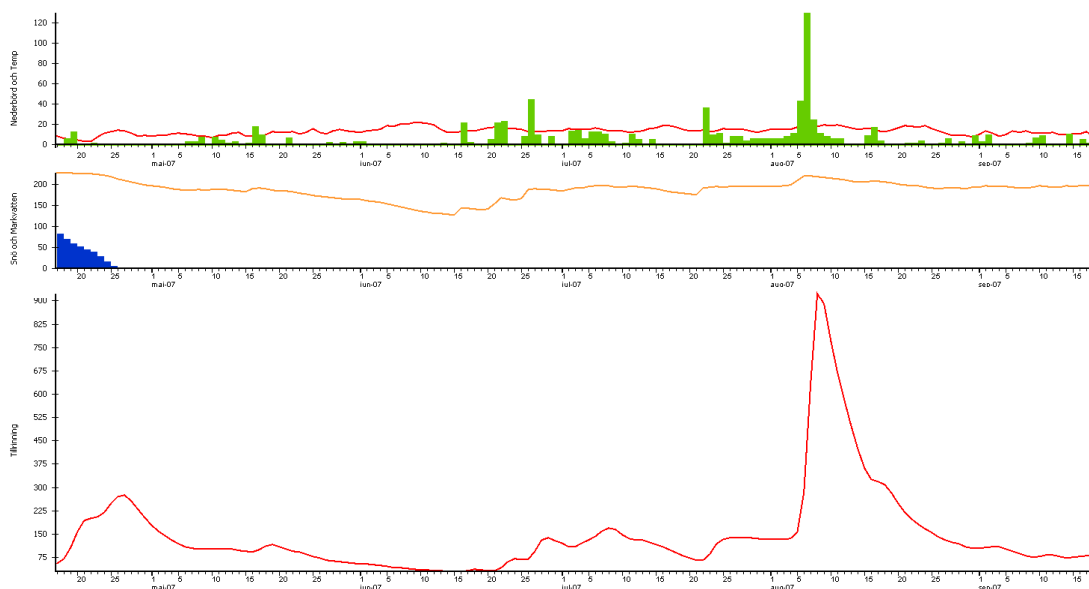
Figur 33. Tillrinning till **Pepparforsen** hösten, vintern och våren 2006-2007. Överst: nederbörd (staplar, enhet mm) och temperatur (linje, enhet °C), mitten: snö (blå staplar, enhet mm) och markvatten (linje, enhet mm) nederst: observerad tillrinning Pepparforsen (grön linje, enhet m³/s) och beräknad (röd linje, enhet m³/s).

8.1.2 Dimensionerande flöde

Snöberäkningen i dimensioneringspunkten Falkenberg (kraftverket) gav ett resultat för 30-års snö på 96 mm (vattenekvivalent) samt ett maximalt snötäcke under beräkningsperioden på 116 mm som inträffade 1977. Det senaste datum då maximalt

snötäcke existerat och som också blir det datum då 30-årssnön läggs upp i dimensioneringsberäkningar var den 16/4 (1992).

Dimensionerande tillfälle inträffade 8 augusti 2007 och resulterar i ett flöde på 925 m³/s. Vid beräkning används uppmätt nederbörd och temperatur som drivdata, förutom då den dimensionerande nederbördssekvensen läggs på (vilket i det här fallet görs den 29/7) då observerad nederbörd byts ut mot nederbördssekvensen under 14 dagar. I figur 34 visas resultat för det dimensionerande tillfället.



Figur 34. Dimensionerande tillfälle för **Falkenberg**. Överst: nederbörd (staplar, enhet mm) och temperatur (linje, enhet °C), mitten: snö (blå staplar, enhet mm) och markvatten (linje, enhet mm) nederst: beräknad tillrinning (flöde) (röd linje, enhet m³/s).

8.1.3 Diskussion

Vid uppsättningen har generella avbördningskurvor använts för utloppssjöarna. Vi har inte haft tillgång till några uppmätta avbördningskurvor och magasinstabeller eller regleringsrutiner, vilket innebär en viss förenkling.

Enligt en gammal dimensioneringsberäkning gjord 1999 med en tidigare modelluppsättning (Räddningsverket, SMHI, 2000) beräknades högsta flöde (Bhf) till 542 m³/s i mynningen i Kattegatt. Enligt aktuell beräkning är beräknat högsta flöde 925 m³/s i Falkenberg. Avsikten inom projektet var inte att göra om den gällande beräkningen av Bhf, men en nyuppsättning av den hydrologiska modellen blev nödvändig då den tidigare modellen inte var möjlig att tillämpa med indata från klimatsimuleringar.

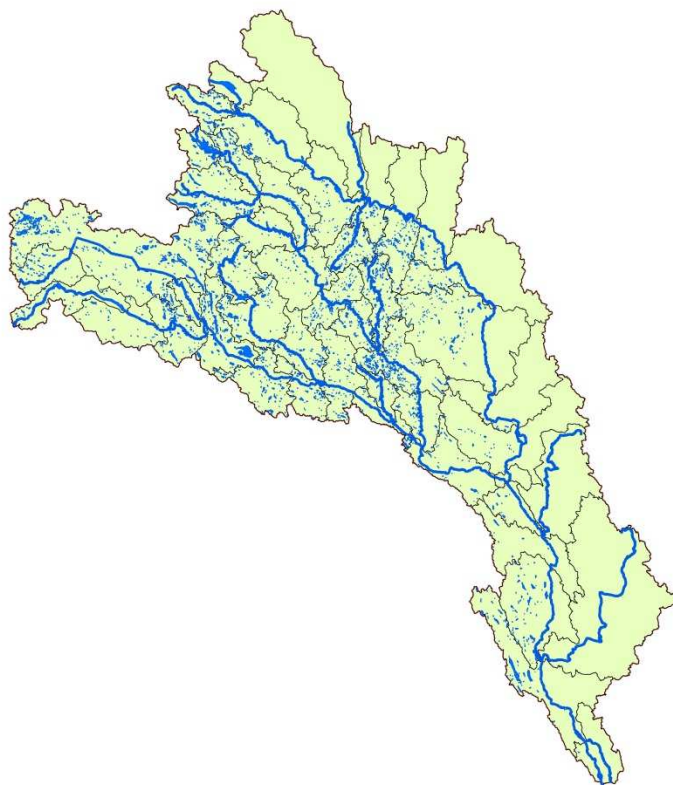
När en dimensioneringsberäkning görs om, med andra förutsättningar, kan inte förväntas att resultatet blir detsamma. Skillnaden, jämfört med den tidigare beräkningen, är här dock oväntat stor. Det finns flera bidragande orsaker till skillnaderna. En stor bidragande orsak är att fler år med höga flödestoppar ingår i den tidsperiod som omfattas av den aktuella beräkningen. Detta möjliggör en bättre anpassning av kalibreringen för att beskriva höga flödestoppar, vilket påverkar modellresultatet. Även den period som dimensioneringsberäkningen genomförts för skiljer sig mellan beräkningarna, där dimensionerande värde för den senare perioden blir högre. HBV-modellen utvecklas fortlöpande och modellen har också under åren blivit bättre på att beskriva höga flöden.

Eftersom skillnaderna, mellan beräkningarna från 1999 och de nu genomförda, är så stora har mycket kraft lagts på att utvärdera kalibreringen och granska beräkningarna. En av de stationer (Skogsforsen) som användes i den tidigare kalibreringen har lagts ned och i kalibreringen ersatts av två andra stationer (Yngeredsforsen och Pepparforsen). En

jämförelse, av den överlappande perioden för stationerna Pepparforsen och Skogsforsen (1997), indikerar att de nya stationerna ger högre toppar. Sammanfattningsvis är det omöjligt att fullt ut spåra var skillnaderna uppstår eftersom det är så många faktorer som skiljer sig åt (modelluppsättning, modellversion, kalibrering, indata och tidsperioder). Alla faktorer bedöms dock ha förbättrats mellan beräkningarna. Därför har SMHI större tilltro till den nu genomförda beräkningen än den som är 17 år gammal.

8.2 Torneälven

Torneälvsmodellen som använts i detta projekt har tidigare satts upp inom Interreg projektet "Detaljerad översvämningsskartering av nedre Torneälven" (Persson m.fl., 2011a). Om islossningsproblematiken i Torneälven och dess relation till översvämningar kan läsas i Persson (2012). Distriktsuppsättningen av Torneälven består av 49 delavrinningsområden. Kalibreringen har gjorts för 13 delavrinningsområden där det har funnits observerat flöde att kalibrera på. Figur 35 visar en karta över Torneälvens avrinningsområde och delområden i HBV-modellen.



Figur 35. Karta över Torneälvens avrinningsområde och delområden i HBV-modellen.

9 Flöden i framtida klimat

Beräkningar av framtida flöden med 100 års och 200 års återkomsttid samt Bhf-flöde (beräknat högsta flöde) har gjorts för alla scenarier. Metodiken för beräkning av Bhf-flöden bygger på riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar för dammar i flödesdimensioneringsklass I (Svensk Energi m.fl., 2007) och finns beskriven i Hallberg m.fl. (2014).

Även 100-årsflöden bygger på riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar för dammar i flödesdimensioneringsklass I (Svensk Energi m.fl., 2007). Beräkning av 100-årsflödet utgår från inträffade flödeshändelserna i de beräknade

tidserierna (30-årsperioder). Från varje år extraheras det högsta inträffade värdet så att en tidserie med maxvärden skapas. Till denna serie med maxvärden anpassas sedan en statistisk fördelning, som kan extrapoleras till betydligt längre återkomsttider än tidseriens längd. Tumregeln är, även här, att helst inte extrapolera till återkomsttider som är mer än dubbla den tillgängliga mätseriens längd. Samma metodik har också använts för beräkning av 200-årsflöden. För 100- och 200-årsflödet för dagens klimat bygger analyserna på observerade flöden i och i närheten av det analyserade vattendraget.

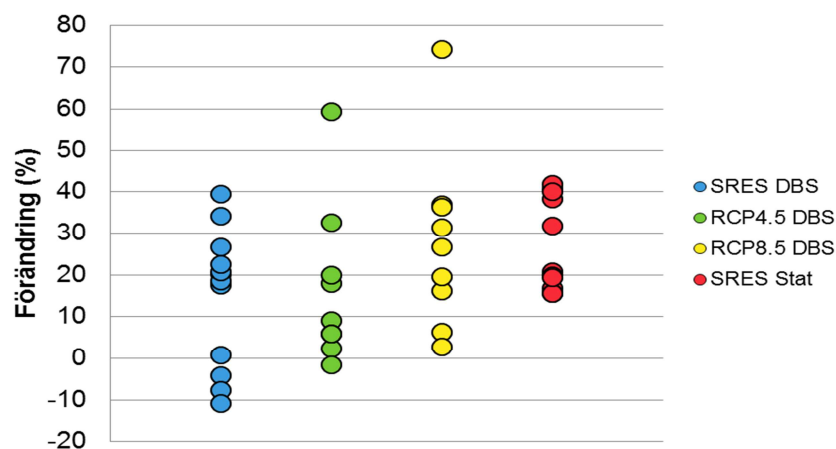
Drivdata i form av nederbörd och temperatur för de olika klimatscenarierna har använts i de hydrologiska modellerna för Ätran och Torneälven. Flöden har beräknats för mitten av seklet och slutet av seklet.

9.1 Ätran

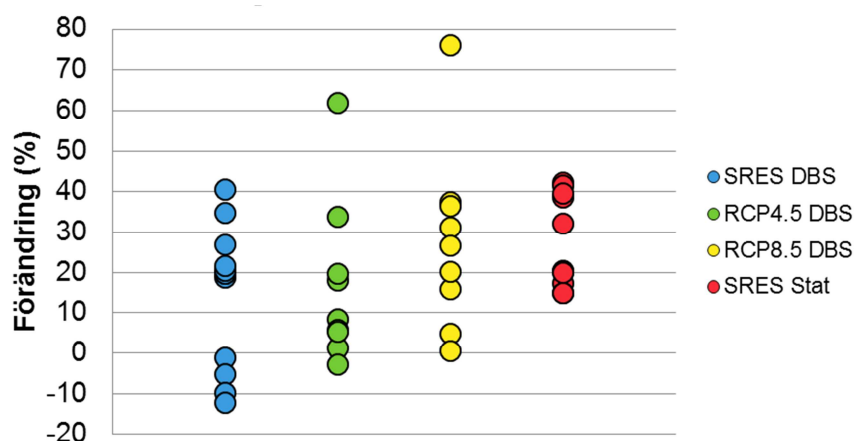
Figurerna 36 -38 visar den procentuella förändringen av 100 års-, 200 års- och Beräknat högsta flöde för de olika klimatscenarierna vid slutet av seklet för Ätran. Motsvarande absoluta värden för dagens klimat (baserat på observerade data) är 376 m³/s för 100-årsflödet, 407 m³/s för 200-årsflödet och 925 m³/s för beräknat högsta flöde.

Generellt visar beräkningarna på en stor spännvidd, men de flesta anger en ökning av samtliga flöden. RCP 8.5 hamnar något högre än RCP 4.5, vilket är tydligast för Bhf-flödet. SRES- scenarierna spänner över både RCP 4.5 och RCP 8.5. De scenarier som Göteborgs Universitet har skalerat statistiskt representerar endast SRES- scenarier och resultatet för dessa hamnar inom samma område som SMHI: s SRES-scenarier.

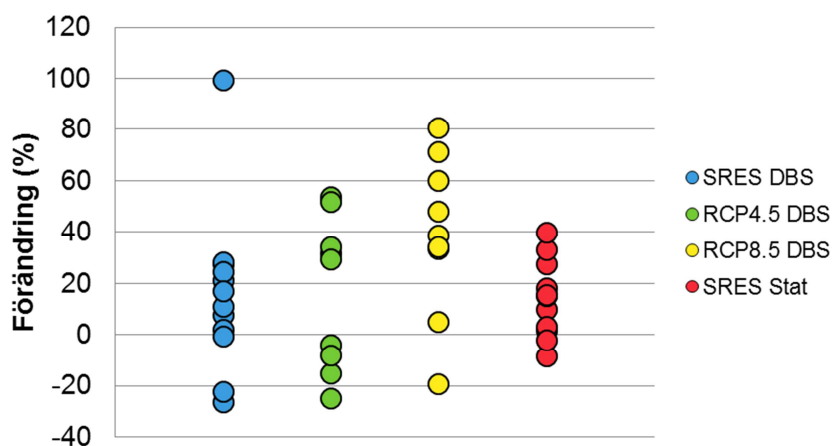
Om samtliga scenarier räknas in blir spännvidden mycket stor. Bortsett från den globala modellberäkning som ger högsta värdena, visar 100- och 200-årsflödena på -10 % till +40% förändring. Den totala spännvidden i resultaten för Bhf-flöden är stor, -30% till +80%.



Figur 36. Procentuell förändring av vattenföring med 100 års återkomsttid för Ätran vid slutet av seklet i jämförelse med referensperioden. Blått, grönt och gult visar resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.



Figur 37. Procentuell förändring av vattenföring med **200 års återkomsttid** för **Åtran** vid slutet av seklet i jämförelse med referensperioden. Blått, grönt och gult visar resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.



Figur 38. Procentuell förändring av vattenföring med **Bhf-flöden** för **Åtran** vid slutet av seklet i jämförelse med referensperioden. Blått, grönt och gult visar resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.

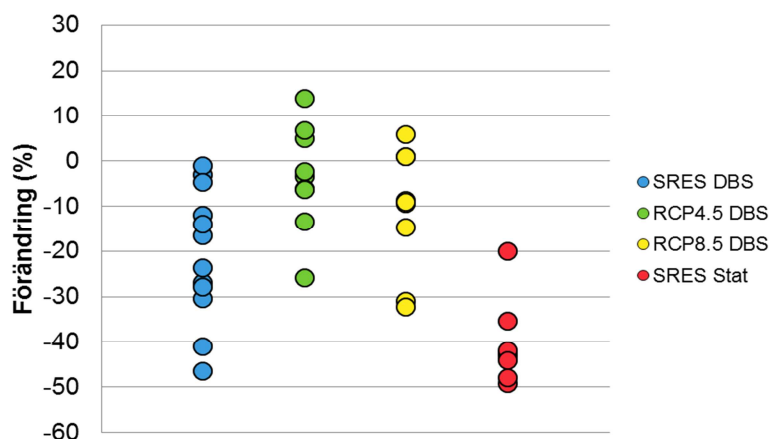
I bilaga 4 visas jämförande diagram över absoluta vattenföringsvärden för samtliga beräkningar av 100-års, 200-års och Bhf-flöde. För referensperioden ses en ganska stor spridning i beräkningarna av 100-års och 200-årsflöden, där de flesta beräknade värdena är lägre än motsvarande beräkning för observerade data. För beräkningarna av Bhf är bilden betydligt mer samstämmig kring 900 m³/s, vilket också stämmer väl med beräkningen baserat på observerade indata

9.2 Torneälven

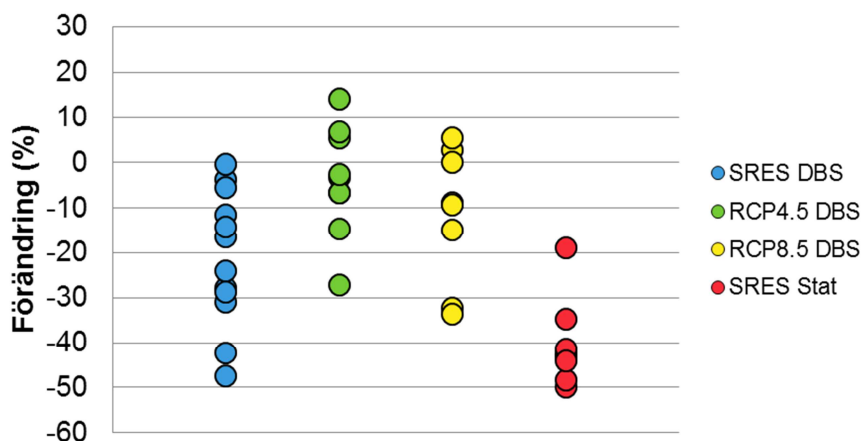
Figurerna 39-41 visar den procentuella förändringen av 100 års-, 200 års- och Beräknat högsta flöde för de olika klimatsscenarierna vid slutet av seklet för Torneälven. Motsvarande absoluta värden för dagens klimat (baserat på observerade data) är 3715 m³/s för 100-årsflödet, 4330 m³/s för 200-årsflödet och 7777 m³/s för beräknat högsta flöde.

Beräkningarna för Torneälven uppvisar mindre spännvidd än vad som är fallet för Ätran. Generellt visar beräkningarna för Torneälven på att flödena minskar. Samtliga SRES-scenarier pekar på lägre eller oförändrade flöden, både avseende 100-års, 200-års och Bhf-flöden. Det gäller bägge nedskalningsmetoderna. Flödena beräknade med statistisk nedskalning av SRES-scenarier är överlag lägre än övriga scenarier.

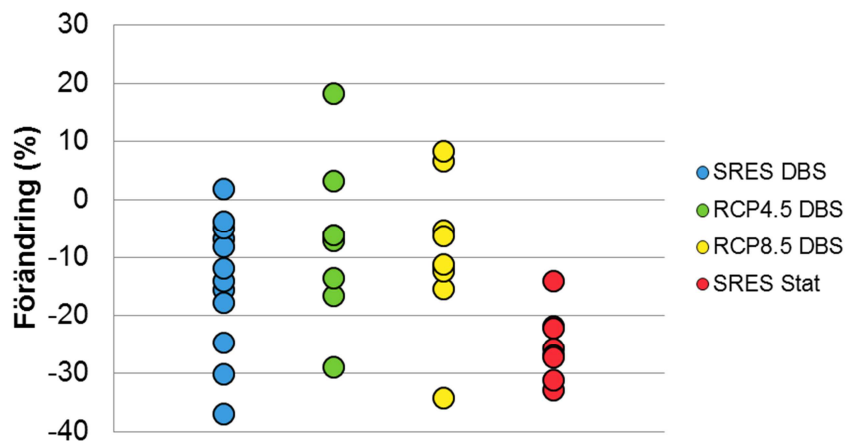
Till skillnad från Ätran ses för Torneälven lägre flöden vid slutet av seklet enligt RCP8.5 jämfört med RCP4.5.



Figur 39. Procentuell förändring av vattenföring med **100 års återkomsttid** för **Torneälven** vid slutet av seklet i jämförelse med referensperioden. Blått, grönt och gult visar resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.



Figur 40. Procentuell förändring av vattenföring med **200 års återkomsttid** för **Torneälven** vid slutet av seklet i jämförelse med referensperioden. Blått, grönt och gult visar resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.

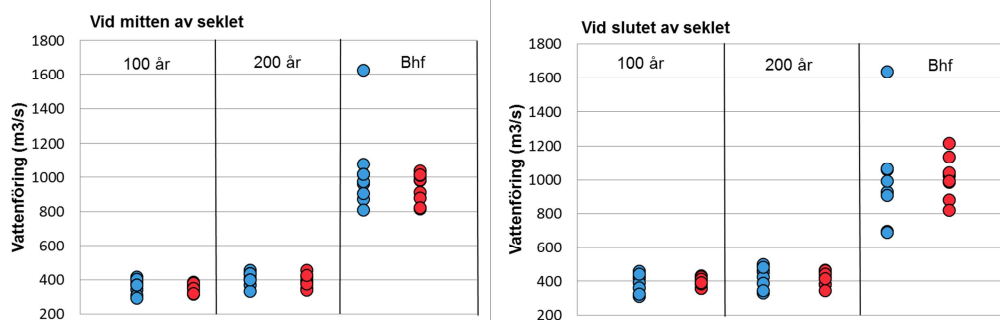


Figur 41. Procentuell förändring av vattenföring med **Bhf-flöden** för **Torneälven** vid slutet av seklet i jämförelse med referensperioden. Blått, grönt och gult visar resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.

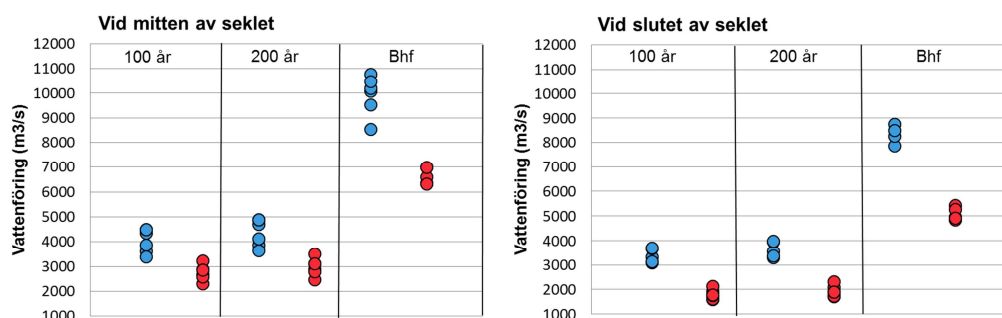
I bilaga 4 visas, på samma sätt som för Ätran, jämförande diagram över absoluta vattenföringsvärden för samtliga beräkningar av 100-års, 200-års och Bhf-flöde. För referensperioden ses en ganska stor spridning i beräkningarna av samtliga flöden. De statistiskt nedskalade SRES-scenarierna är konsekvent lägre än de som är beräknade med observerade data medan övriga scenarier innefattar detta värde i de modellerade ensemblerna, även om spridningen är stor.

9.3 Jämförelse av beräkningar

För SRES-scenarierna (liksom RCP-scenarierna) erhålls relativt små skillnader i absoluta tal mellan 100- och 200-årsflöden, vilket är att vänta (figur 42-43). Beräkningarna visar också att 100-, 200-års och Bhf-flödena för Torneälven minskar mot slutet av seklet, jämfört med mitten av seklet. Beräkningarna med de två nedskalningsmetoderna avseende SRES-scenarier visar att DBS-metoden för Torneälven genomgående resulterar i högre värden, särskilt för Bhf-flöden (figur 43). För Ätran är resultaten från SRES-scenarierna och DBS-metoden mer lika (figur 42).



Figur 42. Beräkningar för **Ätran** av 100-års, 200-årsflöden samt Bhf-flöden med SRES-scenarier vid mitten av seklet (vänster) respektive vid slutet av seklet (höger). Blå cirklar avser DBS-nedskalade indata och röda cirklar avser statistiskt nedskalade indata.



Figur 43. Beräkningar för **Torneälven** av 100-års, 200-årsflöden samt Bhf-flöden med SRES-scenarier vid mitten av seklet (vänster) respektive vid slutet av seklet (höger). Blå cirkelar avser DBS-nedskalade indata och röda cirkelar avser statistiskt nedskalade indata.

Vid beräkning av Bhf fås bland annat information om hur dimensionerande snötäcket samt medel- och maximal tillrinning förändras. I figur 44 visas dimensionerande snötäckets förändring, medel- och maxtillrinningens förändring perioden 2069-2098 uttryckt som procentuell avvikelse från referensperioden 1961-1990 för Ätran. Motsvarande för Torneälven ses i figur 45.

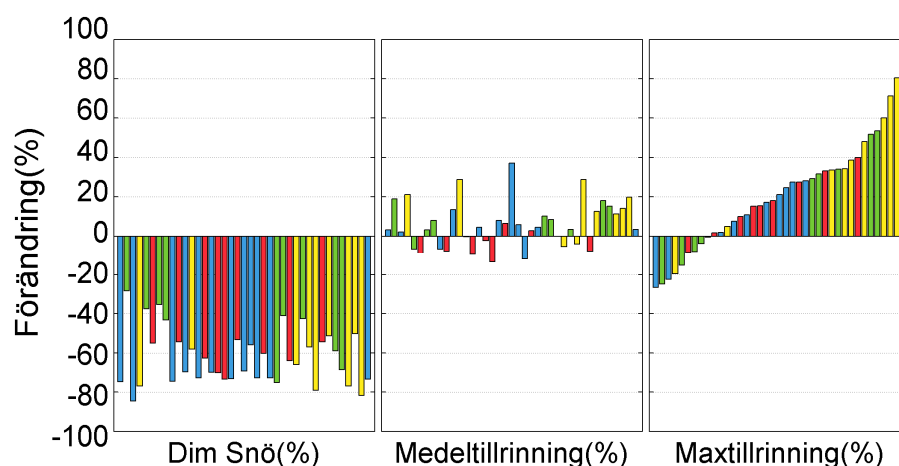
Beräkningarna visar att samtliga scenarier visar på tydligt minskande dimensionerande snötäcke för Ätran med 30-80%. Även för Torneälven ses minskande snötäcke i de flesta scenarier på ca 10-60%. Några scenarier visar i princip ingen skillnad. Störst förändring i snötäcke erhålls av SRES-scenarierna och då särskilt nedskalade med den statistiska metoden.

För Torneälven ses, med ett undantag, en entydig ökning av medeltillrinningen. För RCP-scenarierna erhålls, som förväntat, en större förändring med RCP8.5 jämfört med RCP4.5 för både dimensionerande snötäcke och medeltillrinning. Däremot är det inte lika tydligt för maxtillrinningen.

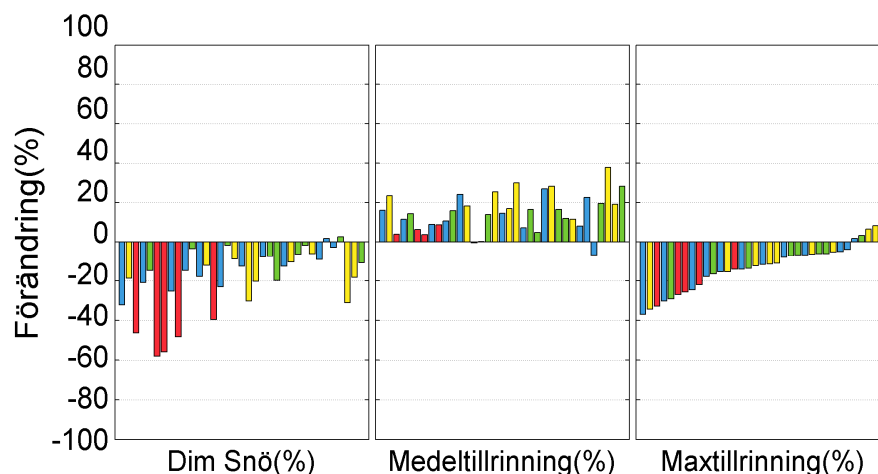
Medeltillrinningen för Ätran visar ett mer splittrat intryck än för Torneälven. De flesta scenarier pekar på en ökning men mindre än för Torneälven. Av de scenarier som anger en minskad medeltillrinning är de flesta Statistiskt nedskalade SRES-scenarier.

Maximala tillrinningen för Torneälven visar huvudsakligen på en minskning vilket, till stor del, kan relateras till det minskade snötäcket. För Ätran ses huvudsakligen en ökning av maximala tillrinningen vilket beror på ökad nederbörd.

I bilaga 5 och 6 visas mer kompletta diagram över dimensioneringsberäkningar, där även tidpunkter för när på året de dimensionerande flödestopparna inträffar i beräkningarna kan ses. För Ätran ses inga större förändringar. De högsta flödestopparna kan, som idag, förväntas i samband med nederbördsrika perioder i slutet av sommaren. För Torneälven ses en förskjutning mot allt tidigare flödestoppar på våren, juni till maj, vilket hör samman med en tidigare snösmältningsperiod. Vissa scenarier visar även att vid slutet mot seklet kan flödestoppar inträffa under augusti, vilket tyder på försvagning av flödestoppar på våren.



Figur 44. Resultat från dimensioneringsberäkningarna för **Åtran**. SRES med DBS-metoden (blå), RCP4.5 med DBS (grön), RCP8.5 med DBS (gul) och SRES med statistisk metod (röd). Förändring av dimensionerande snötäcket medeltillrinning och maximal tillrinning uttrycks som procentuell avvikelse för perioden 2067-2096 jämfört med 1961-1990.



Figur 45. Resultat från dimensioneringsberäkningarna för **Torneälven**. SRES med DBS-metoden (blå), RCP4.5 med DBS (grön), RCP8.5 med DBS (gul) och SRES med statistisk metod (röd). Förändring av dimensionerande snötäcket medeltillrinning och maximal tillrinning uttrycks som procentuell avvikelse för perioden 2067-2096 jämfört med 1961-1990.

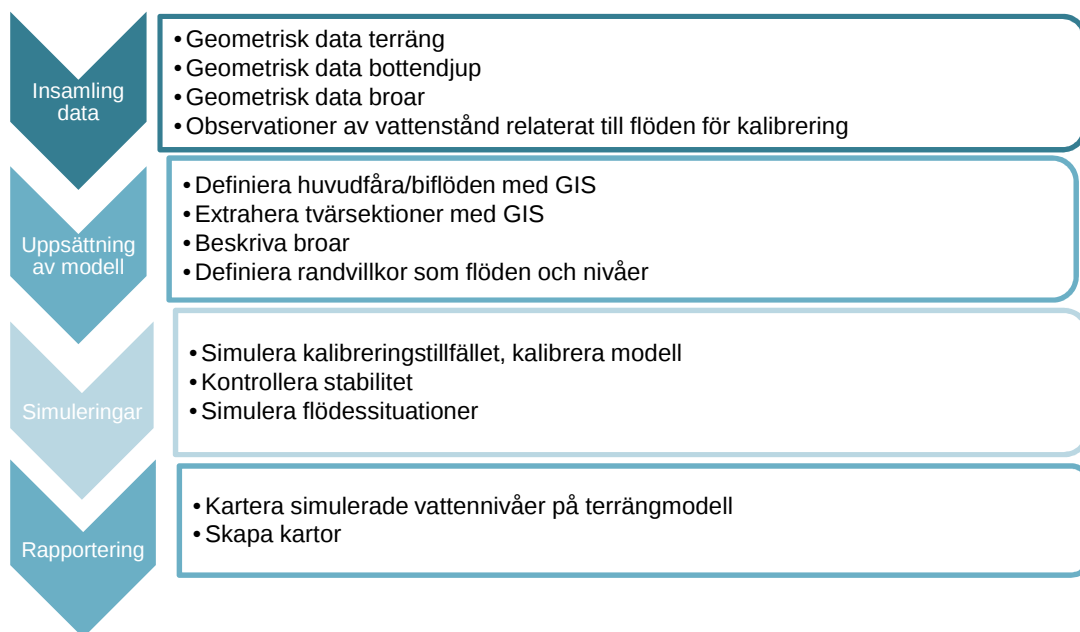
10 Hydraulisk modellering

10.1 Metodik

De hydrauliska beräkningarna består av flera delmoment; fältbesök och inmätning av vattendragets geometri, uppsättning och kalibrering av den hydrauliska modellen, hydrauliska modellberäkningar och GIS-bearbetning. För att sätta upp och kalibrera en hydraulisk modell behövs:

- Beskrivning av vattendraget med sektioner utifrån kartor, bilder, fältbesök, mm.
- Friktionsparametrar
- Broritningar
- Höjddatabas
- Vattenflöden
- Vattenstånd relaterade till vattenflöden

Modellens randvillkor behöver också beskrivas dvs. förhållandet där modellen börjar och slutar. I dessa beräkningsfall har ett startflöde ansats där modellen börjar och där modellen slutar har en havsvattennivå angetts. De olika arbetsmomenten är översiktligt beskrivna i figur 46.



Figur 46. Översiktlig beskrivning av metodiken för hydrauliska beräkningar.

10.2 Modellering

De hydrauliska beräkningarna är genomförda med modellpaketet Hec-Ras. Hec-Ras löser energiekvationen och beräknar friktionsförluster och tilläggförluster som kommer av t.ex. avsmalning och vidgning av ett vattendrag. Topografin i vattendraget beskrivs av ett antal tvärsektioner. Tvärsektionerna har hämtats från databasen NNH och för Ätran är bottendjupet sedan korrigerat efter inmätningar och iakttagelser som gjordes vid ett fältbesök under maj 2014. Tvärsektioner och djupdata för Torneälven är hämtade från den hydrauliska modellen som användes i Interreg projektet "Detaljerad översvämningskartering av nedre Torneälven" (Persson m.fl., 2011a). Mätdata från 2013 från Finland har använts vid kalibreringen av denna modell.

Beräkningsmodellerna har körts stationärt, det vill säga utan tidsberoende förlopp som variation av vattenföringen (flödet) under beräkningarnas gång. Modellen räknar då, utgående från ett konstant vattenstånd i havet och ett konstant flöde i vattendraget, ut nivån i alla tvärsektionerna. Nivån i en viss sektion ges av utgångsvattenståndet i havet + de förluster av lägesenergi som har räknats ut fram till den aktuella sektionen.

10.3 Modellverifiering

I samband med besöket i Falkenberg gjordes inmätningar med GPS av vattennivåer, samt en flödesmätning med ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, en hydroakustisk flödesmätare). Dessa uppgifter har legat till grund för kalibrering och verifiering som gjorts för Ätrans beräkningsmodell.

För Torneälven har finska mätningar från 2013 av vattennivåer och flöden legat till grund för kalibrering och verifiering av modellen.

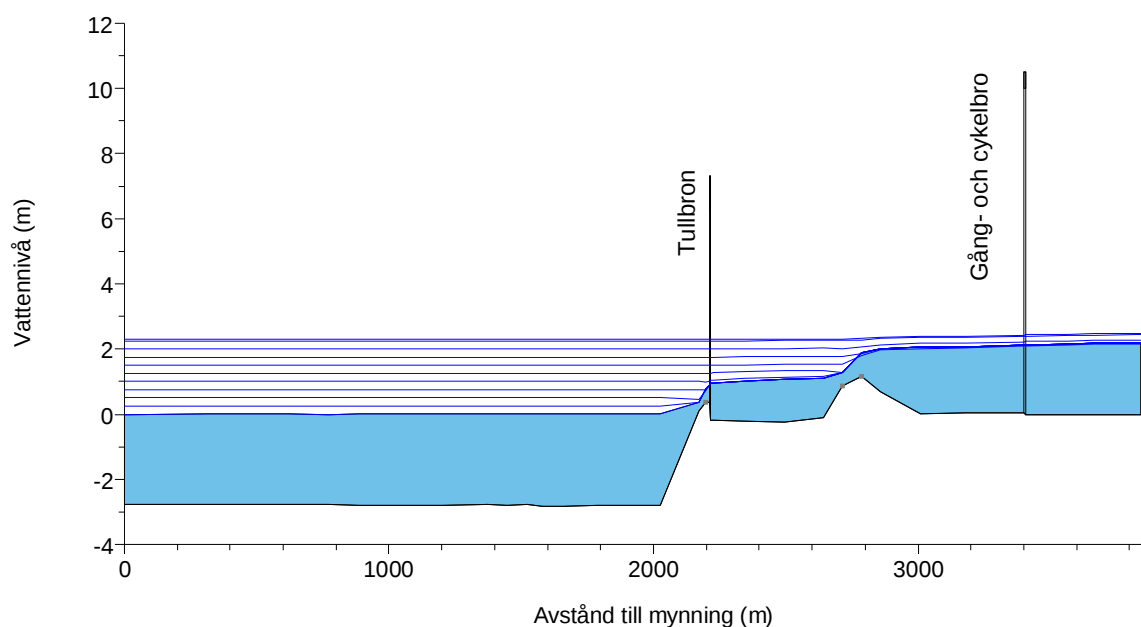
10.4 Effekter av forsar

Inom beräkningsområdet för Ätran finns två forsar. Så länge en fors behåller sin karaktär med mycket oregelbundna vattenrörelser hindrar den "signaler" nedströms ifrån att sprida

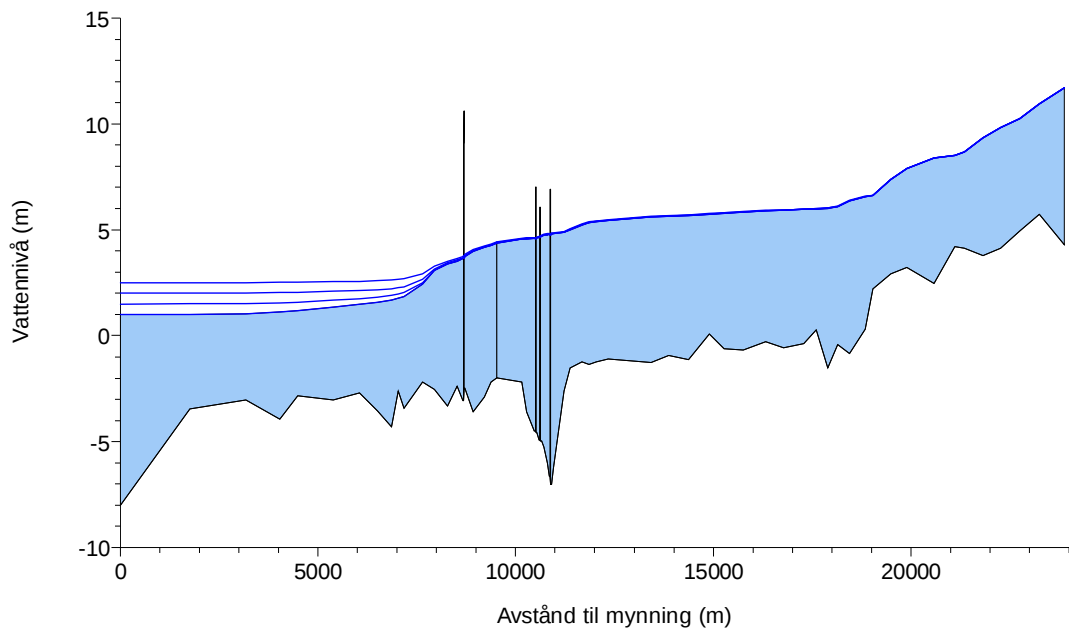
sig uppströms i vattendraget. En sådan signal kan vara vattenståndet i havet som då inte har effekt på vattennivåerna uppströms forsen. Man har en så kallad bestämmande sektion i forsen. Om forsen förlorar sin karaktär och blir dämnd av vattennivåer nedströms ifrån, förlorar den funktionen som bestämmande sektion och vattenståndet i havet påverkar nivåerna även uppströms forsen. Sådana ändringar förekommer i Ätran genom Falkenberg vid höga havsvattenstånd.

10.5 Känslighetsanalys av havsvattenståndet

En analys för hur känslig modellerna är vid olika havsvattenstånd har gjorts. I figur 47 illustreras ett beräkningsfall för Ätran där flödet är satt till medelvattenföringen $52 \text{ m}^3/\text{s}$ och modellen sedan framkörd med flertalet olika havsvattenstånd i mynningen. Havsvattenståndet varierar från medelvattenståndet 4,5 cm för Ringhals upp till ett framtida 100-år vattenstånd, 232 cm. I figuren kan man se att vattennivåerna i Ätran är mycket känsliga för havets nivå och några av beräkningarna med de högsta havsvattenstånden dämmer vid medelvattenföringen förbi båda forsarna.



Figur 47. Sektion längs Ätran som illustrerar hur vattennivån i vattendraget varierar med olika havsvattenstånd i mynningen. Samtliga beräkningar är gjorda med flödet satt till medelvattenföringen ($52 \text{ m}^3/\text{s}$) framkört med varierande havsvattenstånd i mynningen. Havsvattenståndet varierar från medelvattenståndet 4,5 cm upp till ett framtida 100-års vattenstånd (232 cm).



Figur 48. Sektion längs **Torneälven** som illustrerar hur vattennivån i vattendraget varierar för olika havsvattenstånd i mynningen. Samtliga beräkningar är gjorda med medelvattenföringen ($420 \text{ m}^3/\text{s}$) men med varierande havsvattenstånd i mynningen. Havsvattenståndet varierar från medelvattenståndet 9,6 cm upp till dagens 100-års vattenstånd (177 cm). Bottenprofil och vattennivå visas i figuren. De lodräta strecken markerar broar.

Figur 48 illustrerar ett beräkningsfall för Torneälven då man använt medelvattenföringen $420 \text{ m}^3/\text{s}$ framkört med varierande havsvattenstånd i mynningen. Havsvattenståndet varierar från medelvattenståndet 9,6 cm upp till dagens 100-års vattenstånd, 177 cm. Havsvattenståndet har här inte lika stor betydelse för vattennivåerna i Torneälven, det dämmer en bit vid mynningen men inte så långt upp i vattendraget.

10.6 Beräkningsfall

10.6.1 Dagens klimat

Vid beräkningar av vattennivåer för dagens klimat har ett flöde med 100 års återkomsttid (HQ100), ett flöde med 200 års återkomsttid (HQ200) och Beräknat högsta flöde (Bhf) använts. Som randvillkor har havsvattennivåer angetts i modellens mynning.

10.6.2 Framtida klimat

För att simulera vattennivåer i ett framtida klimat har dels olika flödesscenarion använts i modellen, men också olika kombinationer av framtida havsvattenstånd. Eftersom spridningen är stor, avseende beräknade flöden i ett framtida klimat, har ett intervall av flöden valts utifrån flödesberäkningarna.

Intervall för Ätran spänner från $300 \text{ m}^3/\text{s}$ upp till $1\,600 \text{ m}^3/\text{s}$, för Torneälven har intervallet $1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ upp till $11\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ använts. Flödena i intervallen representerar olika återkomsttider och olika klimatscenarier.

För Ätran har tre beräkningsfall med olika havsvattenstånd gjorts där flödesintervallet $300 - 1\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ använts i samtliga beräkningsfall. I de tre beräkningsfallen har följande havsvattenstånd använts:

- Dagens medelvattenstånd (4,5 cm, mätstation Ringhals)
- Dagens 100-års vattenstånd (152 cm)
- Framtida 100-års vattenstånd vid seklets slut (232 cm)

Eftersom ingen mätstation för havsvattennivå finns vid Falkenberg har den närmaste stationen, Varberg/Ringhals använts. Medelvattenståndet vid Ringhals är 4,5 cm. I de beräkningar som gjorts har SMHI:s uppskattningar av den framtida medelvattennivåhöjningen vid Ringhals använts. Den är baserad på en förmodad höjning av den globala medelvattennivån på 1 m år 2100 minus den lokala landhöjningen (Persson m.fl., 2011b). Hur stor den lokala ändringen p.g.a. ändrade tryck-och vindfält kan bli är mycket osäkert.

För Torneälven har antagits att 100-års havsvattenståndet i mynningen inte ändras nämnvärt i ett framtida klimat. Orsaken är att landhöjningen motverkar den allmänna havsnivåhöjningen. Vid slutet av seklet kan havsnivåhöjningen motsvara landhöjningen i detta område.

För Torneälven har två beräkningsfall med olika havsvattenstånd gjorts där flödesintervallet 1 500- 11 000 m³/s använts i båda fallen. Följande havsvattenstånd har använts:

- Dagens medelvattenstånd (9,6 cm, mätstation Haparanda)
- Dagens 100-års vattenstånd (177 cm)

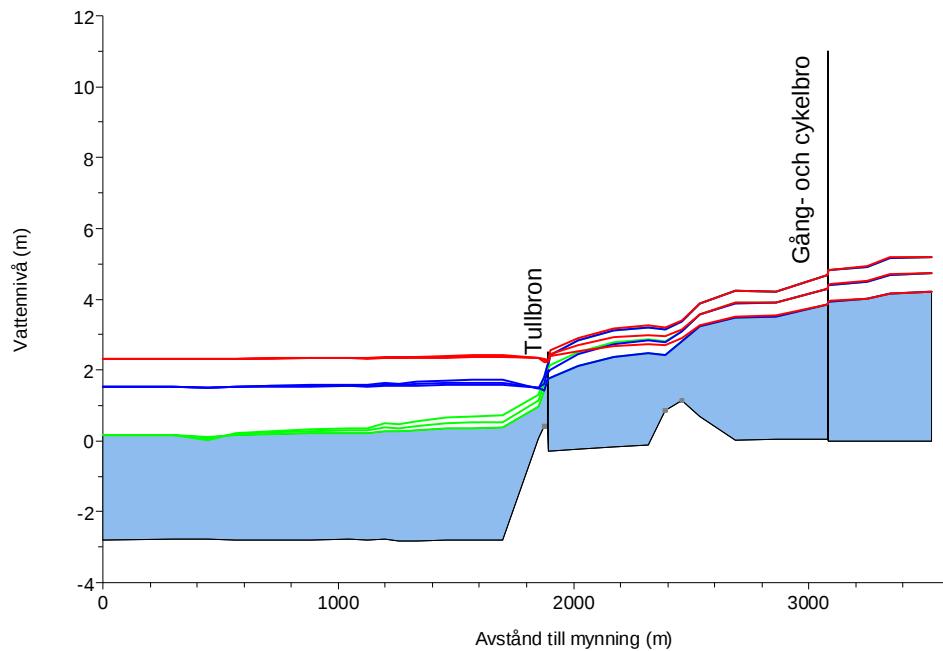
11 Resultat från hydraulisk modellering

11.1 Ätran

I figur 49-51 presenteras beräknade vattennivåer för Ätran. Tre olika havsvattennivåer är körda med flödesintervall på 300-1 600 m³/s. Havsvattennivåerna är; dagens medelvattenstånd (4,5 cm, gröna linjer), dagens 100-års vattenstånd (152 cm, blå linjer) och ett framtida 100-års vattenstånd (232 cm, röda linjer).

11.1.1 100-års återkomsttid

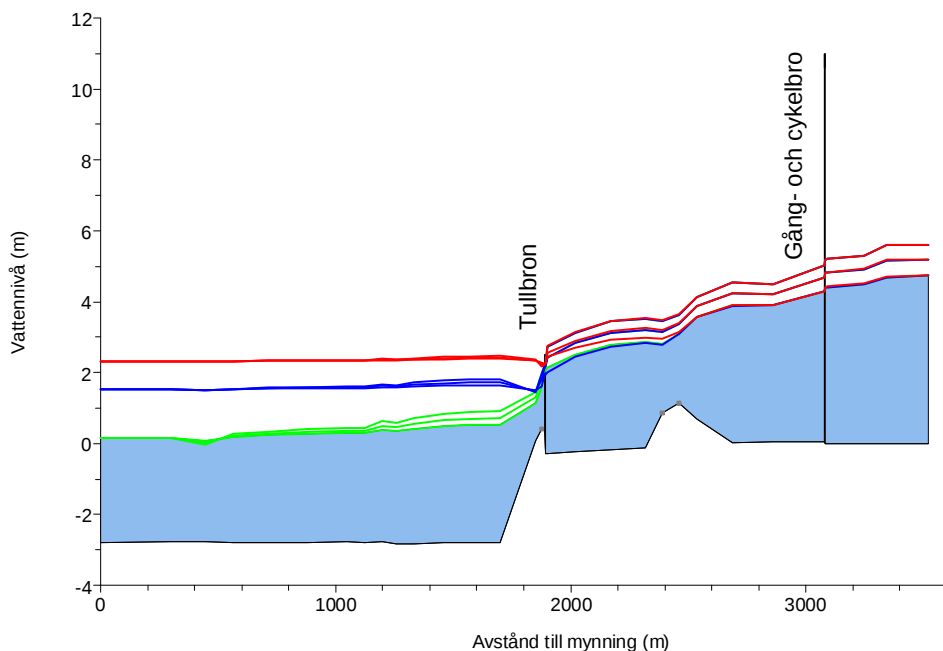
I figur 49 visas vattennivåer beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida 100-års flöden. De tre havsvattenstånden har använts för flödesintervallet 300-500 m³/s. Figuren visar att havsvattenståndet har stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir i Ätran.



Figur 49. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för **Ätran**. Flödesintervallet för 100-årsflöden ($300\text{--}500\text{ m}^3/\text{s}$) är kört med tre olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (4,5 cm, grön), dagens 100-års vattenstånd (152 cm, blå) och ett framtida 100-års vattenstånd (232 cm, röd).

11.1.2 200-års återkomsttid

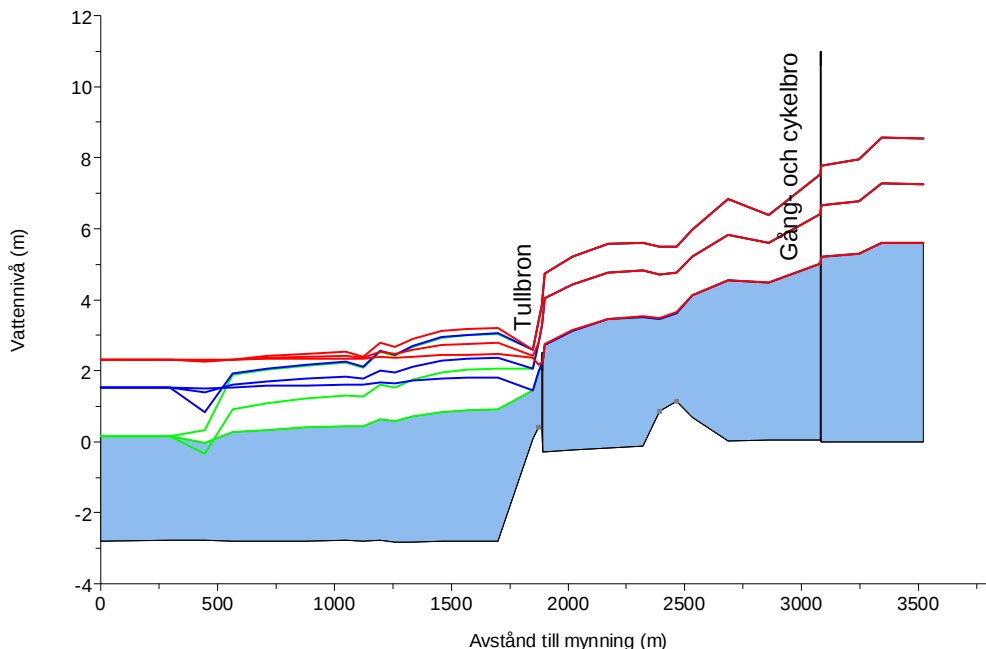
I figur 50 visas vattennivåer beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida 200-års flöden. Även här har de olika havsvattenstånden använts för flödesintervallet $400\text{--}600\text{ m}^3/\text{s}$. Figuren visar att även i detta fall har havsvattenståndet stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir i Ätran.



Figur 50. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för **Ätran**. Flödesintervallet för 200-årsflöden ($400\text{--}600\text{ m}^3/\text{s}$) är kört med tre olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (4,5 cm, grön), dagens 100-års vattenstånd (152 cm, blå) och ett framtida 100 års vattenstånd (232 cm, röd).

11.1.3 Beräknade högsta flöden

I figur 51 visas vattennivåer beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida Bhf- flöden. De tre olika havsvattenstånden har använts för flödesintervallet 600- 1 600 m³/s. Figuren visar att även i detta fall har havsvattenståndet stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir i Ätran.



Figur 51. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för Ätran. Flödesintervallet för Bhf- flöden (600-1 600 m³/s) är kört med tre olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (4,5 cm, grön), dagens 100-års vattenstånd (152 cm, blå) och ett framtida 100 års vattenstånd (232 cm, röd).

11.1.4 Översvämmad area

Falkenberg har indelats i två områden, dels ett delområde uppströms Tullbron och dels ett område kallat hela Falkenberg. Figur 52 visar indelningen som använts för beräkningarna av översvämmad area. Området innanför den gröna linjen omfattar endast området uppströms Tullbron. Hela Falkenberg definieras som området inom de gröna och röda linjerna.



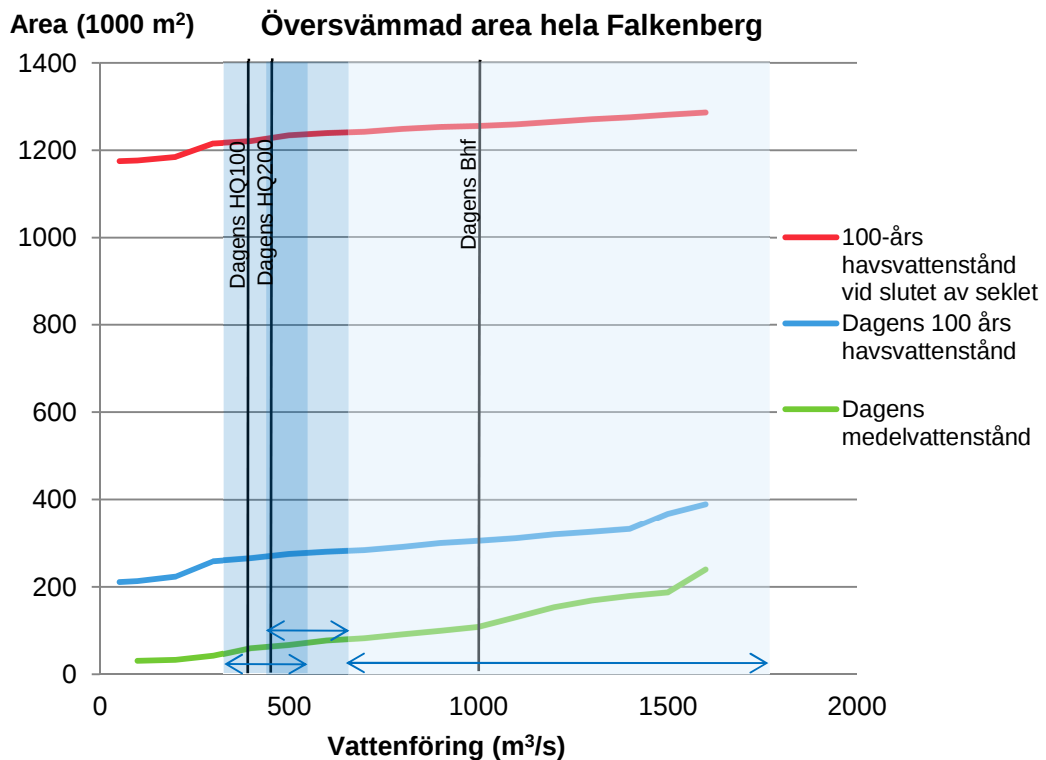
Figur 52. Indelningen av **Falkenberg** som ligger till grund för areaberäkningarna. Grön polygon markerar "övre Falkenberg" uppströms Tullbron, och röd + grön polygon markerar "hela Falkenberg". Översvämning innanför gröna och röda polygoner har beaktats vid beräkning av översvämmad area.

I figur 53 och 54 illustreras hur stor den översvämmade arean blir vid olika flöden och havsvattenstånd för två områden i Falkenberg.

Översvämmad area för hela Falkenberg visas i figur 53. Den gröna linjen visar översvämmad area när dagens medelvattenstånd i havet (4,5 cm) använts, blå linje visar översvämmad area när dagens 100- års havsvattenstånd (152 cm) använts och den röda linjen visar hur stor den översvämmade arean blir då ett framtida 100-års havsvattenstånd (232 cm) används. Beräkningarna har gjorts för ett intervall av flöden från 300 m³/s till 1 600 m³/s, vilket motsvarar hela det flödesintervall som framkommit i beräkningarna.

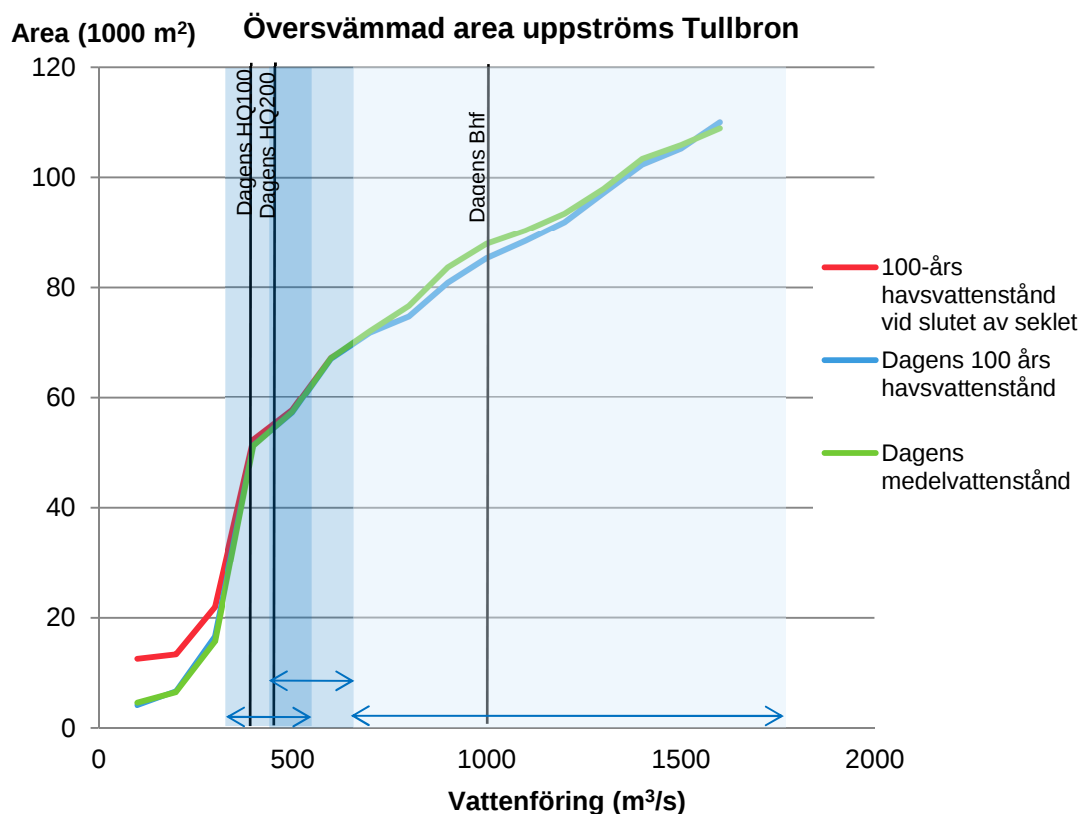
De tre blå fälten med pilar, längst ner i figuren, markerar intervallet för framtida 100- och 200-årsflöden samt Bhf-flöden. De svarta lodräta strecken markerar värdet på dagens 100- och 200-årsflöden samt Bhf-flöde.

I figuren ses tydligt att havsvattenståndet har väldigt stor betydelse för hur stor den översvämmade arean blir. Vattenflödet har däremot mindre betydelse för den översvämmade arean. Det framkommer av att lutningen på linjerna är mycket liten, vilket innebär att den översvämmade arean ökar marginellt vid ökande flöden i Åtran.



Figur 53. Översvämmad area för hela **Falkenberg** vid olika vattenföringar och havsvattenstånd. Grön, blå och röd linje visar hur stor area som översvämmas för olika flöden vid olika havsvattenstånd i mynningen. Framtida 100 års-vattenstånd i havet (232 cm, röd), dagens 100 års havsvattenstånd (152 cm, blå), dagens medelvattenstånd (15 cm, grön). Beräkningarna avser flödesintervallet 300-1 600 m³/s. Blå fält med horisontella pilar markerar intervallet för framtida 100-årsflöden respektive 200-årsflöden samt Bhf-flöden. De svarta lodräta strecken markerar värdet på dagens 100- och 200-årsflöden (HQ100 och HQ200) samt Bhf-flöde.

I figur 54 illustreras på motsvarande sätt den översvämmade arean för området uppströms Tullbron i Falkenberg. Linjerna i figuren är närmast överlappande. Det betyder att havsvattenståndet har nästan ingen betydelse för hur stor den översvämmade arean blir. Linjerna har brant lutning, vilket innebär att den översvämmade arean ökar snabbt med ökande flöde i Ätran.



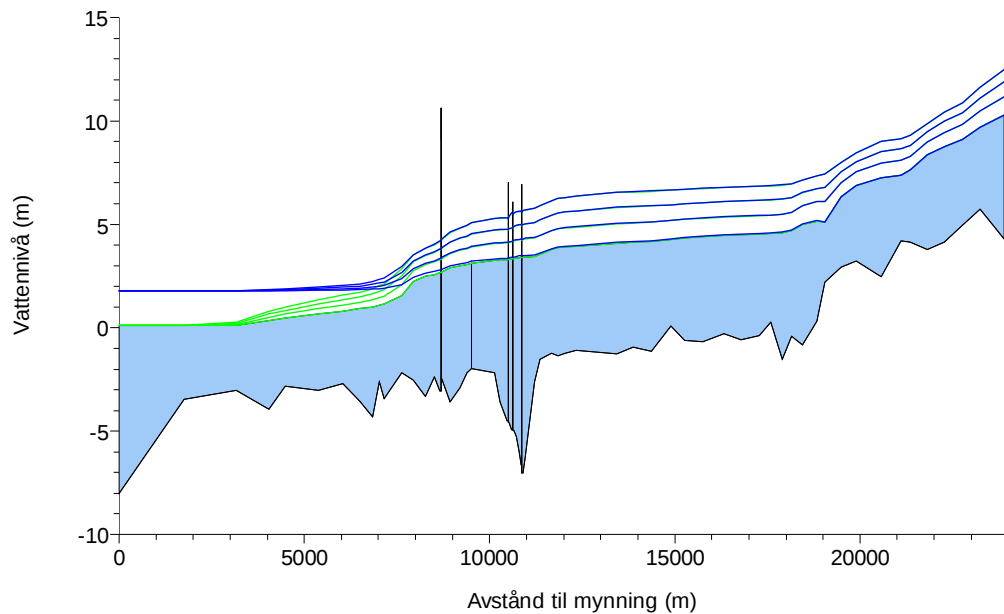
Figur 54. Översvämmad area i centrala **Falkenberg** vid olika vattenföringar och havsvattenstånd. Grön, blå och röd linje visar hur stor area som översvämmas för olika flöden vid olika havsvattenstånd i mynningen. Framtida 100 års-vattenstånd i havet (232 cm, röd), dagens 100 års havsvattenstånd (152 cm, blå), dagens medelvattenstånd (15 cm, grön). Beräkningarna avser flödesintervallet 300-1 600 m³/s. Blå fält med horisontella pilar markerar intervallet för framtida 100-årsflöden respektive 200-årsflöden samt Bhf-flöden. De svarta lodräta strecken markerar värdet på dagens 100- och 200-årsflöden (HQ100 och HQ200) samt Bhf-flöde.

11.2 Torneälven

I figur 55-57 presenteras beräknade vattennivåer för Torneälven. Två olika havsvattennivåer är körda med flödesintervallet 1 500-11 000 m³/s. Havsvattennivåerna är; dagens medelvattenstånd (9,6 cm, gröna linjer) och dagens 100-års vattenstånd (177 cm, blå linjer). Eftersom landhöjningen är ungefär lika stor som den förväntade havsnivåhöjningen i framtiden används här endast dagens 100-års havsvattenstånd.

11.2.1 100-års återkomsttid

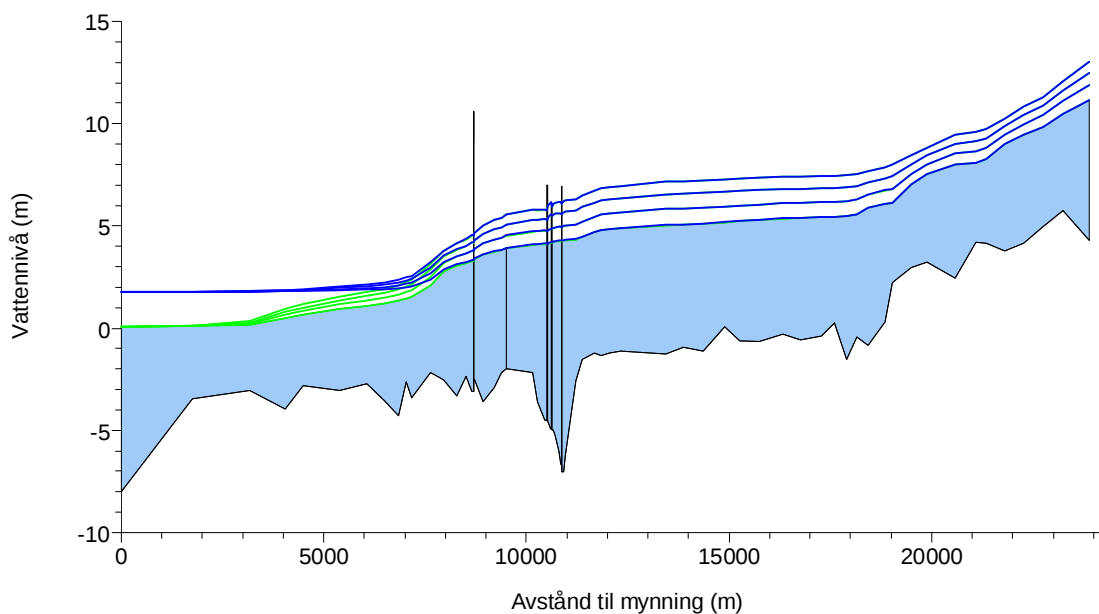
I figur 55 visas vattennivåer beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida 100-års flöden. De två olika havsvattenstånden har använts för flödesintervallet 1 500- 5 000 m³/s. Figuren visar att havsvattenståndet inte har så stor betydelse för vattennivåerna i Haparanda, däremot dämmer havet en bit i flodmynningen. Vattennivåerna ett par km från mynningen styrs dock av flödets storlek i Torneälven.



Figur 55. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för **Torneälv**en. Flödesintervallet för 100-årsflöden ($1\,500\text{--}5\,000\text{ m}^3/\text{s}$) är kört med två olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (9,6 cm, grön) och dagens 100-års vattenstånd (177 cm, blå).

11.2.2 200-års återkomsttid

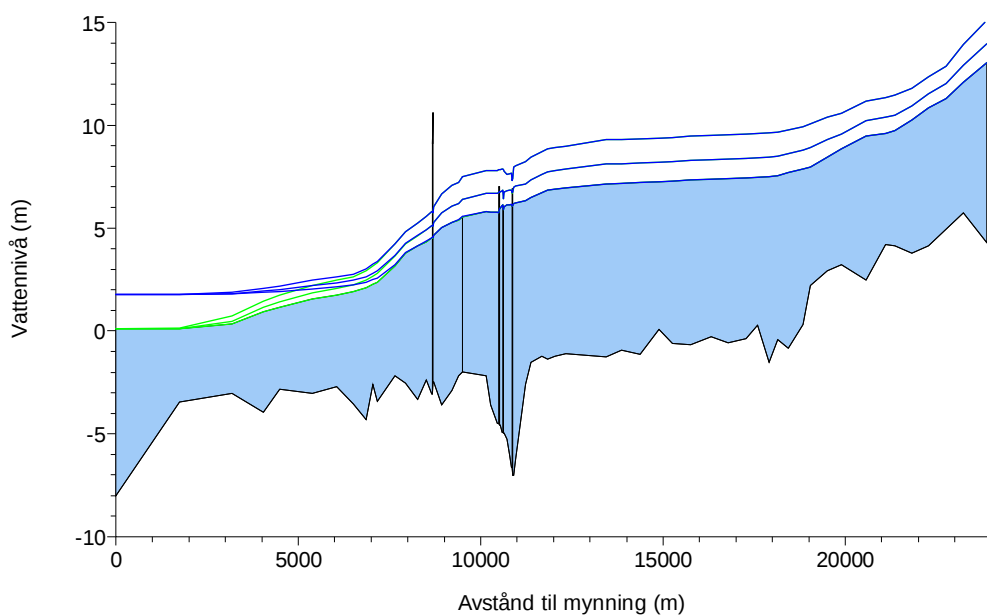
I figur 56 visas vattennivåer beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida 200-års flöden. Två olika havsvattenstånd har använts för flödesintervallet $3\,000\text{--}6\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Figuren visar att även här har havsvattenståndet liten betydelse för vattennivåerna i Haparanda, däremot dämmer havet i mynningen. Storleken på flödet styr dock vattennivån en bit uppströms mynningen.



Figur 56. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för **Torneälv**en. Flödesintervallet för 200-årsflöden ($400\text{--}600\text{ m}^3/\text{s}$) är kört med två olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (9,6 cm, grön och dagens 100-års vattenstånd (177 cm, blå).

11.2.3 Beräknade högsta flöden

I figur 57 visas vattennivåer beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida Bhf- flöden. Två olika havsvattenstånd har använts för flödesintervallet 6 000-11 000 m³/s. Figuren visar att även i detta fall har havsvattenståndet liten betydelse för vattennivåerna i Haparanda. Havet påverkar vattennivåerna i mynningen och längs kusten. Uppströms i Torneälven är det storleksordningen på flödet som styr vattennivåerna.



Figur57. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för **Torneälven**. Flödesintervallet för Bhf- flöden (6 000-11 000 m³/s) är kört med två olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (9,6 cm, grön) och dagens 100-års vattenstånd (177 cm, blå).

11.2.4 Översvämmad area

I figur 58 visas den avgränsning som gjordes av Haparanda och Torneå för beräkning av översvämmad area. Området innanför den röda polygonen innefattar det område som har inkluderats vid beräkning av översvämmad area.

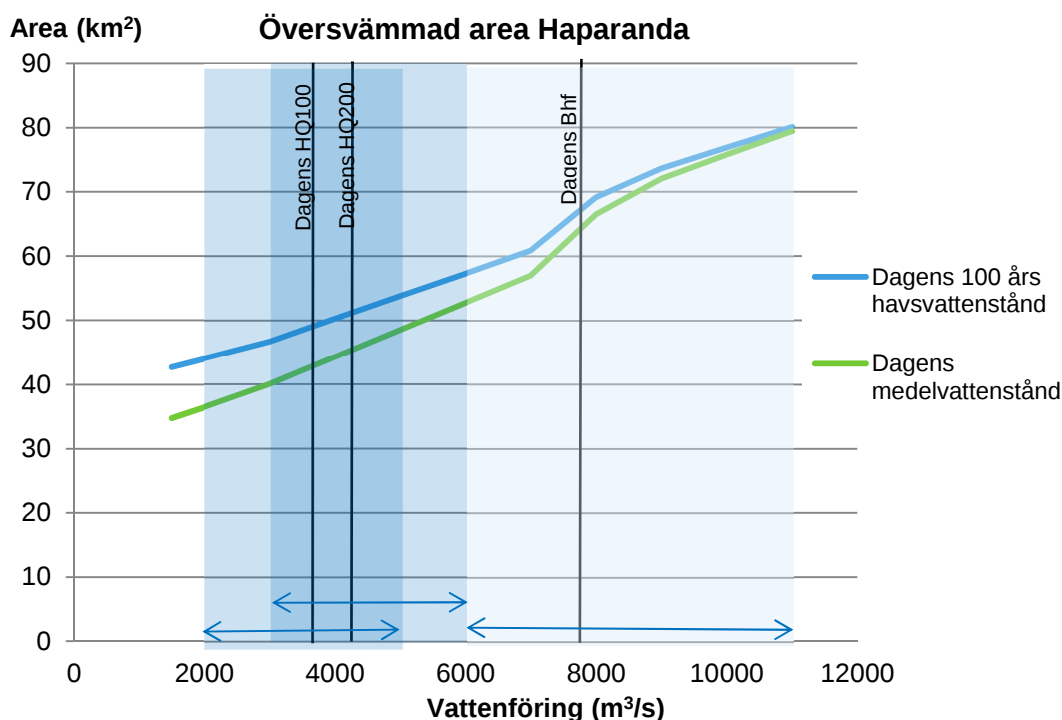


Figur 58. Röd polygon i kartbilden visar den avgränsning för **Haparanda och Torneå** som ligger till grund för areaberäkningarna. Översvämning innanför denna polygon har beaktats vid beräkning av översvämmad area.

I figur 59 illustreras hur stor den översvämmade arean blir vid olika flöden och havsvattenstånd för Haparanda. Den gröna linjen visar översvämmad area när dagens medelvattenstånd i havet (9,6 cm) använts, blå linje visar översvämmad area när dagens 100- års havsvattenstånd (177 cm) använts. Beräkningarna har gjorts för ett intervall av flöden från 1 500 m³/s till 11 000 m³/s, vilket motsvarar hela det flödesintervall som framkommit i beräkningarna.

De tre blå fälten med pilar, längst ner i figuren, markerar intervallet för framtida 100- och 200-årsflöden samt Bhf-flöden. De svarta lodräta strecken markerar värdet på dagens 100- och 200-årsflöden samt Bhf-flöde.

Figuren visar att havsvattenståndet inte har så stor betydelse för den översvämmade arean. Vid lägre flöden ses en skillnad på ca 10 km² mer översvämmad yta vid 100-årsvattenstånd jämfört med förhållandet då medelvattenstånd råder i havet. Betydelsen av havsvattenståndet minskar då flödena i älven ökar. Runt 7 000 m³/s överströmmas en vall i Haparanda, vilket gör att den översvämmade arean ökar snabbt.



Figur 59. Översvämmad area i **Haparanda-Tornio** vid olika vattenföringar och havsvattenstånd. Grön och blå linje visar hur stor area som översvämmas för olika flöden vid olika havsvattenstånd i mynningen. Dagens 100-års havsvattenstånd (177 cm, blå) och dagens medelvattenstånd (9,6 cm, grön). Beräkningarna avser flödesintervallet 1 500- 11 000 m³/s. Blå fält med horisontella pilar markerar intervallet för framtida 100-årsflöden respektive 200-årsflöden samt Bhf flöden. De svarta lodräta strecken markerar värdet på dagens 100- och 200-årsflöden (HQ100 och HQ200) samt Bhf-flöde

12 Översvämnings-skikt

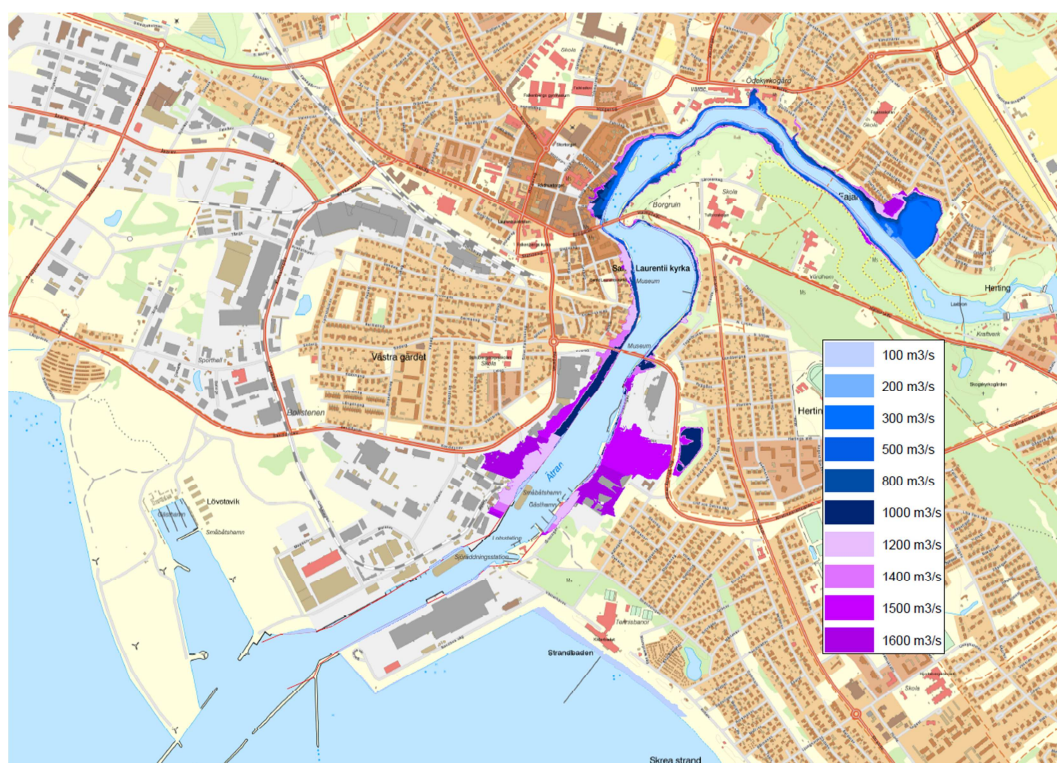
12.1 Metodik allmänt

Översvämnings-skikten har tagits fram utifrån genomförda Hec-Ras-beräkningar för Ätran och Torneälven och Lantmäteriets Nationella Höjdmodell (NH). NH har använts i form av Grid2+, vilken är en höjdmodell med 2 m upplösning som beskriver terrängens topografi med hög noggrannhet. Genom att subtrahera beräknad vattennivå i Hec-Ras med höjddata från NH fås en beräknad översvämmad yta för de delar av höjdmodellen där beräknad vattennivå överskrider marknivå. Dessa översvämnings-skikt har sedan karterats ut med Lantmäteriets topografiska webbkarta som bakgrund för Ätran, samt med OpenStreetMap som bakgrund för Torneälven.

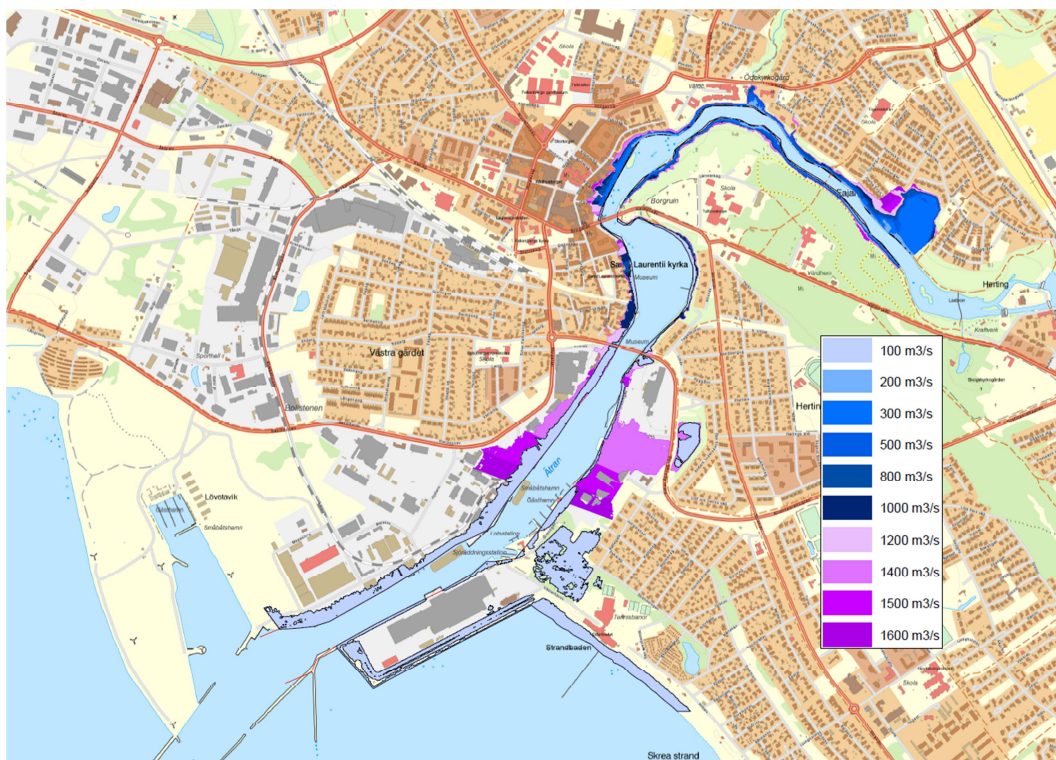
I Hec-Ras-beräkningarna har olika kombinationer av flöden havsnivåer använts. Varje karta som har tagits fram redovisar översvämmad yta till följd av samtliga flöden som har ingått i beräkningarna, men bara ett havsvattenstånd. Därmed har 3 kartor tagits fram för Ätran, och 2 st för Torneälven, vilka återfinns i bilagorna 7-11. Nedan följer en beskrivning av översvämningskarakteristiken för respektive vattendrag.

Översvämningsskarteringen för Ätran visas översiktligt i figur 60-62. Som bakgrundskarta används Lantmäteriets topografiska webbkarta.

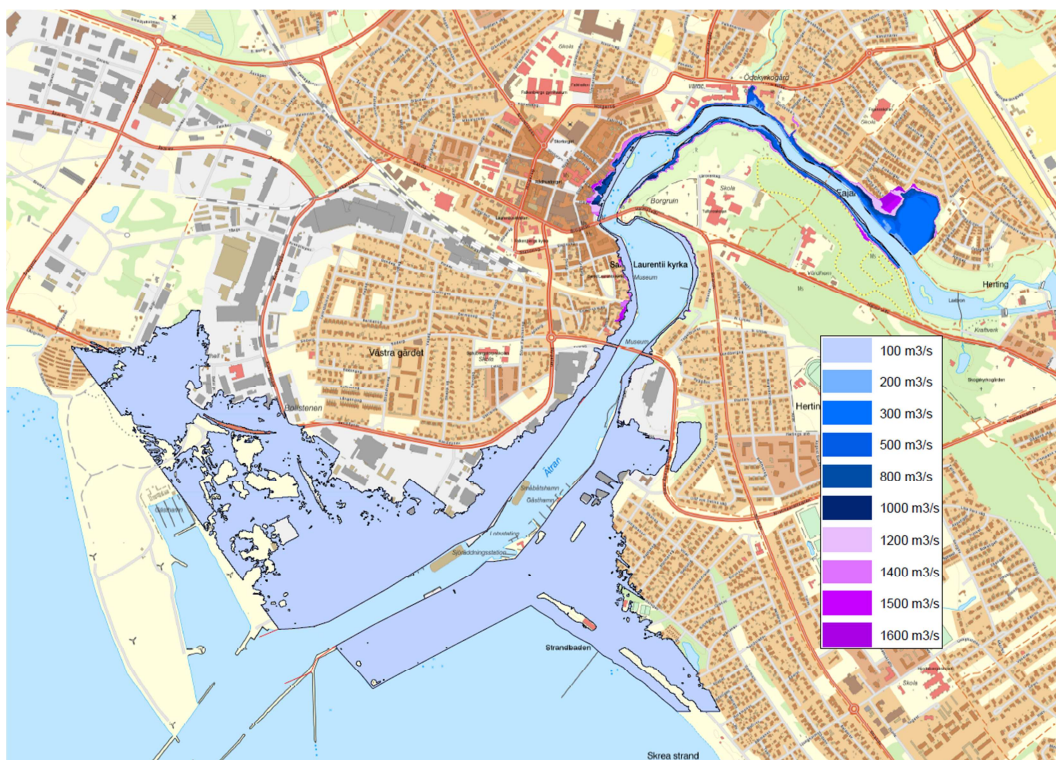
Variationer i flödet ger störst inverkan uppströms Tullbron där Ätrons längsgående lutning är brantare och havsnivån därmed får lägre inverkan på beräknade nivåer. Detta framgår av figur 60-62 som visar att översvämmade ytor inte påverkas av variationer i havsnivån. På grund av relativt branta stränder blir översvämningens utbredning begränsad även vid de nivåer som inträffar vid de högsta flödena i beräkningen. Detta kan jämföras med hamnområdet vid Ätrons utlopp som är betydligt flackare och därmed också mer känsligt för variationer i vattennivåerna.



Figur 60. Översvämmade ytor i **Falkenberg** vid flöden på 100-1 600 m³/s vid **dagens medelvattenstånd i havet**.



Figur 61. Översvämmade ytor i **Falkenberg** vid flöden på 100-1 600 m³/s vid **dagens 100-årsvattenstånd i havet**.



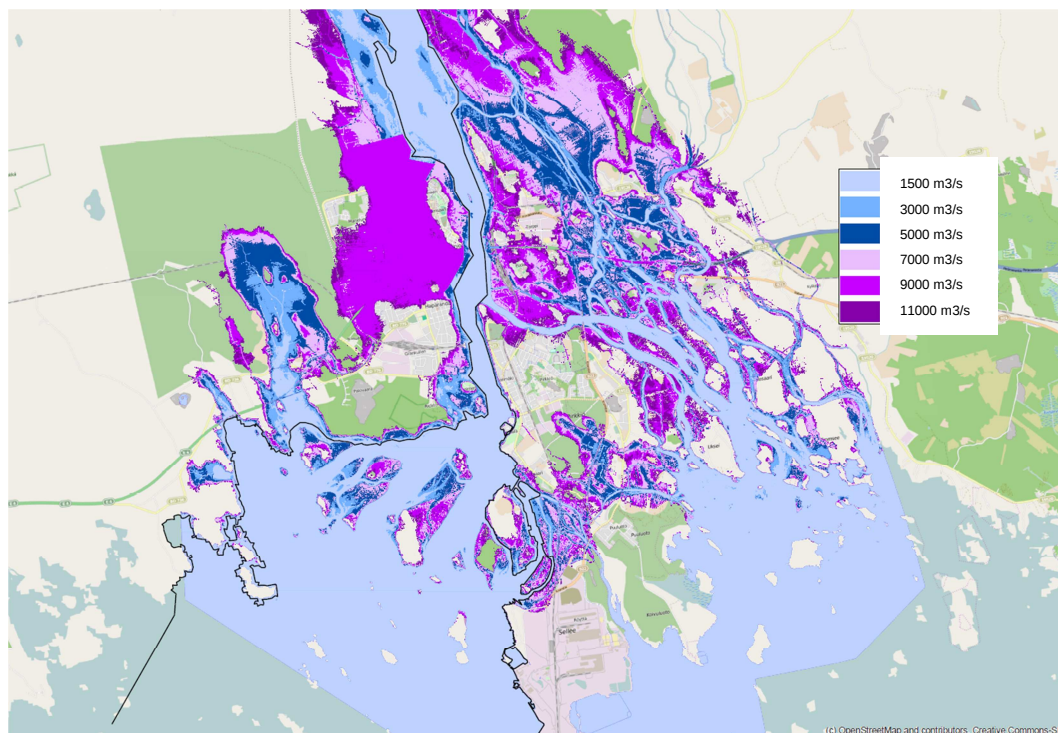
Figur 62. Översvämning i **Falkenberg** vid flöden på 100-1 600 m³/s vid **100-årsvattenstånd i havet år 2100**.

12.3 Torneälven

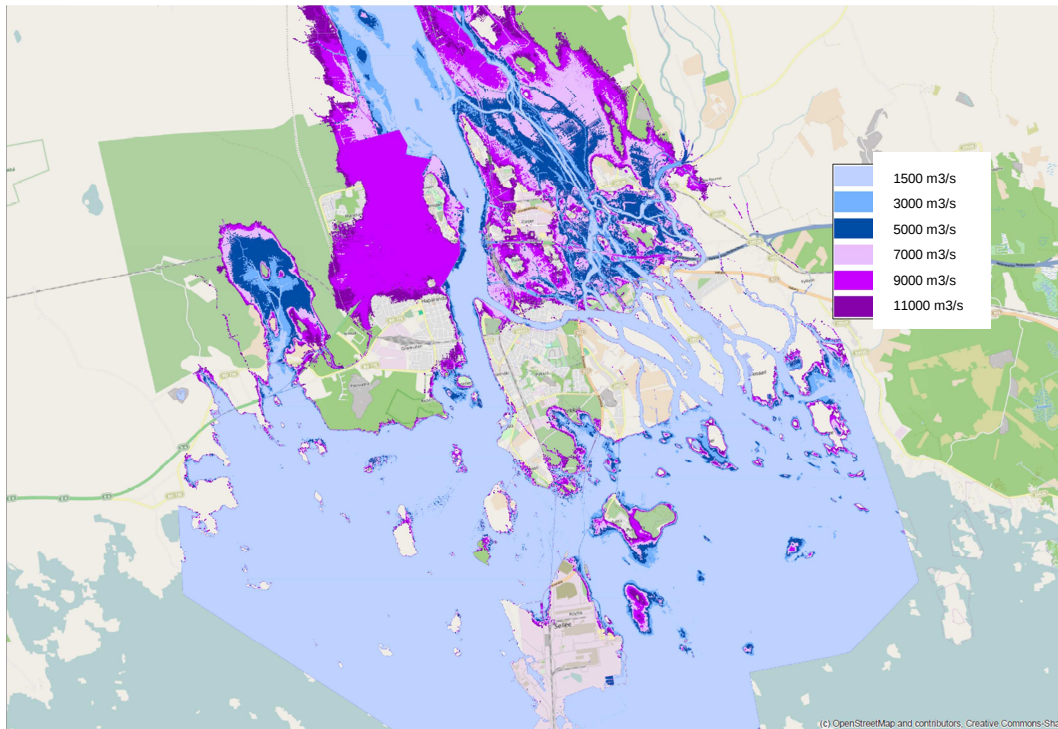
Översvämningskarteringen för Torneälven visas översiktligt i figur 63-64. Som bakgrundskarta används OpenStreetMap, då karttjänster från Lantmäteriet inte täcker finska landområden.

Liksom för Ätran påverkar höga havsvattenstånd Torneälvens nivåer främst vid utloppet i havet. Av figur 64 framgår att ett 100-årshavsvattenstånd främst drabbar ön Röyytä på den finska sidan av gränsen. Hamnområdet i den södra delen av ön verkar vara byggt för att klara ett 100-årsvattenstånd i havet, dock så skärs förbindelserna med Haparanda och Torneå av genom att låglänta delar längre norrut på ön översvämmas.

Översvämmad yta i Haparanda och längre uppströms är relativt okänslig för variationer i havsvattenståndet. Istället är det höga flöden i Torneälven som leder till översvämnning. Vid flöden i storleksordningen 1 500-3 000 m³/s, lägre än ett 100-årsflöde, översvämmas främst landområden intill strandlinjen, medan bebyggda områden i Haparanda och Torneå till stor del hamnar ovanför vattenytan. Vid 5 000 m³/s, vilket är mer än ett 250-årsflöde, sker översvämnning av delar av östra Torneå. Vid 7 000 m³/s är stora delar av östra Torneå under vatten, medan västra Torneå och Haparanda skyddas av den vall belägen norr om golfbanan vid finska gränsen, mellan Haparanda och västra Torneå. Vid 9 000 m³/s har vallen överströmmats och ett stort område som omfattar västra Torneå och Haparanda ligger under vatten. Vid 11 000 m³/s, det högsta flödet som har beräknats för Torneälven, ligger merparten av Haparanda och Torneå under vatten.



Figur 63. Översvämnning i **Haparanda** vid flöden på 1 500-11 000 m³/s vid **dagens medelvattenstånd i havet**.



Figur 64. Översvämning i **Haparanda** vid flöden på 1 500-11 000 m³/s vid **dagens 100-årsvattenstånd i havet**.

13 Sammanfattning

Inom projektet ”Nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige – ett system till stöd för klimatanpassning” har SMHI ansvarat för hydrologisk och hydraulisk modellering samt framtagande av tidsserier med lokalt klimat för framtida förhållanden.

Hydrologiska och hydrauliska modeller har satts upp för Ätran och Torneälven och har sedan använts för beräkningar med de framtagna tidsserierna. Flöden med 100 års och 200 års återkomsttid har därefter beräknats liksom Beräknat högsta flöde (Bhf).

Hydrauliska modeller för Falkenberg vid Ätran och Haparanda vid Torneälven har satts upp och beräkningar av vattennivåer har gjorts utifrån flödesberäkningarna och antaganden om havsnivåer. Därefter har översvämningsskikt applicerats på kartor.

Analysen har även gjorts av framtida intensiv nederbörd för Haparanda, Uppsala och Falkenberg.

Beräkningarna har utgått från klimatdata från globala och regionala klimatmodeller drivna med olika scenarier (RCP och SRES). Dessa har systematiska avvikelser från observerade data. Eftersom hydrologisk modellering är känslig för dessa avvikelser har data bearbetats. Två olika metoder användes; dels SMHI:s Distributionsbaserad skalering (DBS) som utgår från dynamiskt nedskalade regionala klimatmodelldata och dels en statistisk metod utarbetad vid Göteborgs universitet som använder globala klimatmodelldata.

Samtliga beräkningar pekar mot ökande årsmedeltemperatur och årsmedelnederbörd. RCP4.5 och RCP8.5 följs väl åt fram till mitten av seklet, därefter ökar både temperatur och nederbörd mer för RCP8.5.

Ätrans avrinningsområde

Dygnstemperaturer under -10°C och över 20°C är inte så vanliga i området. De vanligast förekommande dygnstemperaturerna är från strax under noll grader till uppemot +15°C.

Förändringarna i framtida klimat pekar på minskning av antalet dygnstemperaturer kring noll grader och kring 15°C, och ökning av antalet dygnstemperaturer 5-10°C och från 15°C uppemot 25°C.

Under de flesta dagar med nederbörd faller endast några millimeter och dagar med större mängder är få. Dagar med under 10 mm blir färre i framtiden och dagar med 10-40 mm ökar och då särskilt kring 10-25 mm.

Torneälvens avrinningsområde

I dagens klimat är dygnstemperaturer under -30°C och över 20°C inte så vanliga i området. De vanligast förekommande dygnsmedeltemperaturerna är mellan -10°C och uppemot 15°C. I framtiden ser de riktigt låga dygnstemperaturerna ut att minska och istället ökar dagar med temperaturer strax under noll grader. Det sker också en ökning av dagar med medeltemperaturer kring 15°C.

I framtiden minskar antalet dagar med några mm nederbörd och dagar med 5-25 mm ökar och då särskilt kring 5-15 mm.

Jämförelse nedskalningsmetodik

Den statistiska nedskalningsmetoden underskattar mellanårliga variationen något för nederbörd, och mycket för temperatur. Det gäller bägge avrinningsområdena. Troligen ger den statistiska metoden dock bättre resultat kring noll grader. Skillnaden kan bero på att för de SRES-scenarier som ingår i jämförelsen har den äldre varianten av regional klimatmodell använts. För RCP-scenarierna syns inte problematiken kring noll grader på samma sätt.

Korttidsnederbörd

Samtliga beräkningar pekar på ökad intensiv nederbörd. Haparanda uppvisar den största ökningen, med uppemot 30%, men Falkenberg ligger inte långt efter. Eftersom nederbörden i Falkenberg är större ger den procentuella ökningen större utslag avseende absoluta tal. RCP8.5 visar på den största ökningen och RCP4.5 ger vanligen den lägsta ökningen. Andelen torra dagar minskar enligt nästan alla beräkningar.

Flöden

Generellt visar beräkningarna för Ätran på en stor spännvidd, men de flesta anger en ökning av samtliga flöden. Beräkningarna för Torneälven uppvisar mindre spännvidd än vad som är fallet för Ätran. Generellt visar beräkningarna för Torneälven på att flödena minskar. Samtliga SRES-scenarier pekar på lägre eller oförändrade flöden, både avseende 100-års, 200-års och Bhf-flöden. Det gäller bägge nedskalningsmetoderna. Flödena beräknade med statistisk nedskalning av SRES-scenarier är konsekvent lägre än övriga scenarier. Till skillnad från Ätran ses för Torneälven lägre flöden vid slutet av seklet enligt RCP8.5 jämfört med RCP4.5.

Beräkningarna med de två nedskalningsmetoderna avseende SRES-scenarier visar att DBS-metoden genomgående resulterar i högre värden, särskilt för Bhf-flöden.

Dimensioneringsberäkningar

Samtliga scenarier visar på tydligt minskande dimensionerande snötäcke för Ätran med 30-80%. Även för Torneälven ses minskande snötäcke i de flesta scenarier på ca 10-60%. Störst förändring i snötäcke erhålls av SRES-scenarierna och då särskilt nedskalade med den statistiska metoden.

För Torneälven ses en ökning av medeltillrinningen. För RCP-scenarierna erhålls, som förväntat, en större förändring med RCP8.5 jämfört med RCP4.5 för både dimensionerande snötäcke och medeltillrinning. Däremot är det inte lika tydligt för maxtillrinningen.

De flesta scenarier pekar på en ökning av medeltillrinningen för Ätran men mindre än för Torneälven. Av de scenarier som anger en minskad medeltillrinning är de flesta Statistiskt nedskalade SRES-scenarier.

Maximala tillrinningen för Torneälven visar huvudsakligen på en minskning, vilket kan relateras till det minskade snötäcket. För Ätran ses huvudsakligen en ökning av maximala tillrinningen, vilket troligen beror på ökad nederbörd.

För Torneälven ses en förskjutning mot allt tidigare flödestoppar på våren, vilket hör samman med en tidigare snösmältningsperiod.

Vattennivåer

Havsvattenståndet har stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir i Ätran. Eftersom stränderna är relativt branta blir översvämningens utbredning begränsad även vid de högsta flödena i Ätran. Hamnområdet vid utloppet är betydligt flackare och är därmed också mer känsligt för variationer i vattennivåerna.

Havet påverkar vattennivåerna i mynningen vid Torneälven och längs kusten. Uppströms i Torneälven är det storleksordningen på flödet som styr vattennivåerna. Vid 7 000 m³/s är stora delar av östra Torneå under vatten, medan västra Torneå och Haparanda skyddas av en vall.

14 Referenser

Hallberg K., Andréasson J., Axén Mårtensson J., Bergström S., Dahné J., Nylén L. och Sjökvist E. 2014. Metodbeskrivning och jämförande studie av dimensionerande flöden för damanläggningar med två generationer klimatscenarier. *Elforsk rapport* 14:27.

ICONICS 2013. Nakićenović N., Lempert R., and Janetos A (eds.). *A Special Issue of Climatic Change journal on the Framework for the Development of New Socioeconomic Scenarios for Climate Change Research*.
<https://www2.cgd.ucar.edu/research/iconics/publications/ssps>

IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Nougier, M., van der Linden, P.J. Dai, X., Maskell, K. and Johnsen, C.A. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/

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.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

IPCC 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

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

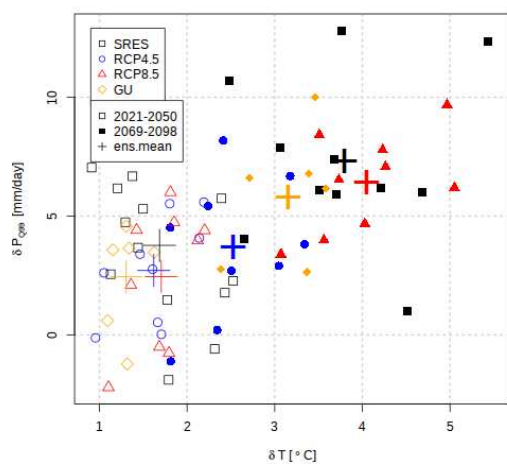
- Johansson, B. and Chen, D. 2003. The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johansson, B. and Chen, D. 2005. Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind 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.
- 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. <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>
- Olsson J. and Foster K. 2013. Short-term precipitation extremes in regional climate simulations for Sweden: historical and future changes. *Hydrology Research*
- Persson G. 2012. Islossning i Torneälven. *SMHI Hydrologi* Nr 118.
- Persson G., Asp S.-S., Dyrestam K., Eklund D., Gyllander A., Hallberg K., Johnell A., Tahsin Y. och Wingqvist E.-M. 2011a. Detaljerad översvämningskartering av nedre Torneälven. *SMHI Hydrologi* Nr 115.
- Persson G., Andréasson J., Eklund D., Hallberg K., Nerheim S., Sjökvist E., Wern L. och Åström S. 2011b. Klimatanalys för Västra Götalands län. *SMHI Rapport* Nr 2011-45.
- Räddningsverket och SMHI 2000. Översiktlig översvämningskartering längs Ätran sträckan Vist till Kattegatt, Rapport nr 12. SRV KD-12420-2-0. *SMHI D-nr* 2000/156/204
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin 2007. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6
- 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.

15 Bilagor

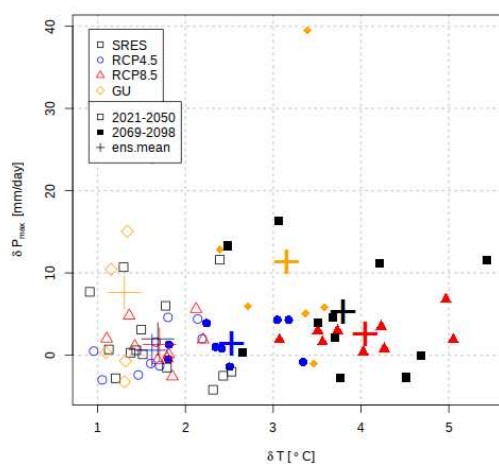
- Bilaga 1. Förändring av nederbörd och temperatur
- Bilaga 2. Korttidsnederbörd enligt stationsdata
- Bilaga 3. Korttidsnederbörd i framtida klimat
- Bilaga 4. Jämförelse av beräknade 100 års-, 200 års- och Bhf-flöden
- Bilaga 5. Dimensioneringsberäkningar för Ätran
- Bilaga 6. Dimensioneringsberäkningar för Torneälven
- Bilaga 7. Översvämningskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens medelvattenstånd i havet
- Bilaga 8. Översvämningskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens 100-årsvattenstånd i havet
- Bilaga 9. Översvämningskartering av Ätran vid Falkenberg med beräknat 100-årsvattenstånd i havet vid slutet av seklet
- Bilaga 10. Översvämningskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens medelvattenstånd i havet.
- Bilaga 11. Översvämningskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens 100-årsvattenstånd i havet.

Bilaga 1. Förändring av nederbörd och temperatur

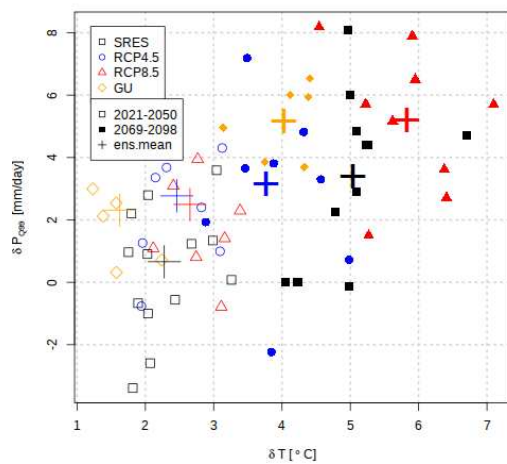
Ätran 99.9-percentilen



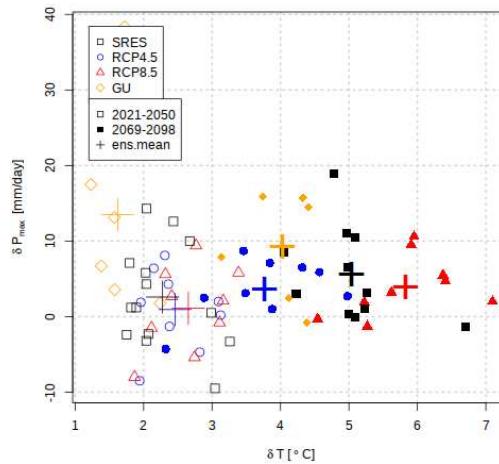
Ätran max-värden



Torneälven 99.9-percentilen



Torneälven max-värden

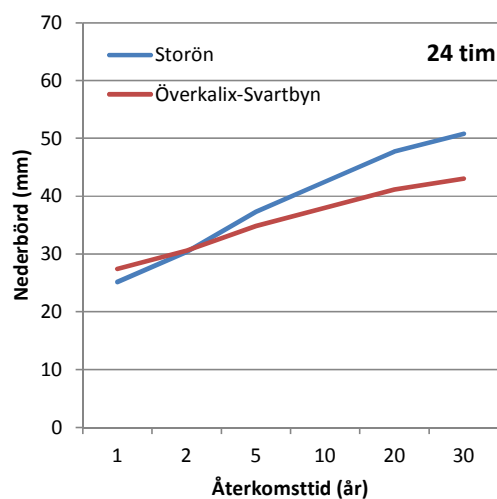
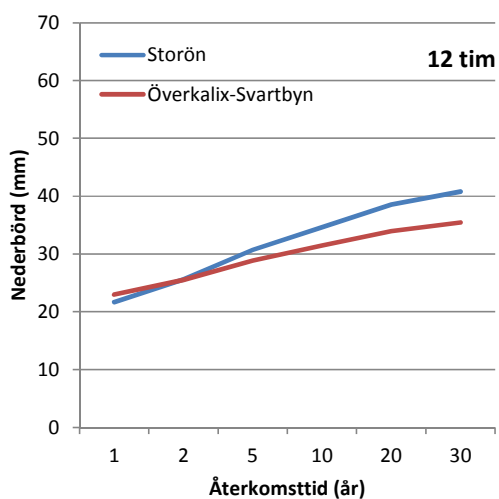
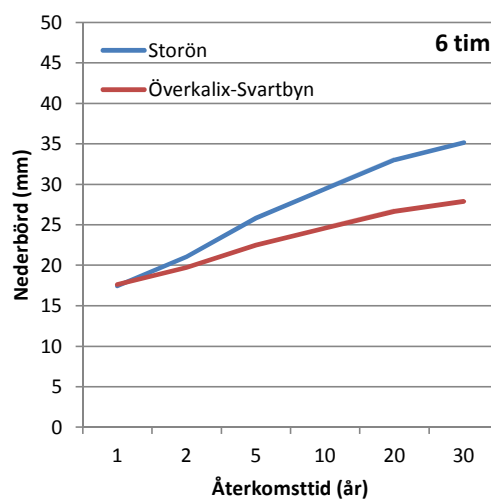
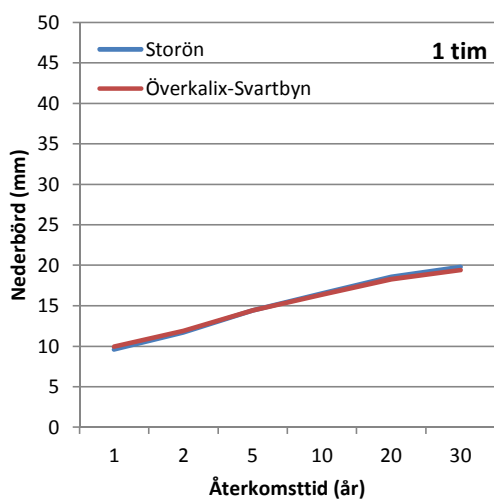
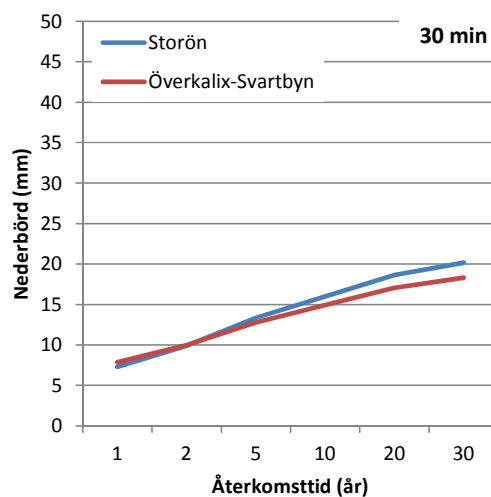


Bilaga 2. Korttidsnederbörd enligt stationsdata

Haparanda

Varaktighet: 15 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	5.1	7.7	11.2	13.8	16.3	17.9	19.8	22.4
Överkalix-Svartbyn	17277	6.2	7.6	9.6	11.0	12.5	13.3	14.4	15.9
Varaktighet: 30 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	7.3	9.9	13.4	16.0	18.6	20.2	22.1	24.7
Överkalix-Svartbyn	17277	7.9	10.0	12.8	14.9	17.1	18.3	19.9	22
Varaktighet: 45 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	8.6	10.9	13.9	16.1	18.4	19.7	21.3	23.6
Överkalix-Svartbyn	17277	8.9	11.0	13.7	15.8	17.8	19.0	20.5	22.6
Varaktighet: 1 timme		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	9.6	11.7	14.4	16.5	18.6	19.8	21.3	23.4
Överkalix-Svartbyn	17277	10.0	11.9	14.4	16.3	18.3	19.4	20.8	22.7
Varaktighet: 6 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	17.4	21.1	25.8	29.4	33.0	35.1	37.8	41.4
Överkalix-Svartbyn	17277	17.6	19.7	22.5	24.6	26.7	27.9	29.4	31.5
Varaktighet: 12 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	21.7	25.6	30.7	34.6	38.5	40.8	43.7	47.6
Överkalix-Svartbyn	17277	23.0	25.5	28.9	31.4	34.0	35.4	37.3	39.9
Varaktighet: 24 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Storön	16390	25.2	30.4	37.3	42.5	47.7	50.8	54.6	59.8
Överkalix-Svartbyn	17277	27.4	30.6	34.8	38.0	41.2	43.0	45.4	48.6

Haparanda



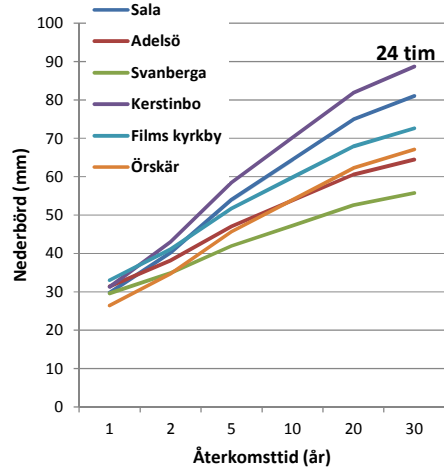
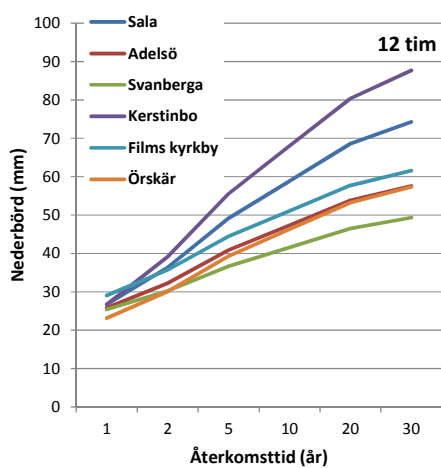
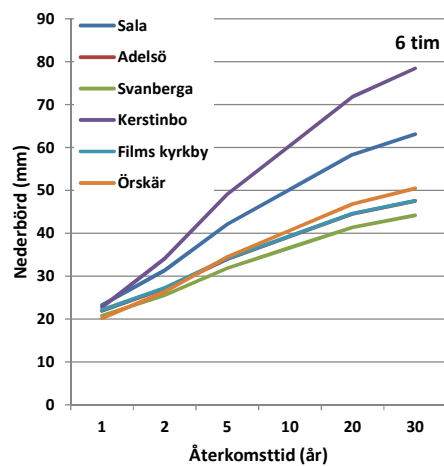
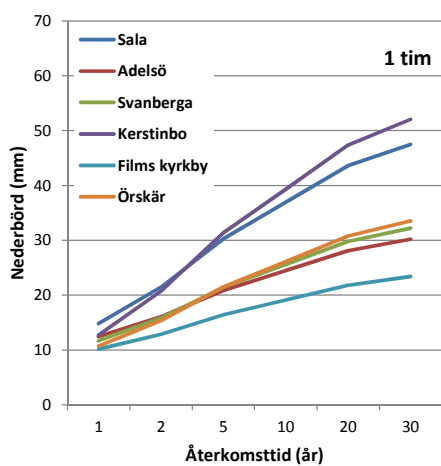
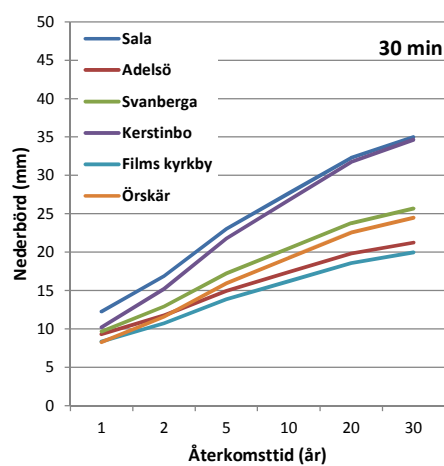
Uppsala

Varaktighet: 15 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	8.6	11.5	15.3	18.1	21.0	22.7	24.8	27.6
Adelsö	9728	6.8	8.7	11.2	13.1	15.0	16.1	17.5	19.4
Svanberga	9849	7.8	9.8	12.5	14.5	16.5	17.7	19.2	21.2
Kerstinbo	10616	7.2	10.1	13.9	16.7	19.6	21.2	23.3	26.2
Films kyrkby	10714	6.4	8.6	11.5	13.6	15.8	17.1	18.7	20.9
Örskär	10832	6.203	8.33	11.1	13.3	15.4	16.65	18.2	20.3
Varaktighet: 30 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	12.3	16.9	23.0	27.6	32.3	35.0	38.4	43
Adelsö	9728	9.3	11.7	14.9	17.4	19.8	21.2	23	25.5
Svanberga	9849	9.6	12.9	17.2	20.5	23.7	25.7	28.1	31.3
Kerstinbo	10616	10.2	15.2	21.8	26.7	31.7	34.6	38.3	43.3
Films kyrkby	10714	8.3	10.7	13.8	16.2	18.6	20.0	21.7	24.1
Örskär	10832	8.264	11.6	15.9	19.2	22.5	24.46	26.9	30.2
Varaktighet: 45 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	13.5	19.4	27.1	32.9	38.8	42.2	46.5	52.3
Adelsö	9728	11.0	14.1	18.1	21.2	24.3	26.1	28.3	31.4
Svanberga	9849	10.8	14.8	20.0	23.9	27.9	30.2	33.1	37.1
Kerstinbo	10616	11.5	18.8	28.4	35.6	42.9	47.1	52.5	59.7
Films kyrkby	10714	9.4	11.8	15.0	17.4	19.8	21.2	22.9	25.3
Örskär	10832	9.922	14.2	20	24.3	28.6	31.13	34.3	38.6
Varaktighet: 1 timme		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	14.8	21.5	30.3	36.9	43.6	47.5	52.4	59.1
Adelsö	9728	12.4	16.1	20.8	24.5	28.1	30.2	32.9	36.5
Svanberga	9849	11.7	15.9	21.4	25.6	29.8	32.2	35.3	39.5
Kerstinbo	10616	12.7	20.7	31.3	39.4	47.4	52.1	58	66
Films kyrkby	10714	10.2	12.9	16.4	19.1	21.8	23.4	25.4	28.1
Örskär	10832	10.72	15.4	21.5	26.2	30.8	33.51	36.9	41.6
Varaktighet: 6 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	23.3	31.4	42.1	50.2	58.4	63.1	69.1	77.2
Adelsö	9728	21.9	27.1	34.0	39.3	44.5	47.6	51.4	56.7
Svanberga	9849	20.8	25.5	31.9	36.6	41.4	44.2	47.7	52.5
Kerstinbo	10616	22.8	34.1	49.1	60.5	71.8	78.4	86.8	98.2
Films kyrkby	10714	22.1	27.3	34.2	39.4	44.6	47.6	51.4	56.6
Örskär	10832	20.19	26.4	34.5	40.7	46.8	50.44	55	61.1

Varaktighet: 12 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	26.7	36.4	49.2	58.9	68.6	74.3	81.4	91.1
Adelsö	9728	25.8	32.3	40.9	47.3	53.8	57.6	62.4	68.9
Svanberga	9849	25.4	30.2	36.7	41.6	46.5	49.4	53	57.8
Kerstinbo	10616	26.7	39.1	55.6	68.0	80.4	87.7	96.9	109
Films kyrkby	10714	29.1	35.7	44.5	51.1	57.7	61.6	66.5	73.1
Örskär	10832	23.14	30.1	39.3	46.3	53.3	57.35	62.5	69.5

Varaktighet: 24 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Sala	9656	29.8	40.2	54.0	64.5	74.9	81.1	88.8	99.2
Adelsö	9728	31.4	38.2	47.1	53.8	60.6	64.5	69.5	76.2
Svanberga	9849	29.6	34.9	42.0	47.3	52.6	55.8	59.7	65
Kerstinbo	10616	31.3	43.0	58.5	70.2	81.9	88.7	97.4	109
Films kyrkby	10714	33.0	41.1	51.8	59.8	67.9	72.6	78.6	86.7
Örskär	10832	26.49	34.8	45.7	54	62.2	67.07	73.2	81.4

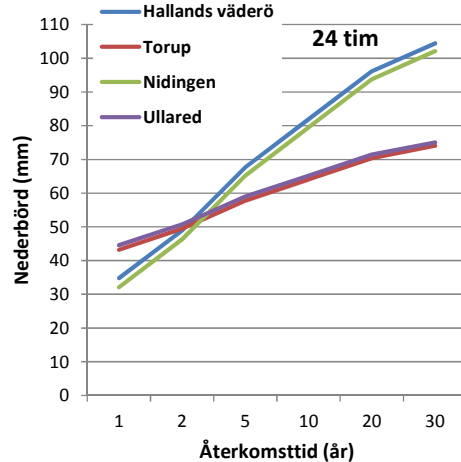
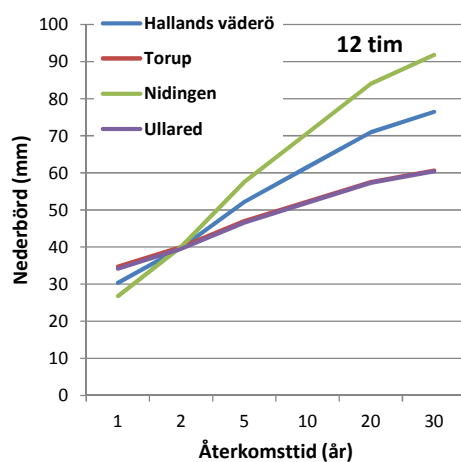
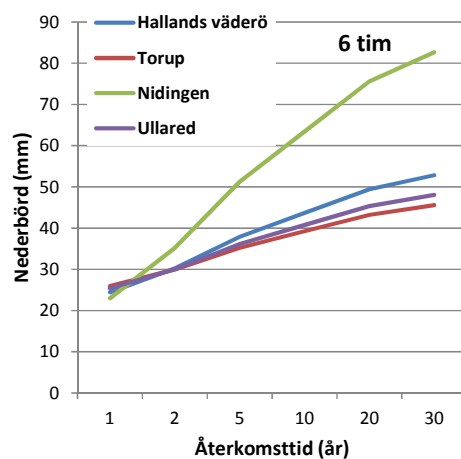
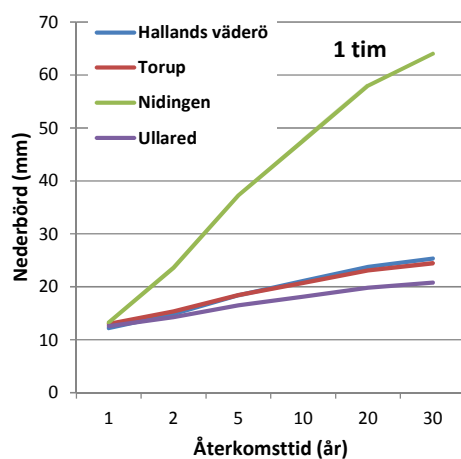
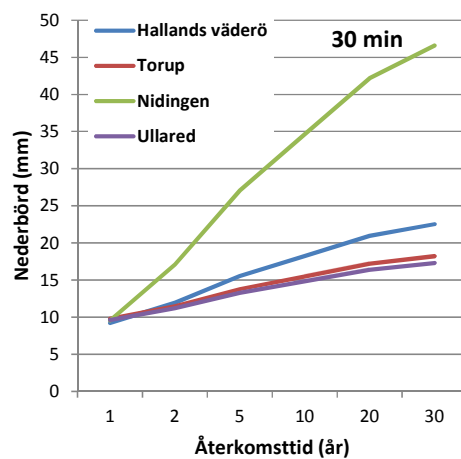
Uppsala



Falkenberg

Varaktighet: 15 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	6.8	8.3	10.2	11.7	13.1	14.0	15.1	16.5
Torup	6359	7.2	9.3	12.0	14.0	16.0	17.2	18.7	20.8
Nidingen	7119	6.8	10.6	15.5	19.2	22.9	25.1	27.9	31.6
Ullared	7209	7.3	9.6	12.6	14.8	17.1	18.4	20.1	22.3
Varaktighet: 30 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	9.2	11.9	15.5	18.2	20.9	22.5	24.5	27.2
Torup	6359	9.8	11.5	13.8	15.5	17.2	18.2	19.5	21.2
Nidingen	7119	9.6	17.1	27.1	34.6	42.2	46.6	52.2	59.7
Ullared	7209	9.6	11.2	13.3	14.8	16.4	17.3	18.5	20
Varaktighet: 45 minuter		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	11.0	13.6	17.0	19.6	22.2	23.8	25.7	28.3
Torup	6359	11.4	13.7	16.7	19.0	21.3	22.6	24.3	26.6
Nidingen	7119	11.8	20.9	32.8	41.9	50.9	56.2	62.9	72
Ullared	7209	11.1	12.8	15.1	16.9	18.7	19.7	21	22.7
Varaktighet: 1 timme		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	12.2	14.9	18.4	21.1	23.8	25.3	27.3	30
Torup	6359	13.0	15.3	18.4	20.7	23.1	24.4	26.2	28.5
Nidingen	7119	13.2	23.6	37.3	47.6	58.0	64.0	71.6	82
Ullared	7209	12.6	14.3	16.5	18.1	19.8	20.8	22	23.7
Varaktighet: 6 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	24.5	30.2	37.9	43.7	49.4	52.8	57.1	62.8
Torup	6359	25.9	29.9	35.2	39.2	43.2	45.6	48.5	52.5
Nidingen	7119	23.0	35.2	51.3	63.4	75.6	82.7	91.7	104
Ullared	7209	25.4	30.0	36.1	40.7	45.4	48.1	51.5	56.1
Varaktighet: 12 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	30.4	39.8	52.2	61.6	71.0	76.5	83.4	92.8
Torup	6359	34.7	40.0	47.0	52.3	57.5	60.6	64.5	69.8
Nidingen	7119	26.8	40.1	57.6	70.8	84.0	91.8	102	115
Ullared	7209	34.2	39.5	46.6	51.9	57.3	60.4	64.4	69.7
Varaktighet: 24 timmar		Återkomsttid							
Stationsnamn	Station	1	2	5	10	20	30	50	100
Hallands väderö	6226	34.8	49.0	67.7	81.9	96.1	104.4	115	129
Torup	6359	43.2	49.4	57.8	64.1	70.3	74.0	78.7	85
Nidingen	7119	32.1	46.4	65.2	79.5	93.8	102.1	113	127
Ullared	7209	44.6	50.8	59.0	65.2	71.4	75.0	79.6	85.8

Falkenberg



Bilaga 3. Korttidsnederbörd i framtida klimat

Medelvärden från beräkningar med SRES-scenarier applicerade på stationsdata.

Korttidsnederbörd (mm) i framtida klimat (2071-2100) för de olika stationer som representerar Falkenberg.

Hallands Väderö	1 år	5 år	10 år	20 år	Torup	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	12	20	24	27	30 min	12	18	20	22
1 tim	15	24	27	31	1 tim	16	24	27	30
6 tim	29	47	55	64	6 tim	31	44	50	56
12 tim	36	64	77	90	12 tim	41	57	65	73
24 tim	40	81	99	118	24 tim	49	69	78	86

Nidingen	1 år	5 år	10 år	20 år	Ullared	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	12	35	45	55	30 min	12	17	19	21
1 tim	16	48	61	76	1 tim	15	21	23	26
6 tim	27	64	80	98	6 tim	30	45	52	59
12 tim	31	70	88	107	12 tim	40	57	65	73
24 tim	37	78	96	115	24 tim	51	71	79	88

Korttidsnederbörd (mm) i framtida klimat (2071-2100) för de olika stationer som representerar Haparanda.

Storön	1 år	5 år	10 år	20 år	Överkalix- Svartbyn	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	9	16	19	21	30 min	10	15	16	20
1 tim	12	17	20	22	1 tim	12	17	19	22
6 tim	21	31	35	39	6 tim	21	27	29	31
12 tim	26	36	40	44	12 tim	27	34	35	39
24 tim	30	43	48	54	24 tim	33	40	43	47

Korttidsnederbörd (mm) i framtida klimat (2071-2100) för de olika stationer som representerar Uppsala.

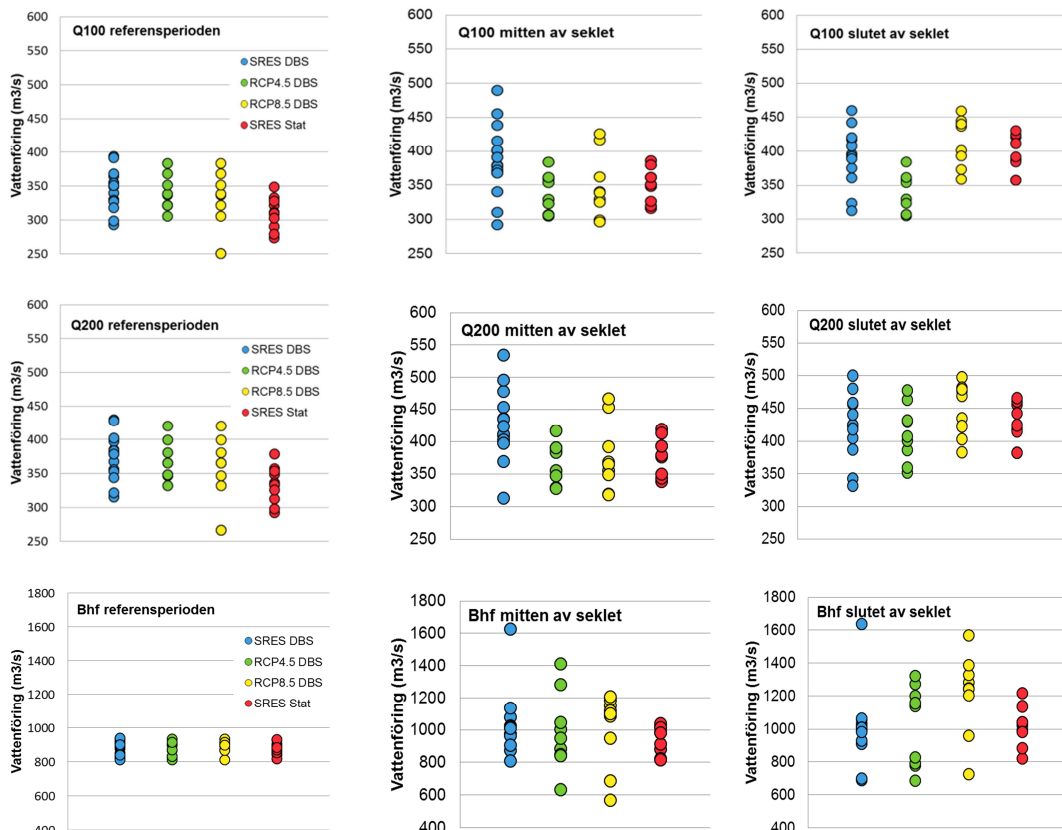
Sala	1 år	5 år	10 år	20 år	Adelsö	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	16	29	34	40	30 min	12	19	22	25
1 tim	18	36	44	52	1 tim	15	25	29	33
6 tim	28	50	59	68	6 tim	24	40	46	52
12 tim	32	56	67	77	12 tim	30	47	53	60
24 tim	35	60	70	82	24 tim	36	52	59	66

Svanberga	1 år	5 år	10 år	20 år	Kerstinbo	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	12	21	26	29	30 min	13	27	33	39
1 tim	14	26	30	35	1 tim	16	38	47	56
6 tim	25	38	43	48	6 tim	27	58	71	84
12 tim	30	42	47	52	12 tim	32	63	77	90
24 tim	34	47	52	57	24 tim	36	65	77	90

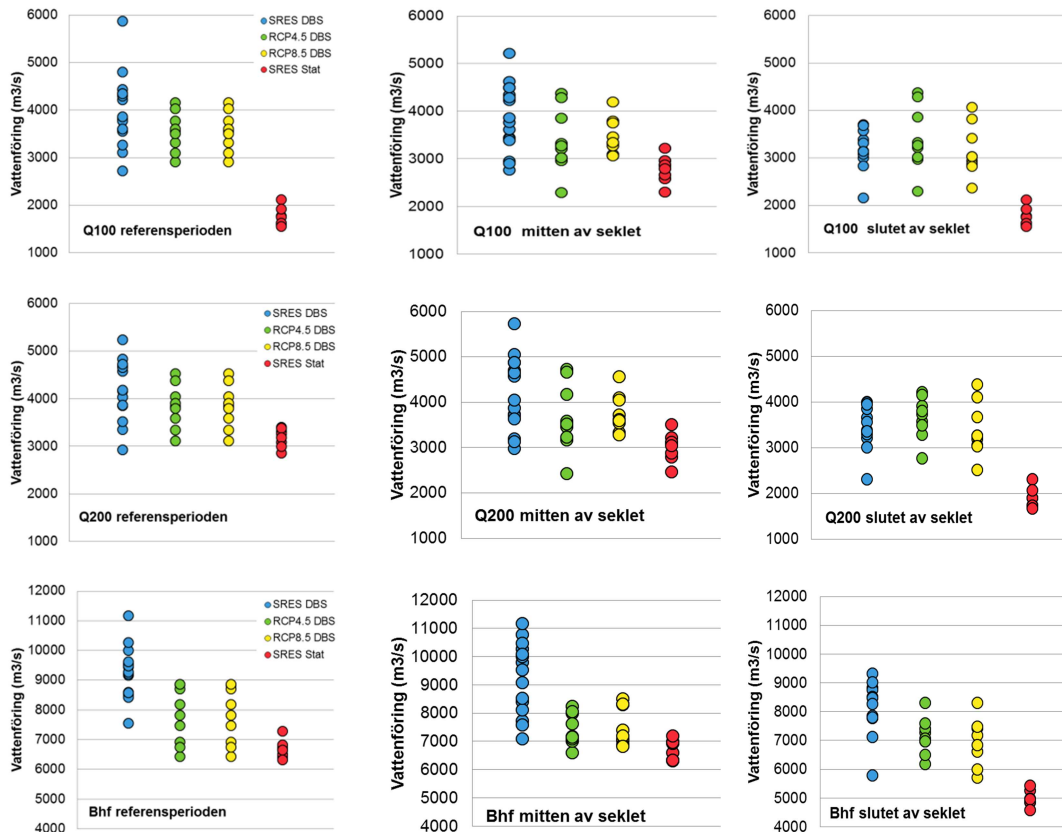
Films kyrkby	1 år	5 år	10 år	20 år	Örskär	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	11	17	20	23	30 min	11	20	24	28
1 tim	13	20	23	26	1 tim	13	26	31	37
6 tim	26	40	46	52	6 tim	24	41	48	55
12 tim	34	51	58	65	12 tim	27	45	52	60
24 tim	38	57	65	74	24 tim	31	51	59	68

Bilaga 4. Jämförelse av beräknade 100-års, 200-års och Bhf-flöden.

Ätran



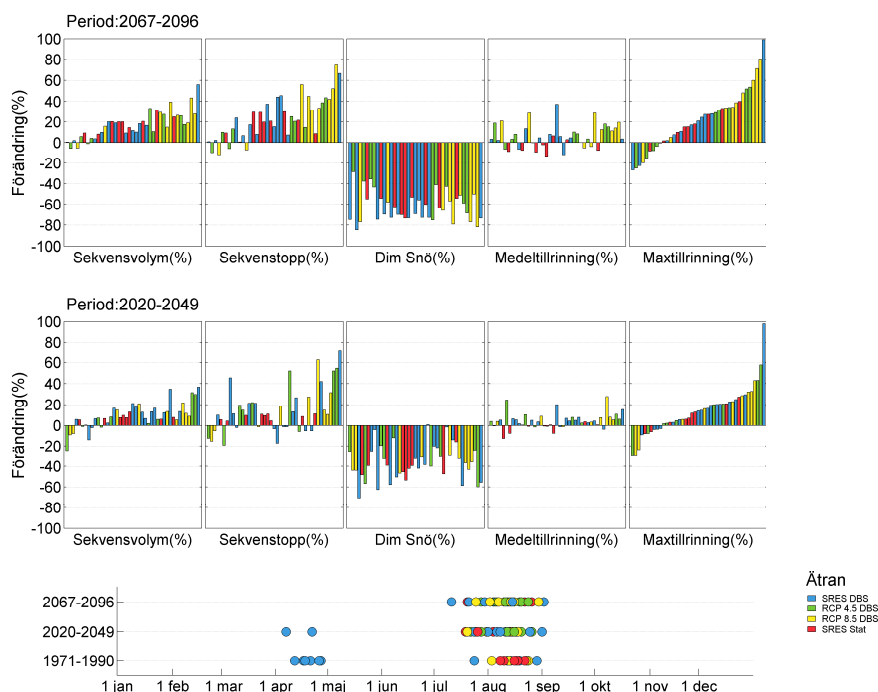
Torneälven



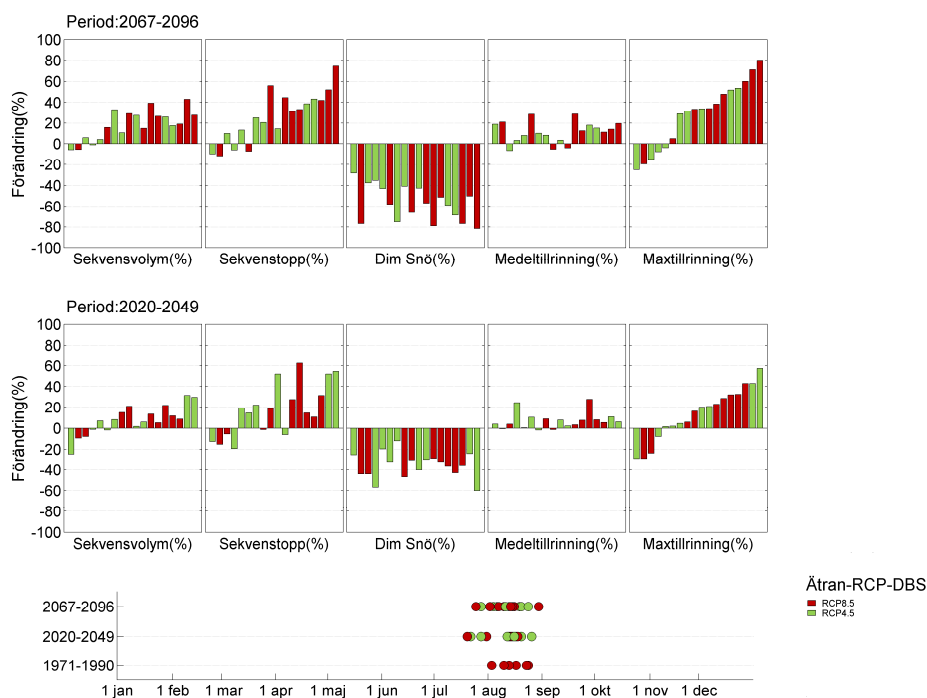
Bilaga 5. Dimensioneringsberäkningar för Ätran

Förändringen anges som procentuell avvikelse för perioden 2020-2049 respektive 2067-2096 jämfört med referensperioden 1971-1990, avseende sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället. Nederst i varje diagramgrupp visas tidpunkt för flödestopp.

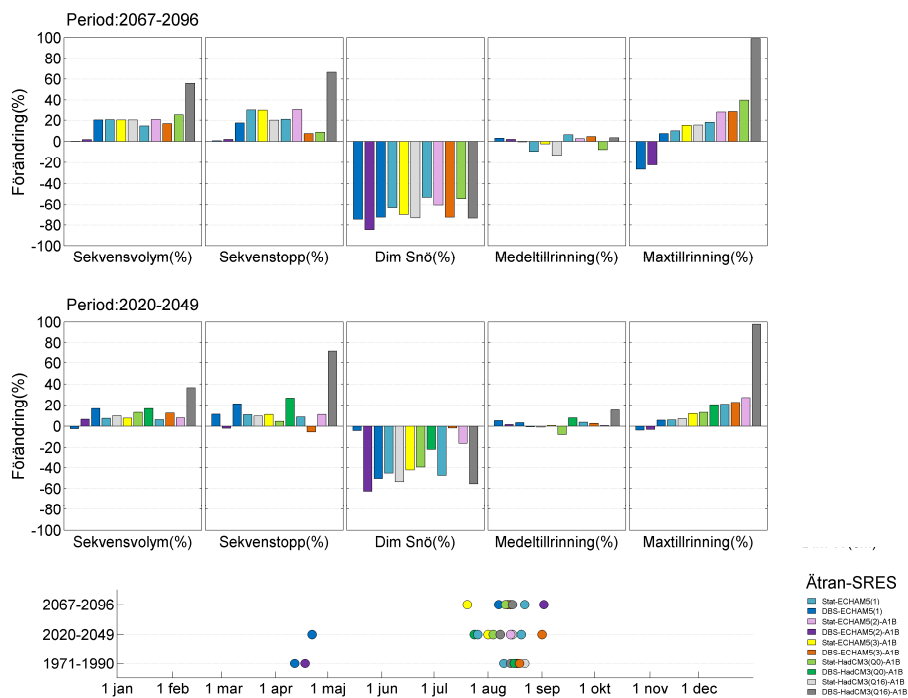
I nedanstående figur visas samtliga beräkningar.



I nedanstående figur visas RCP4.5 och RCP8.5 beräknade med DBS-metoden.



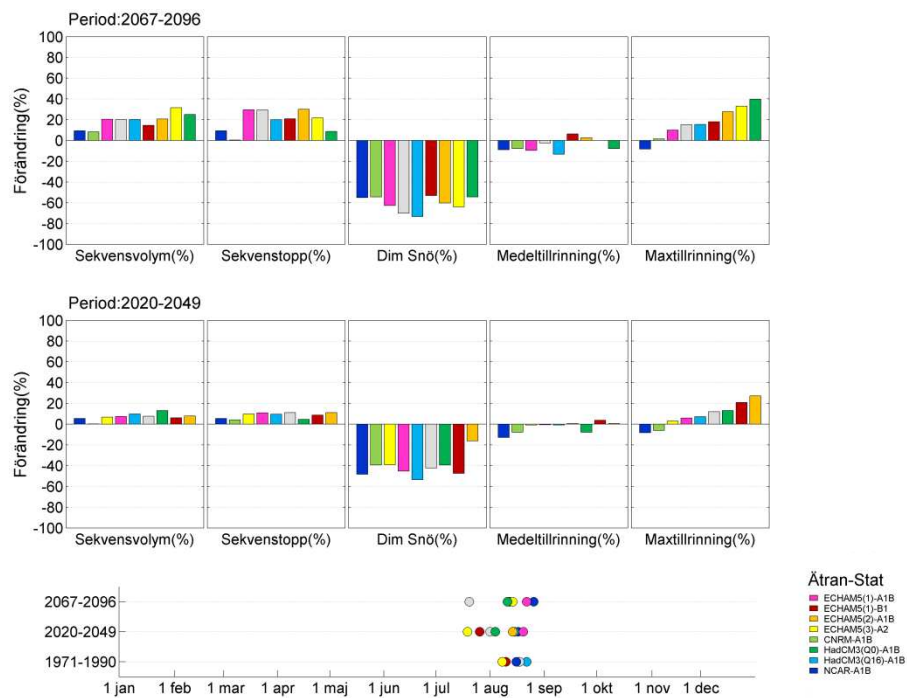
I nedanstående figur visas resultat från samma SRES-scenarier (6st) nedskalade med de två olika metoderna Statistisk nedskalning (Stat) respektive DBS.



I nedanstående figur visas resultat från SRES-scenarier med DBS-nedskalning (16 st).



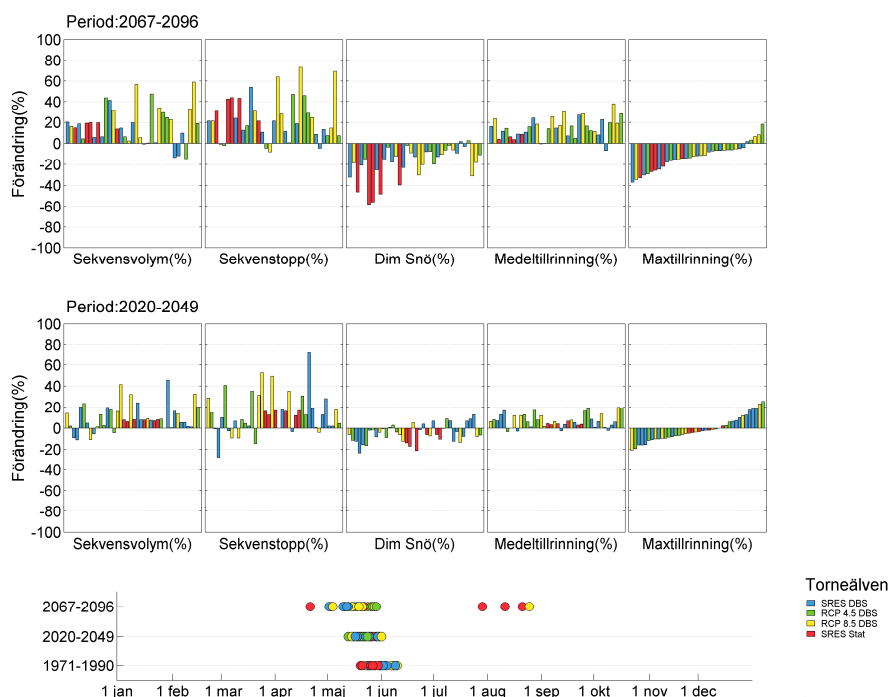
I nedanstående figur visas resultat från SRES-scenarier nedskalade med den statistiska metoden (9st).



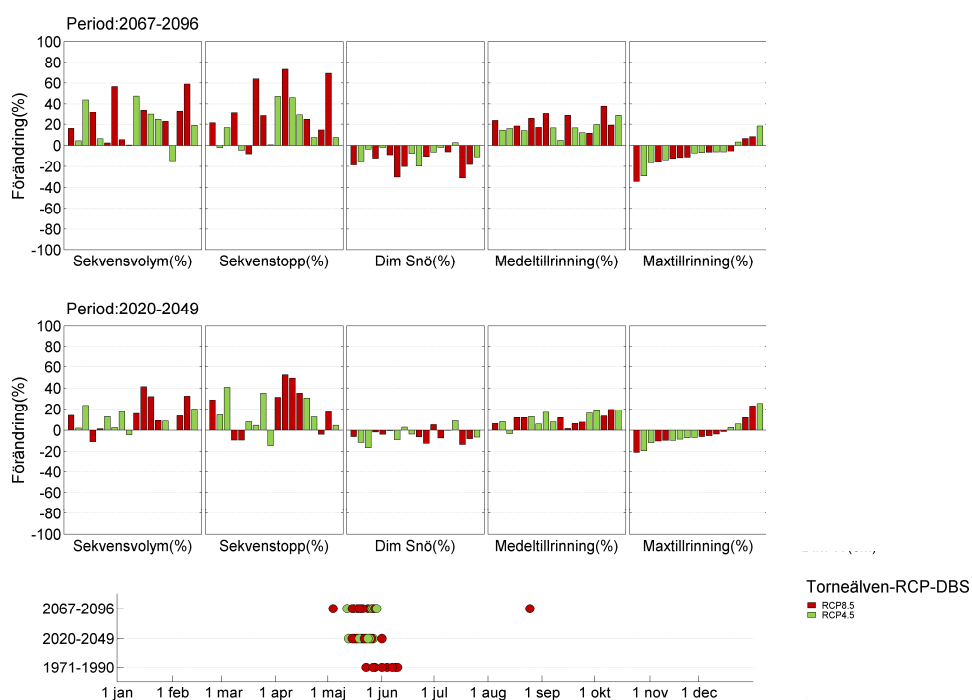
Bilaga 6. Dimensioneringsberäkningar för Torneälven

Förändringen anges som procentuell avvikelse för perioden 2020-2049 respektive 2067-2096 jämfört med referensperioden 1971-1990, avseende sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället. Nederst i varje dirgramgrupp visas tidpunkt för flödestopp.

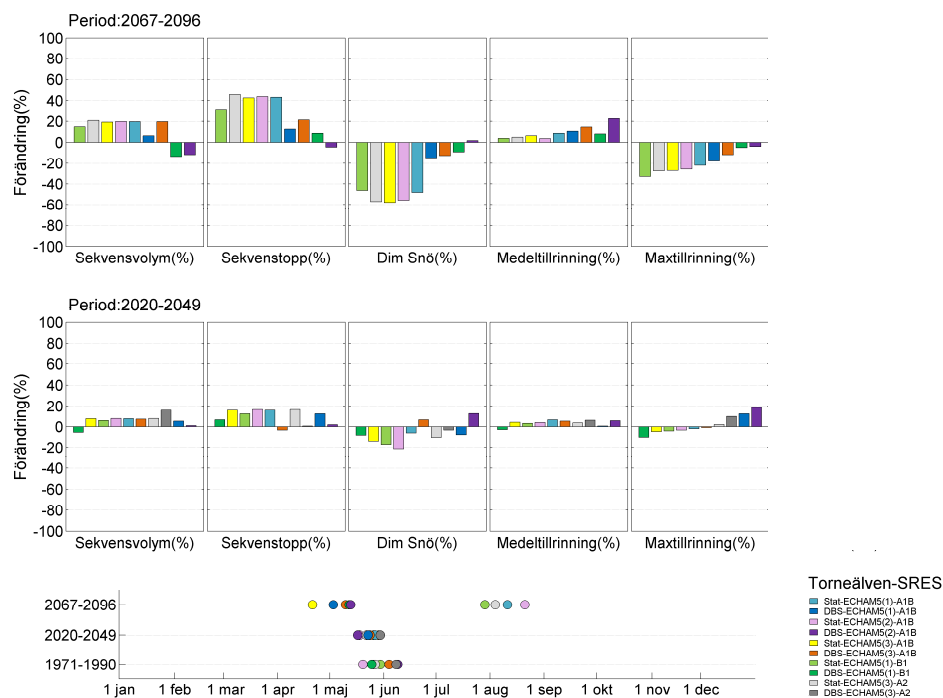
I nedanstående figur visas samtliga beräkningar.



I nedanstående figur visas RCP4.5 och RCP8.5 beräknade med DBS-metoden.



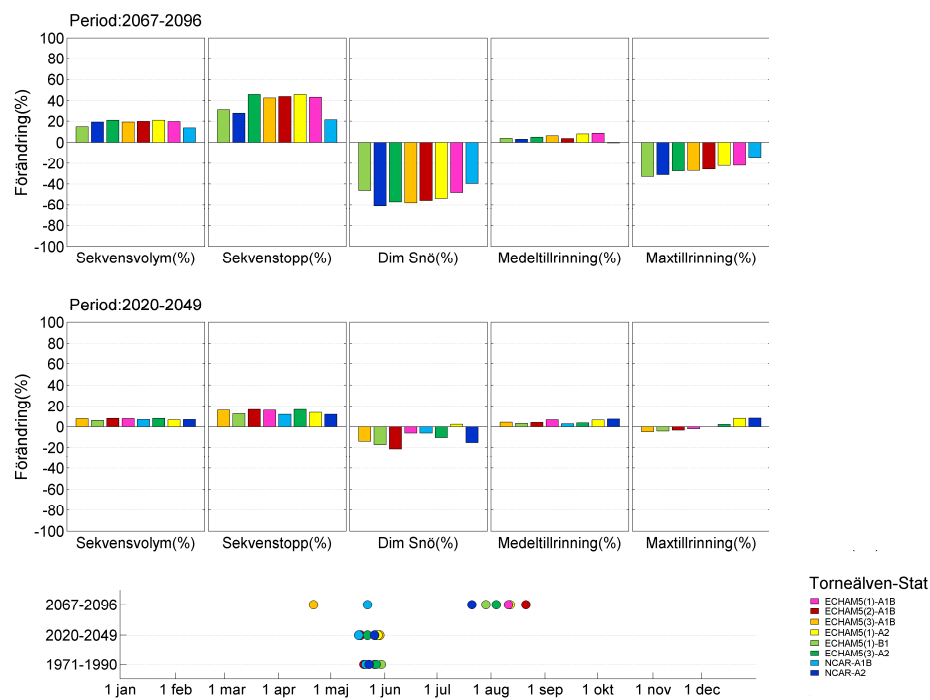
I nedanstående figur visas resultat från samma SRES-scenarier (5st) nedskalade med de två olika metoderna Statistisk nedskalning (Stat) respektive DBS.



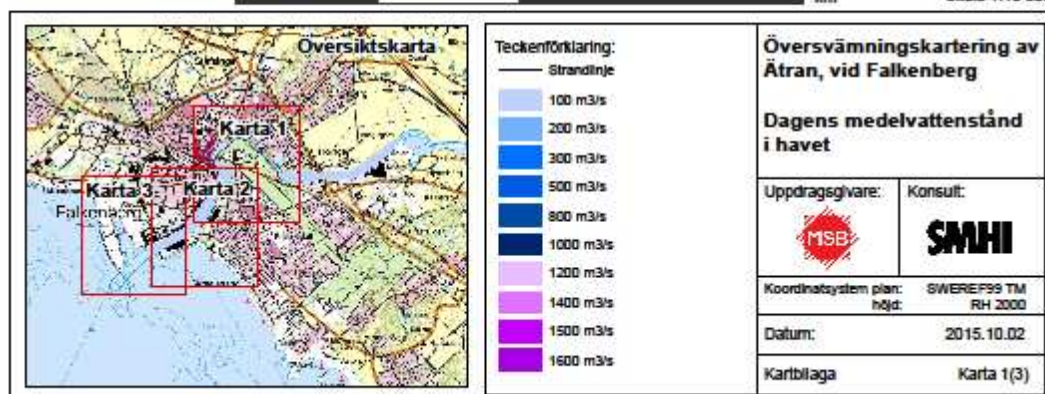
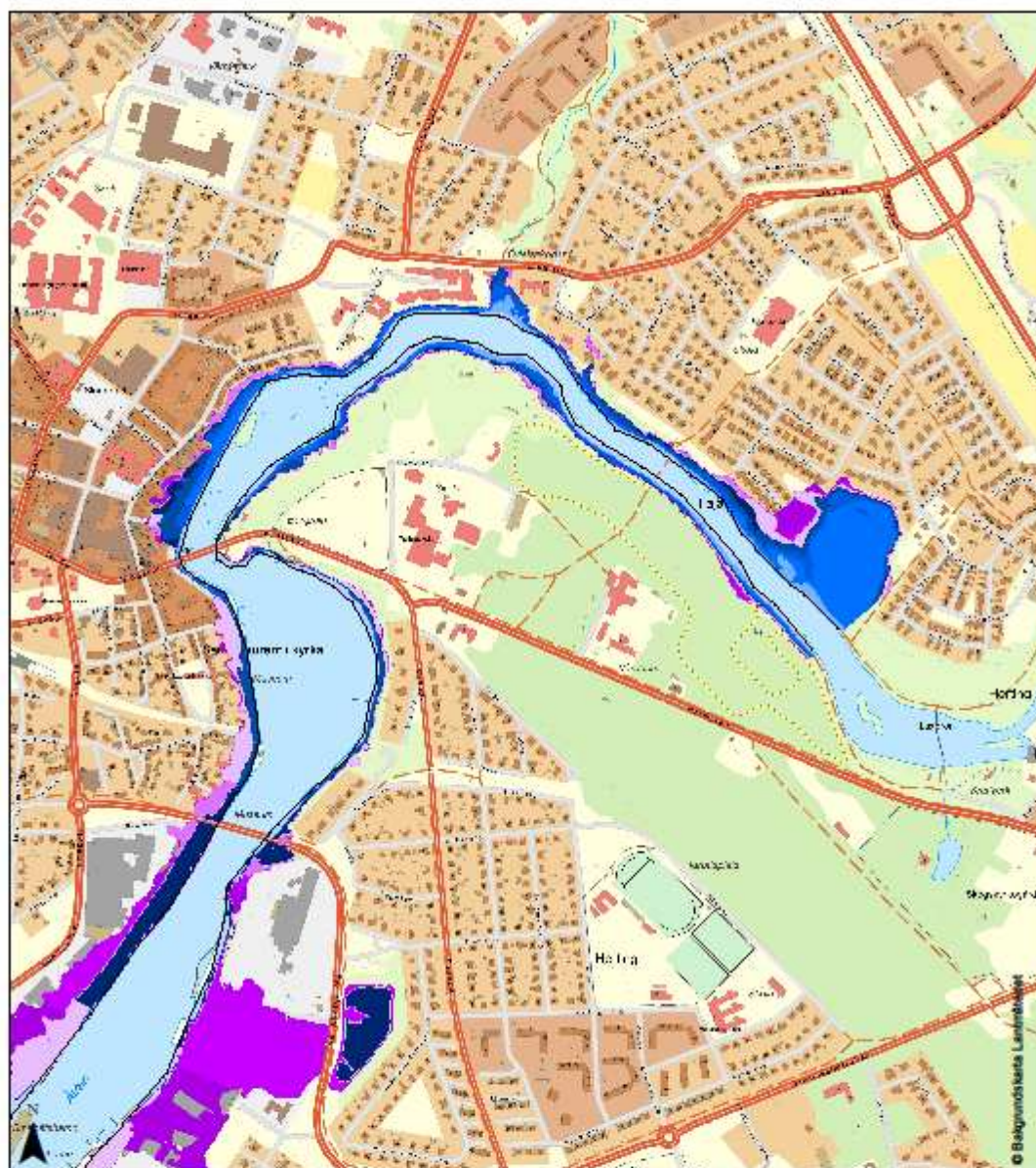
I nedanstående figur visas resultat från SRES-scenarier med DBS-nedskalning (16 st).



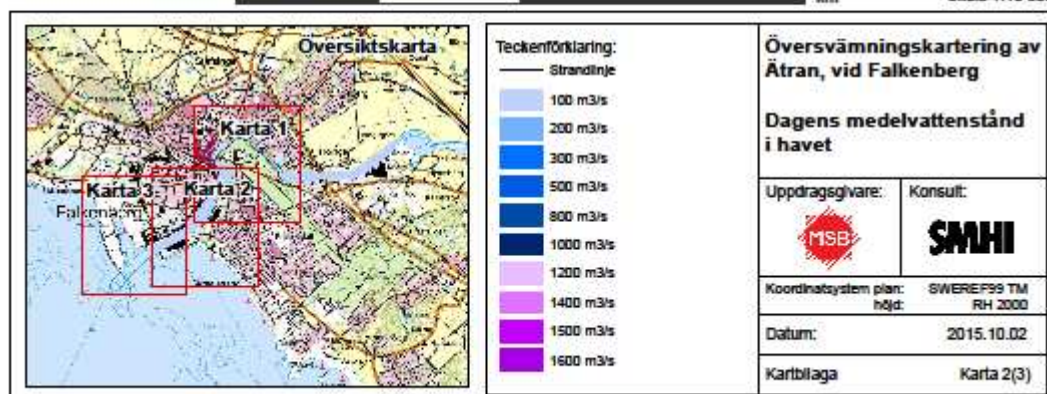
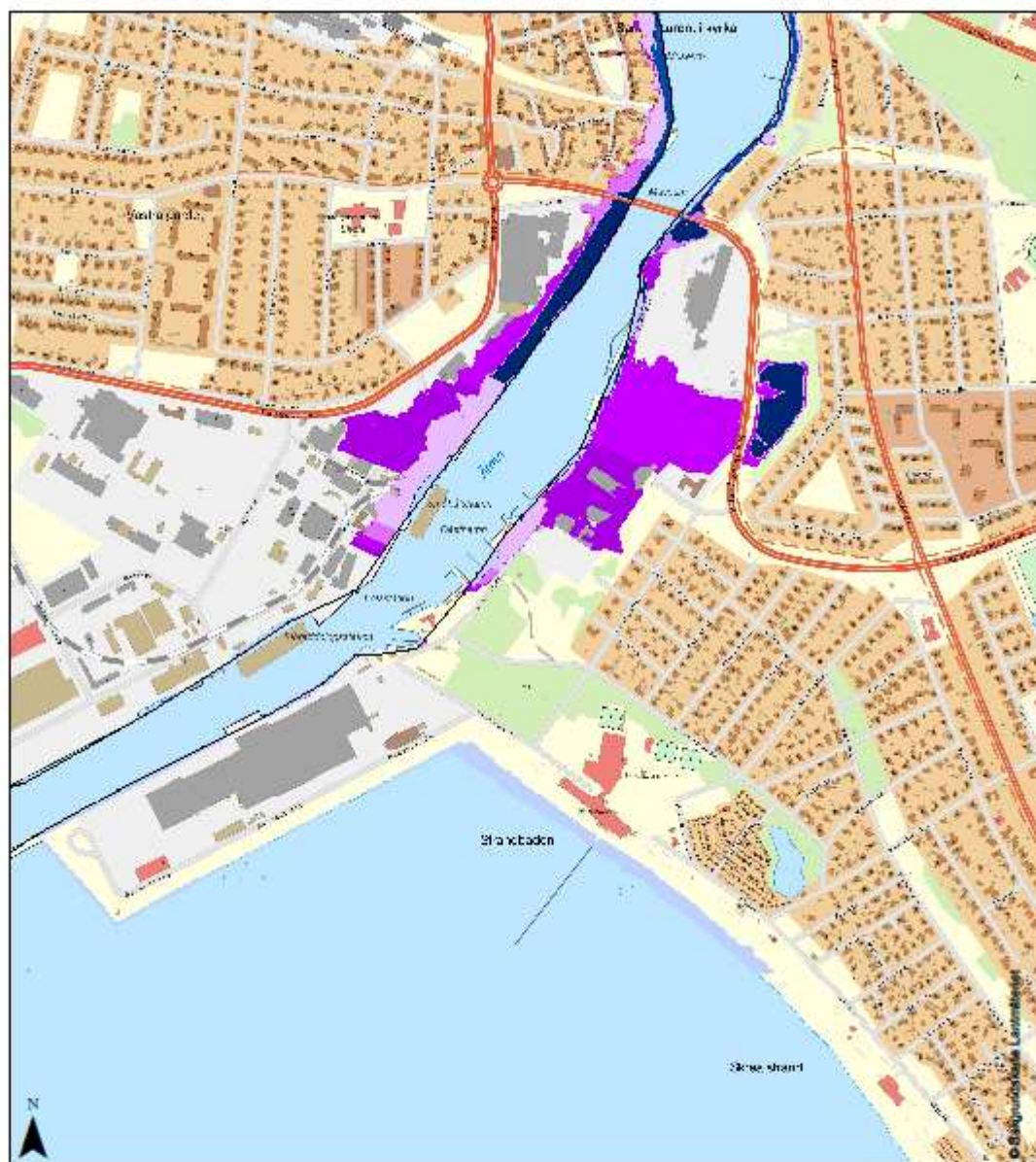
I nedanstående figur visas resultat från SRES-scenarier nedskalade med den statistiska metoden (8st).



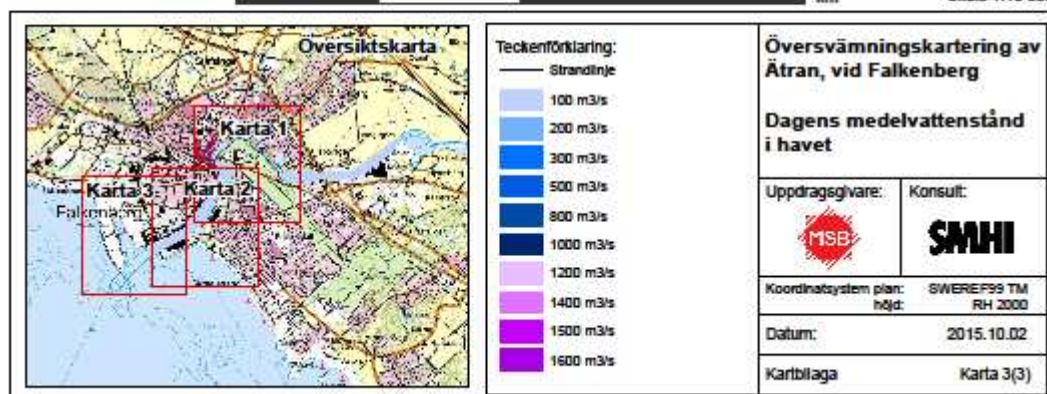
Bilaga 7a. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens medelvattenstånd i havet. Karta 1.



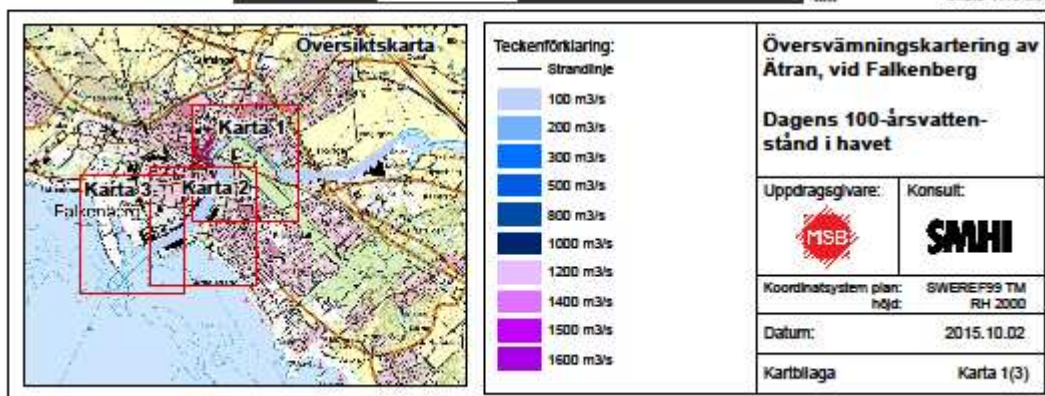
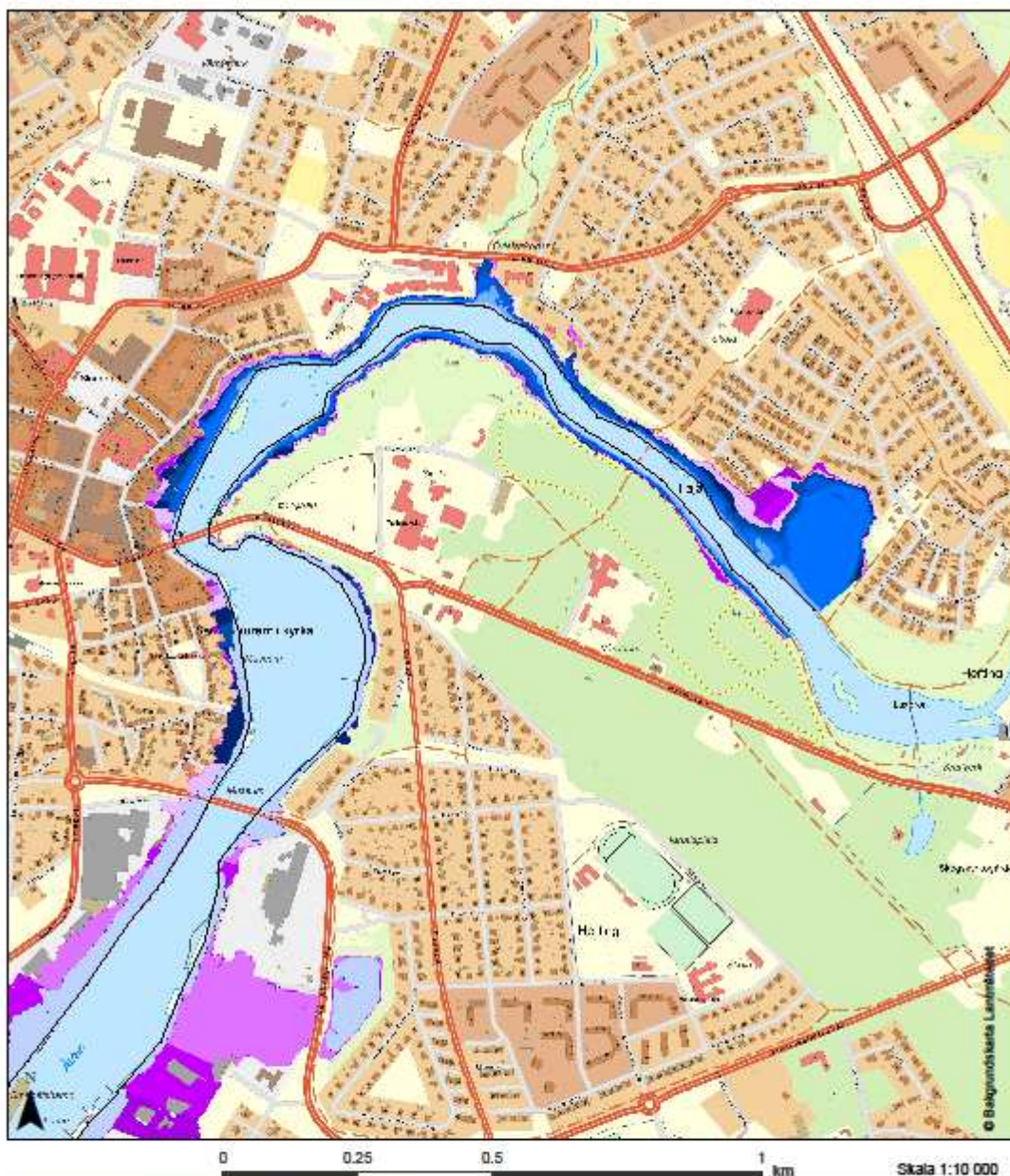
Bilaga 7b. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens medelvattenstånd i havet. Karta 2.



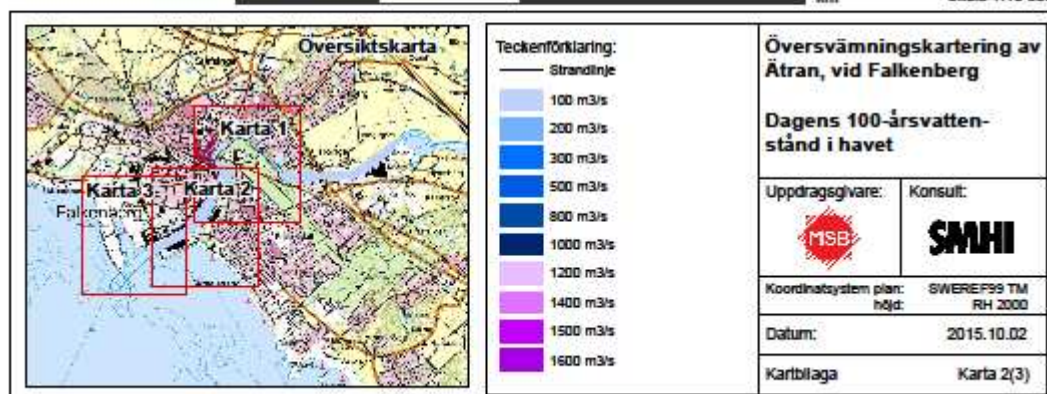
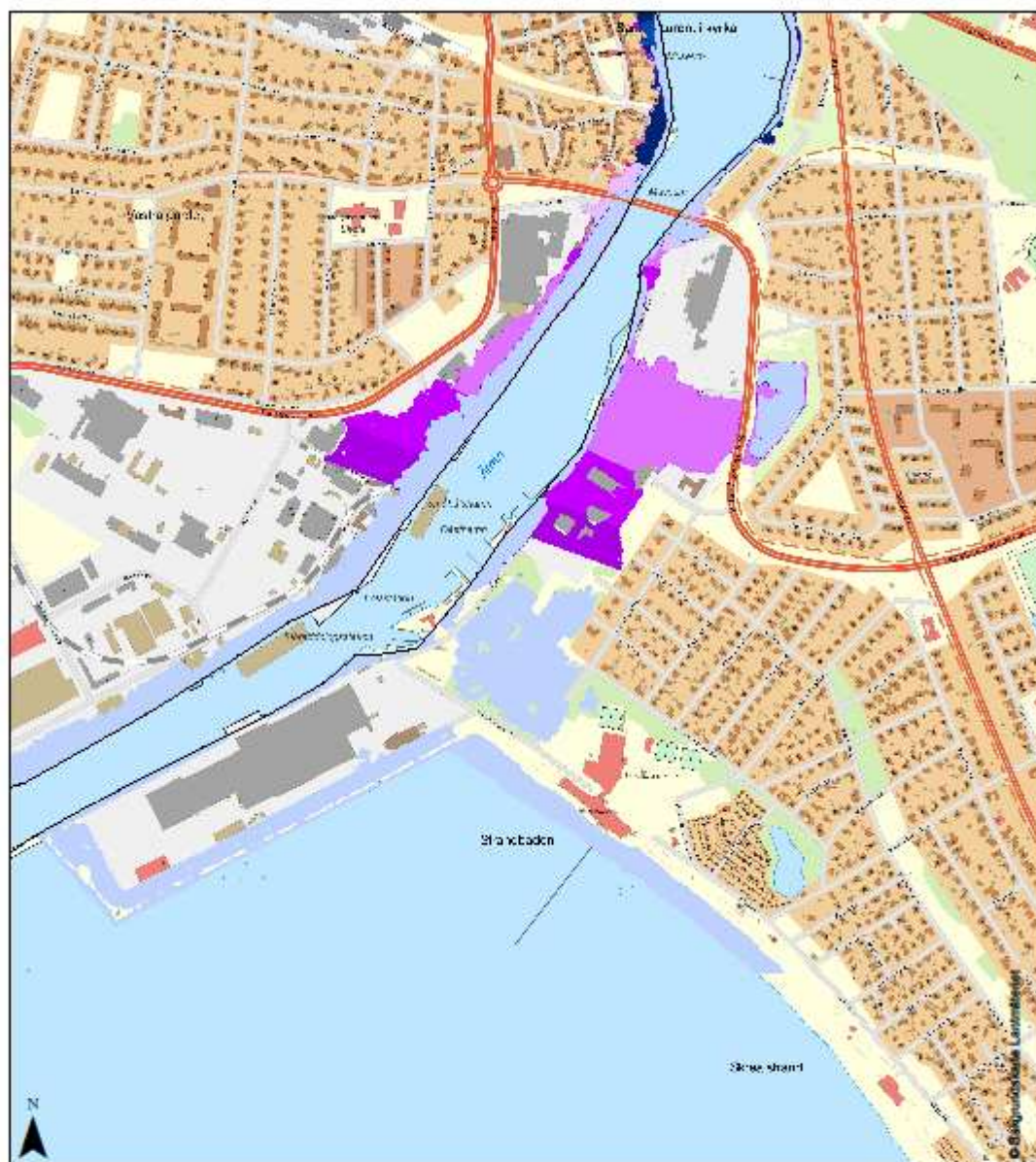
Bilaga 7c. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens medelvattenstånd i havet. Karta 3.



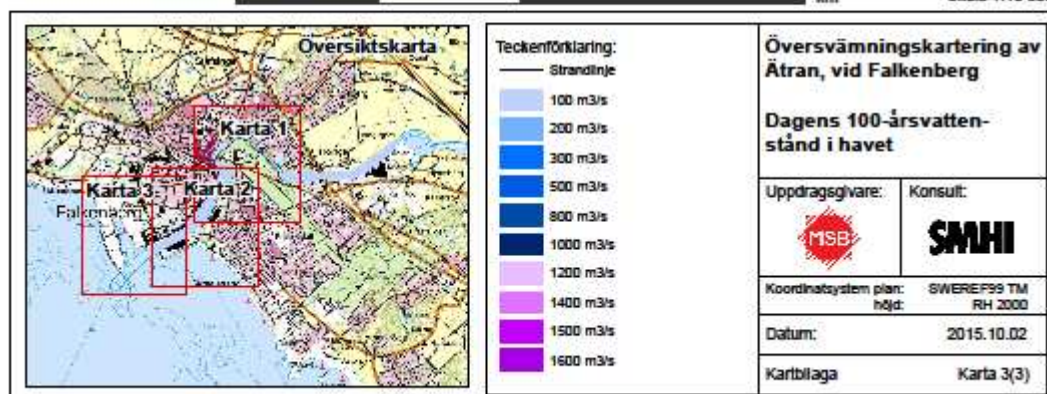
Bilaga 8a. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens 100-årsvattenstånd i havet. Karta 1.



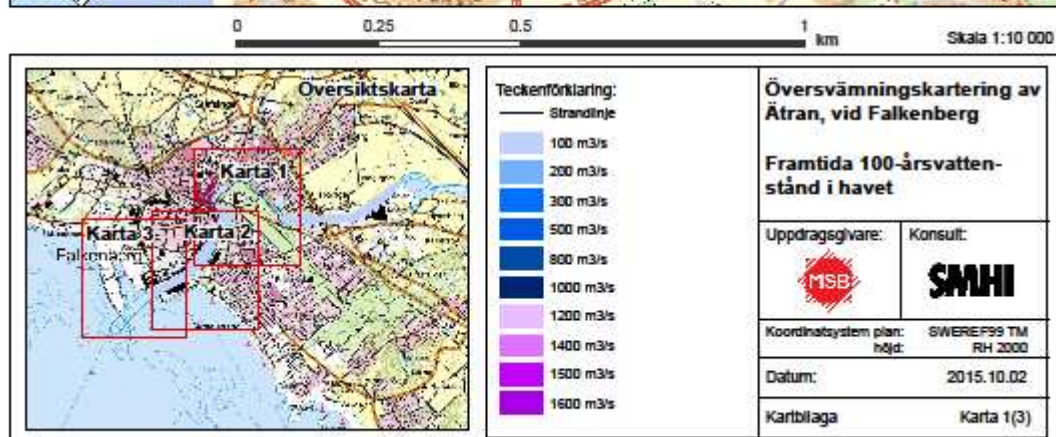
Bilaga 8b. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens 100-årsvattenstånd i havet. Karta 2.



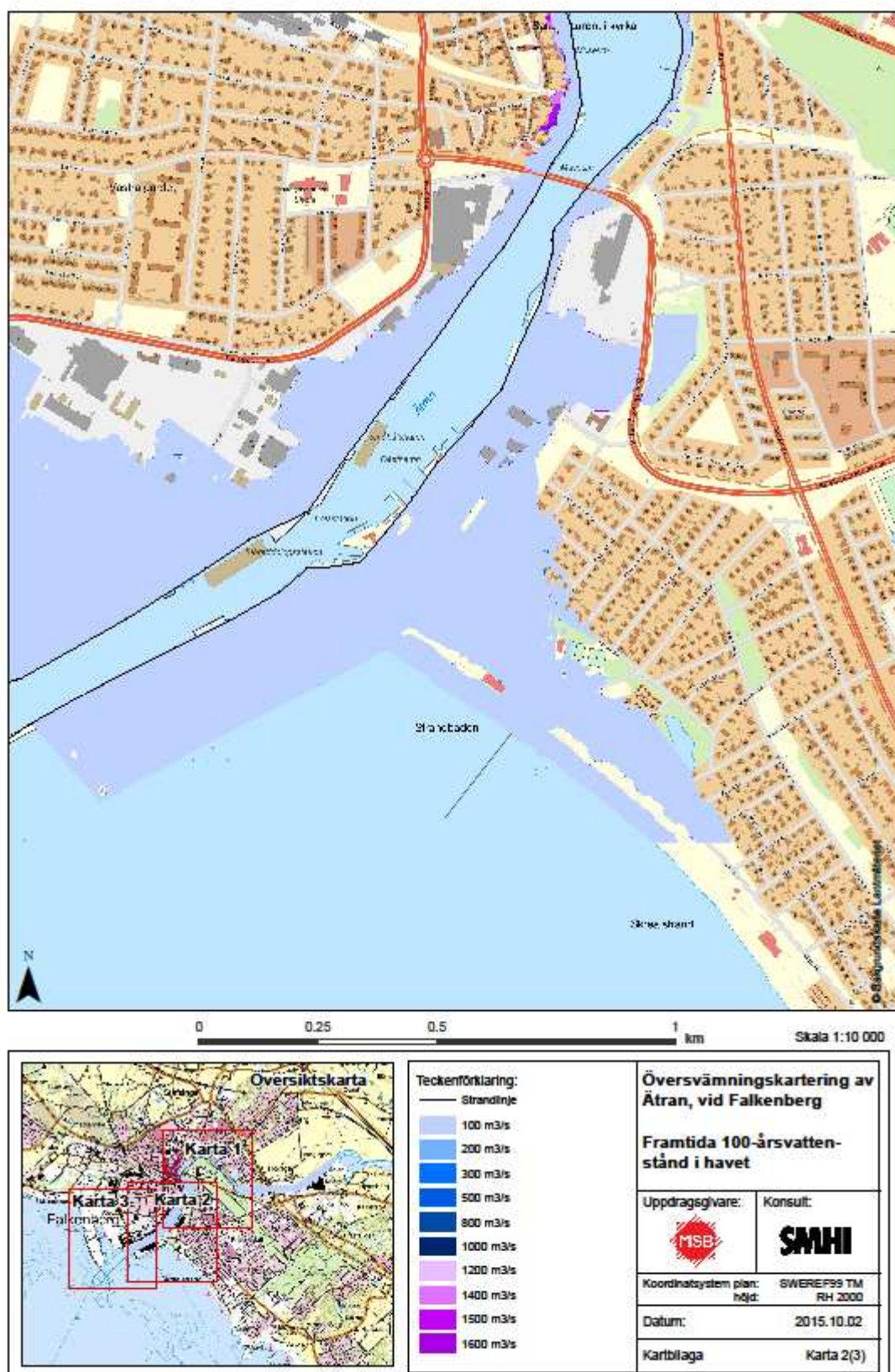
Bilaga 8c. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med dagens 100-årsvattenstånd i havet. Karta 3.



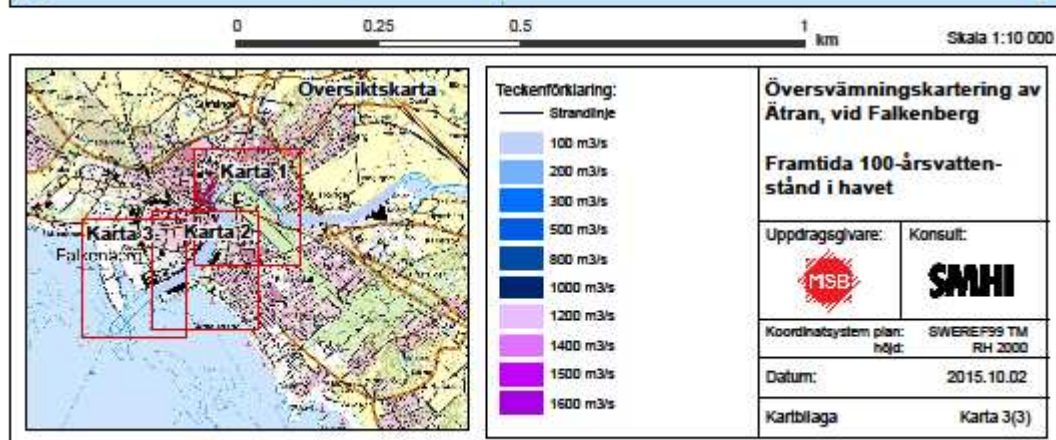
Bilaga 9a. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med beräknat 100-årsvattenstånd i havet vid slutet av seklet. Karta 1.



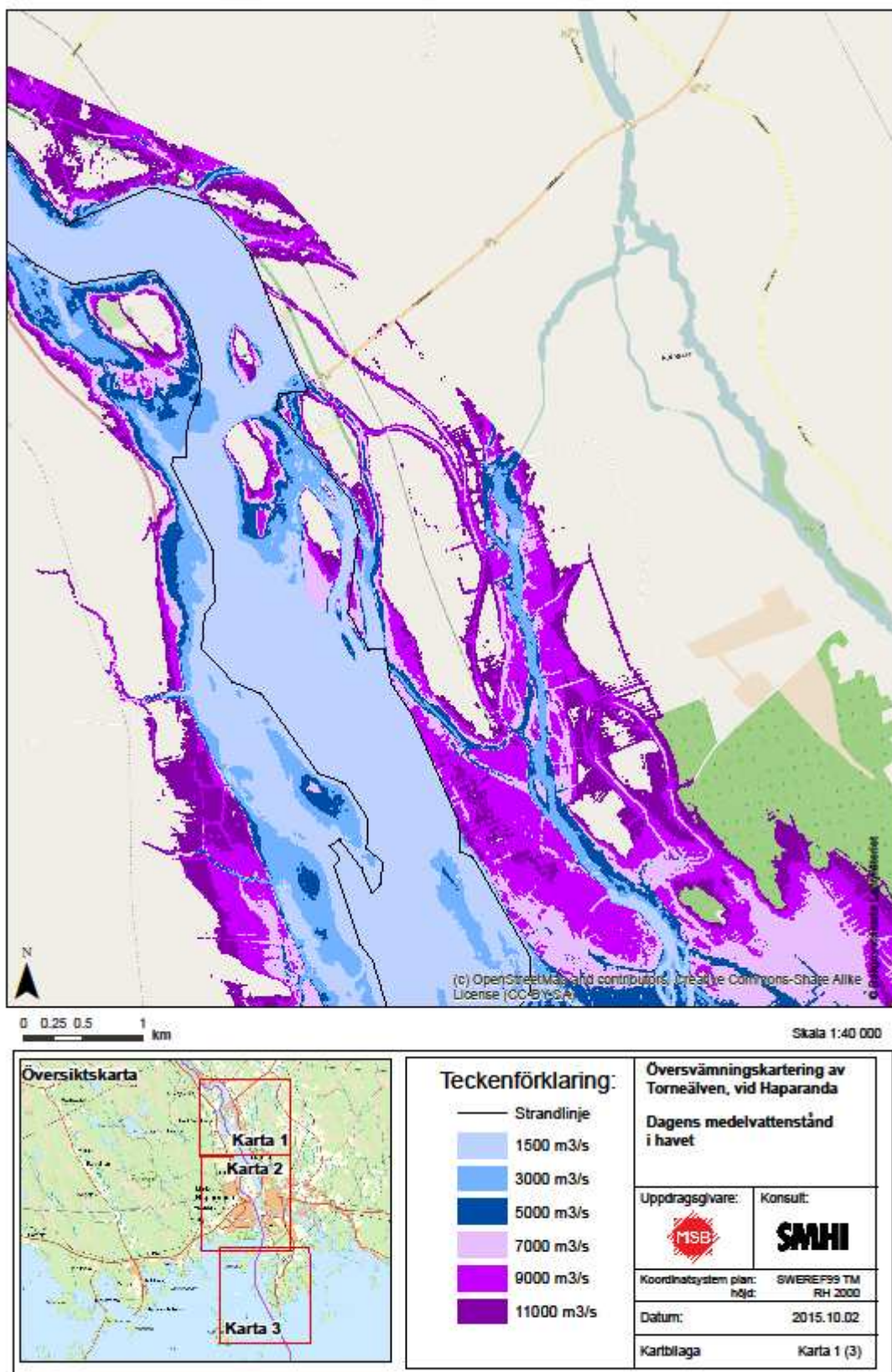
Bilaga 9b. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med beräknat 100-årsvattenstånd i havet vid slutet av seklet. Karta 2.



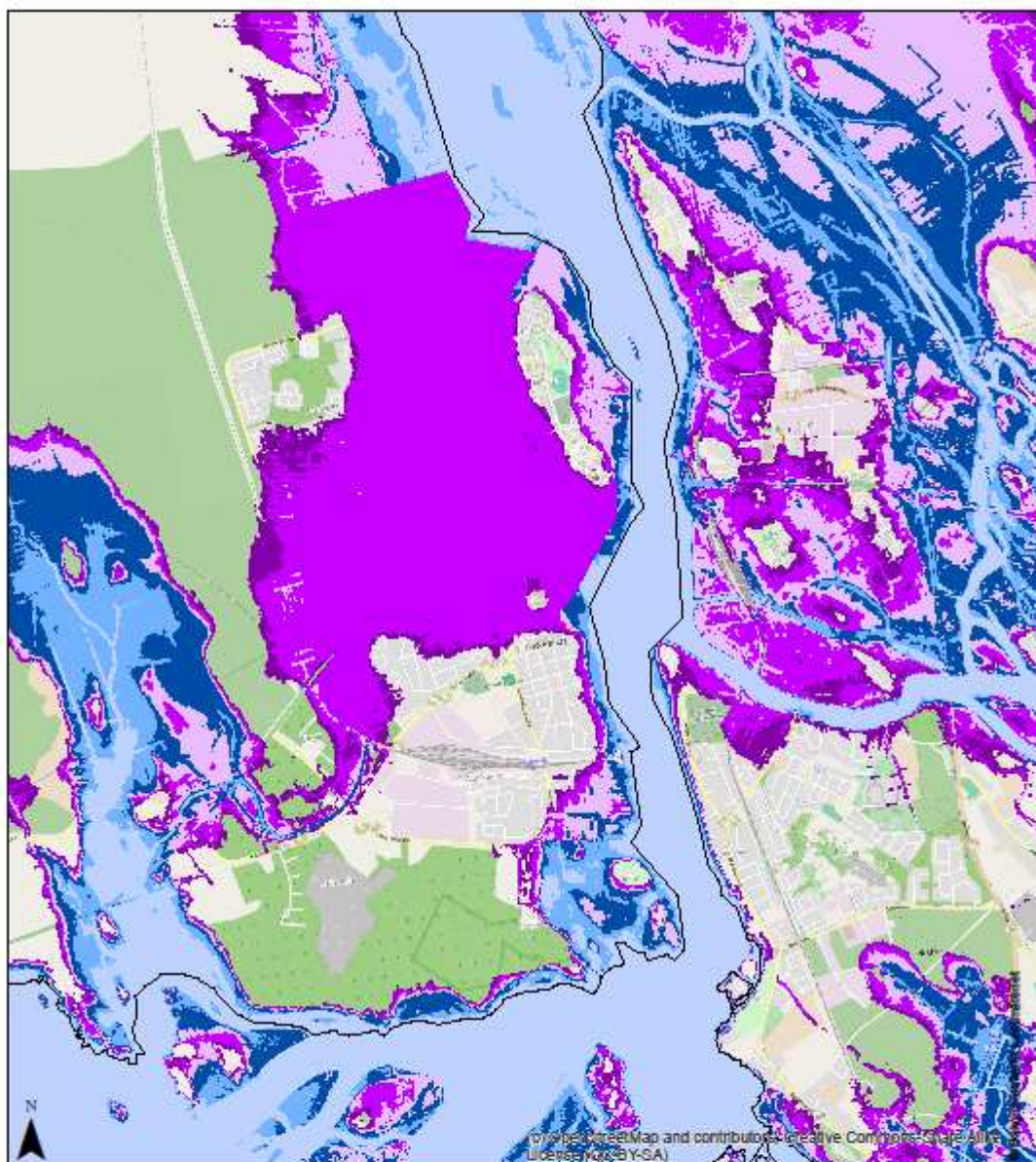
Bilaga 9c. Översvämningsskartering av Ätran vid Falkenberg med beräknat 100-årsvattenstånd i havet vid slutet av seklet. Karta 3.



Bilaga 10a. Översvämningsskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens medelvattenstånd i havet. Karta 1.



Bilaga 10b. Översvämningsskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens medelvattenstånd i havet. Karta 2.



0 0.25 0.5 1 km

Skala 1:40 000



Teckenförklaring:

- Strandlinje
- 1500 m³/s
- 3000 m³/s
- 5000 m³/s
- 7000 m³/s
- 9000 m³/s
- 11000 m³/s

Översvämningsskartering av Torneälven, vid Haparanda

Dagens medelvattenstånd i havet

Uppdragsgivare:



Konsult:

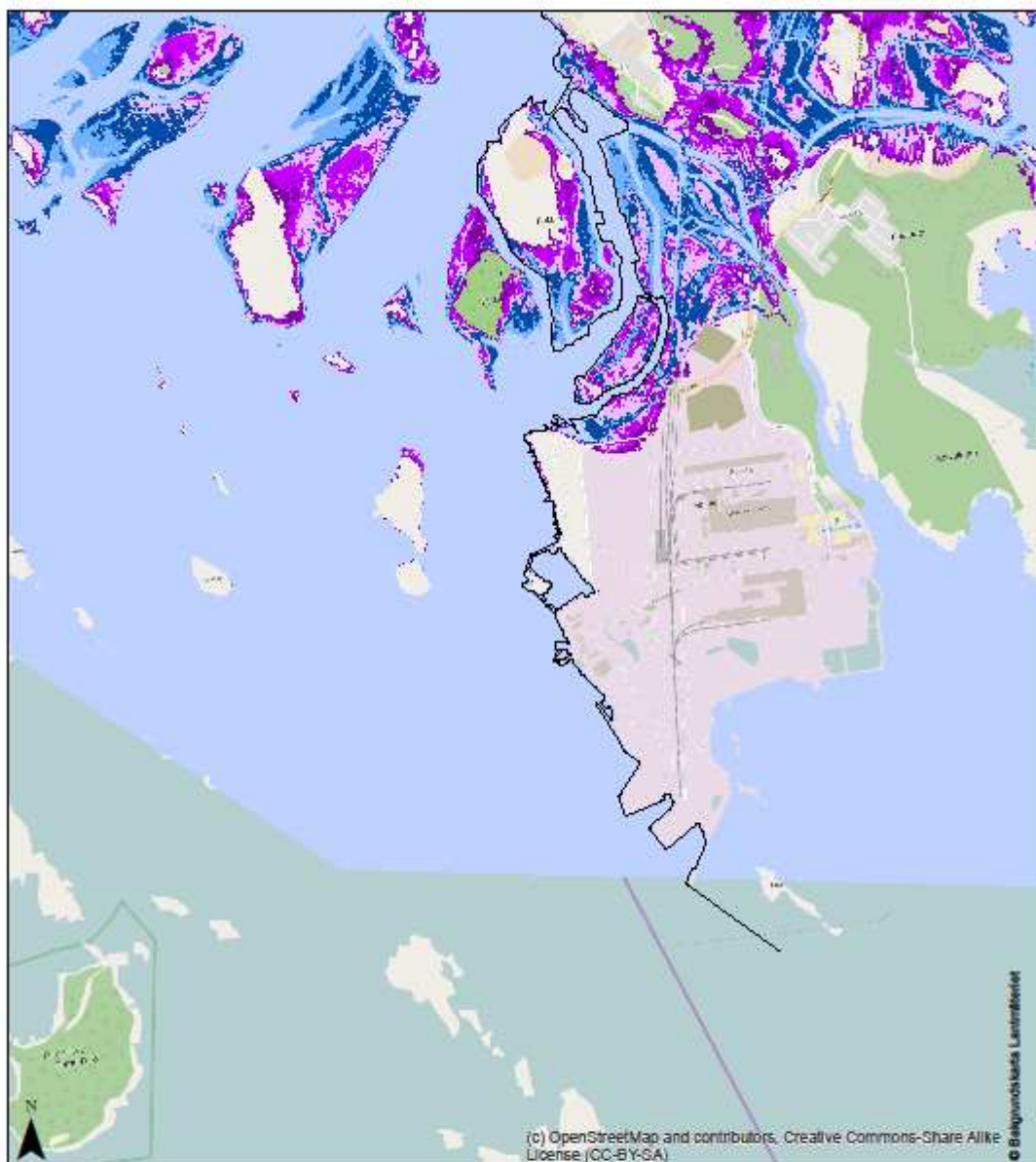


Koordinatsystem plan: SWEREF99 TM
höjd: RH 2000

Datum: 2015.10.02

Kartbllaga Karta 2 (3)

Bilaga 10c. Översvämningsskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens medelvattenstånd i havet. Karta 3.



0 0.25 0.5 1 km

Skala 1:40 000



Teckenförklaring:

- Strandlinje
- 1500 m³/s
- 3000 m³/s
- 5000 m³/s
- 7000 m³/s
- 9000 m³/s
- 11000 m³/s

Översvämningsskartering av Torneälven, vid Haparanda

Dagens medelvattenstånd i havet

Uppdragsgivare:



Konsult:

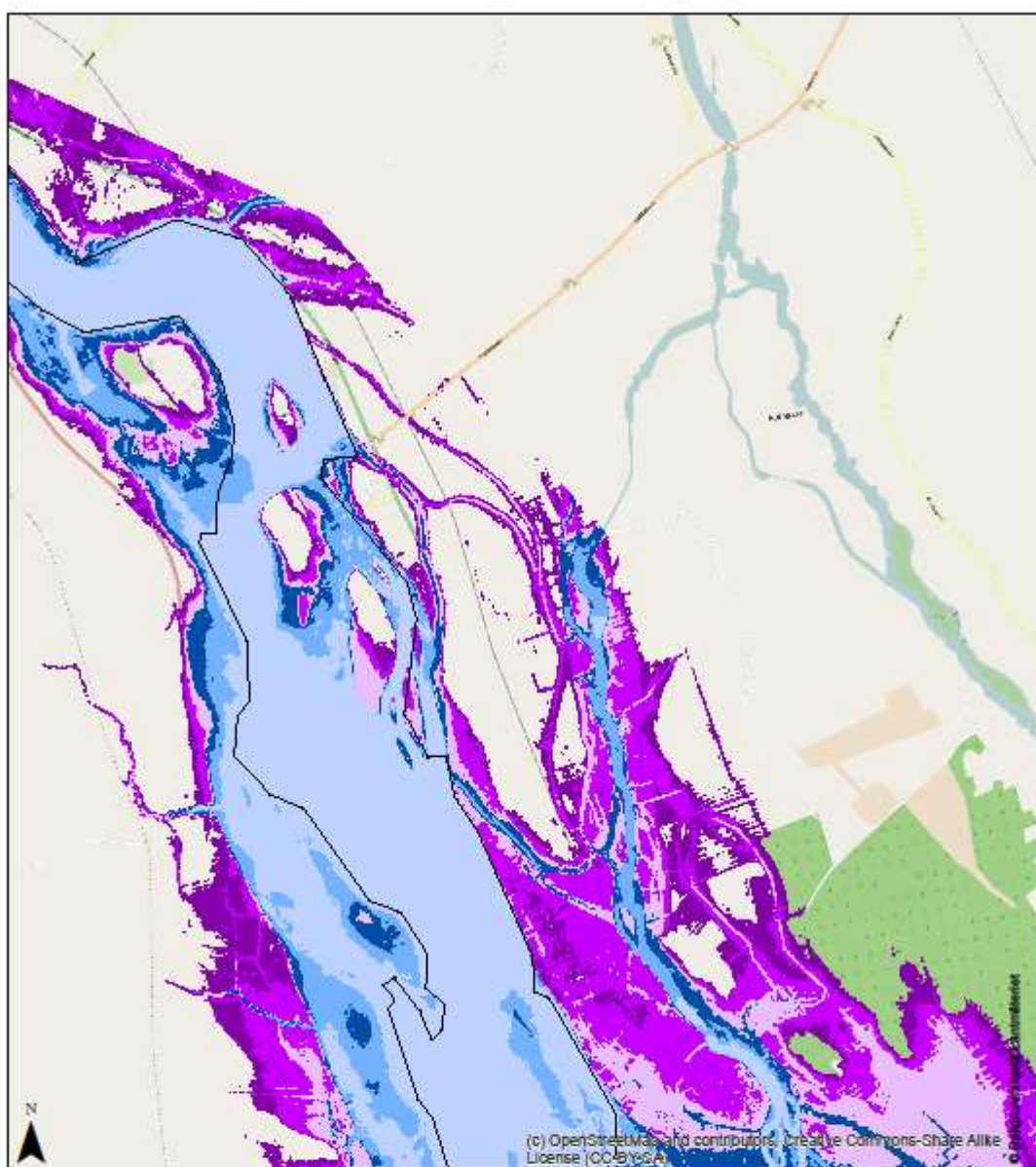


Koordinatsystem plan: SWEREF99 TM
höjd: RH 2000

Datum: 2015.10.02

Kartbilagor: Karta 3 (3)

Bilaga 11a. Översvämningsskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens 100-årsvattenstånd i havet. Karta 1.



0 0.25 0.5 1 km

Skala 1:40 000



Teckenförklaring:

- Strandlinje
- 1500 m³/s
- 3000 m³/s
- 5000 m³/s
- 7000 m³/s
- 9000 m³/s
- 11000 m³/s

Översvämningsskartering av Torneälven, vid Haparanda

Dagens 100-årsvattenstånd i havet

Uppdragsgivare:



Konsult:

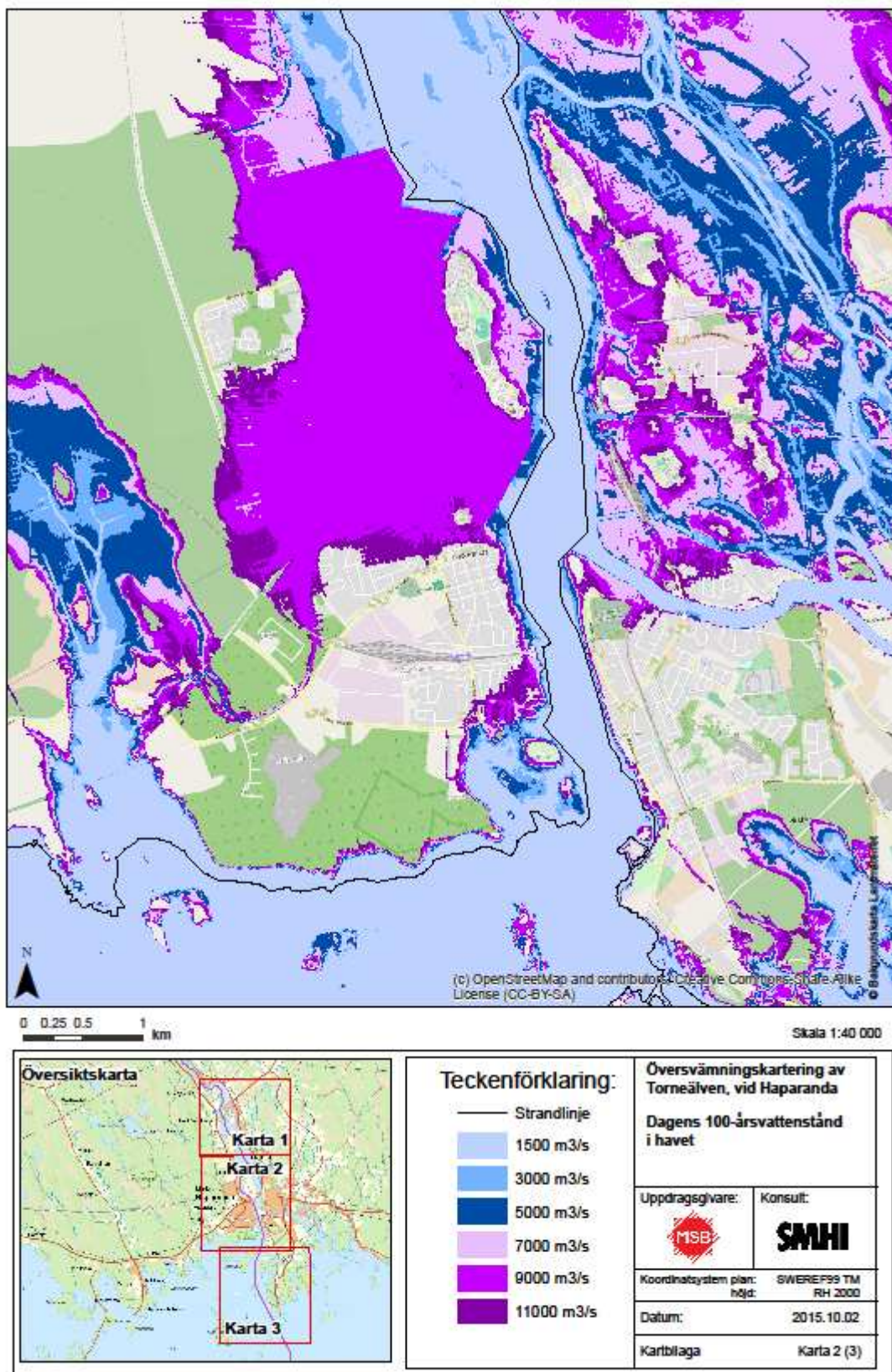


Koordinatsystem plan: SWEREF99 TM
höjd: RH 2000

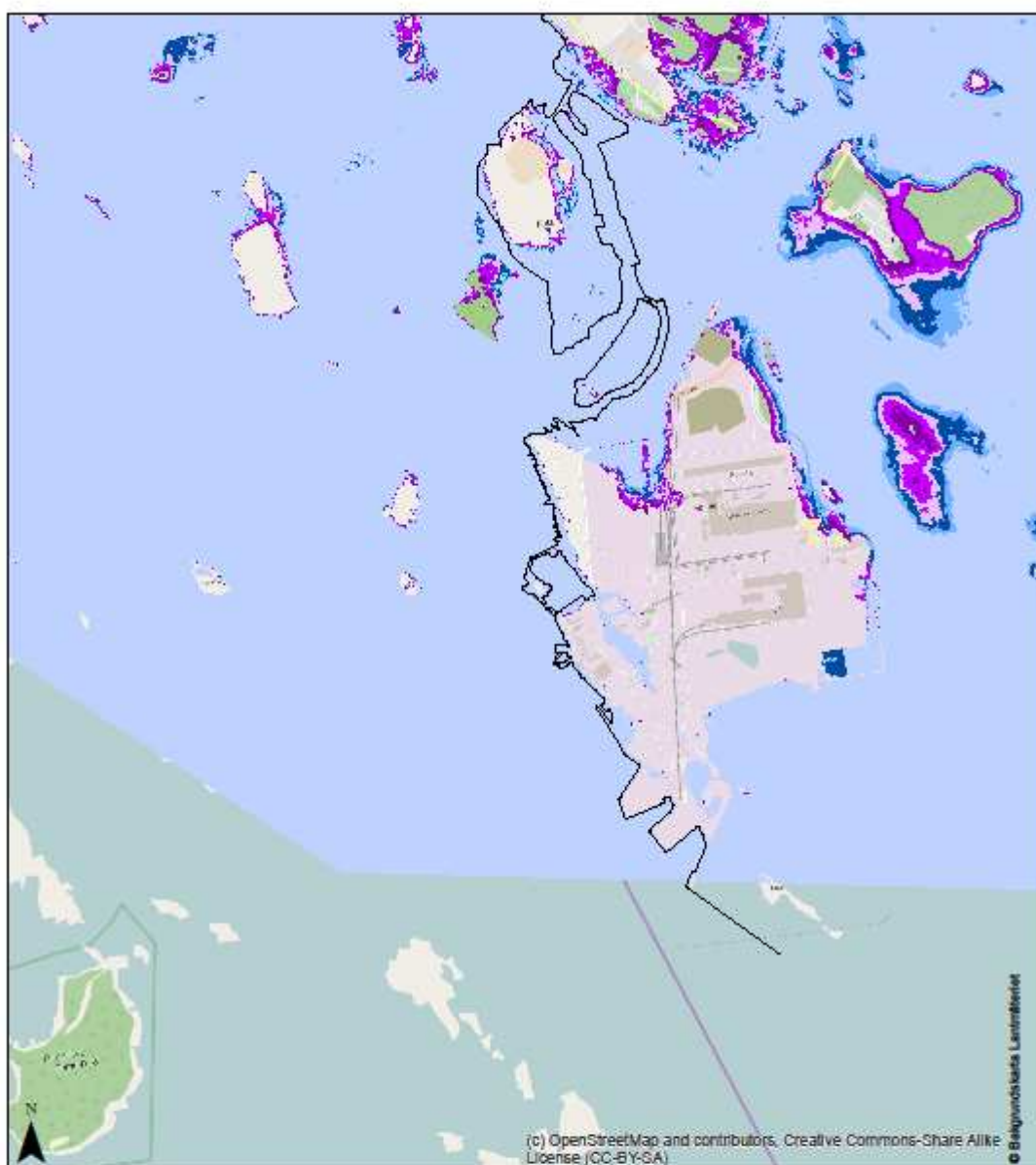
Datum: 2015.10.02

Kartbllaga Karta 1 (3)

Bilaga 11b. Översvämningskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens 100-årsvattenstånd i havet. Karta 2.



Bilaga 11c. Översvämningskartering av Torneälven vid Haparanda med dagens 100-årsvattenstånd i havet. Karta 3.



0 0.25 0.5 1 km

Skala 1:40 000



Teckenförklaring:

- Strandlinje
- 1500 m³/s
- 3000 m³/s
- 5000 m³/s
- 7000 m³/s
- 9000 m³/s
- 11000 m³/s

Översvämningskartering av Torneälven, vid Haparanda

Dagens 100-årsvattenstånd i havet

Uppdragsgivare:



Konsult:



Koordinatsystem plan: SWEREF99 TM
höjd: RH 2000

Datum: 2015.10.02

Kartbilagor: Karta 3 (3)

SMHIs publiceringar

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

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

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|---|--|
| <p>1 Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation</p> <p>2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete</p> <p>3 Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem</p> <p>4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter</p> <p>5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012</p> <p>6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige</p> | <p>7 FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)</p> <p>8 Att begränsa klimatförändringar (2014) (Ej publicerad)</p> <p>9. Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg. Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel
Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget</p> <p>10. Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)</p> <p>11. Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier</p> <p>12 Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelius (2015)
Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat</p> <p>13. Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen.</p> |
|---|--|

14. Anna Eklund (2015)
Sveriges framtida klimat. Underlag till
Dricksvattensutredningen.
15. Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson,
Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck,
Linda Nylén, Gitte Berglöv, Johanna
Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg,
Kristoffer Hallberg, Johan Södling,
Steve Berggreen-Clausen (2015)
Klimatscenarioer för Sverige -
Bearbetning av RCP-scenarioer för
meteorologiska och hydrologiska
effektstudier
16. Elin Sjökvist, Gunn Persson, Jenny
Axén Mårtensson, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv,
Emil Björck, Linda Nylén, Alexandra
Ohlsson och Håkan Persson (2015)
Framtidsklimat i Dalarnas län – enligt
RCP-scenarioer.
17. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv,
Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson,
Alexandra Ohlsson, Håkan Persson,
Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Värmlands län –
enligt RCP-scenarioer.
18. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv,
Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson,
Linda Nylén, Alexandra Ohlsson,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Örebro län – enligt
RCP-scenarioer.
19. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp,
Steve Berggreen-Clausen, Gitte
Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell,
Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västmanlands län –
enligt RCP-scenarioer.
20. Elin Sjökvist, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv,
Emil Björck, Anna Johnell, Jenny
Axén Mårtensson, Linda Nylén,
Alexandra Ohlsson, Håkan Persson
(2015) Framtidsklimat i Uppsala län –
enligt RCP-scenarioer.
21. Magnus Asp, Steve Berggreen-
Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck,
Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson,
Linda Nylén, Alexandra Ohlsson,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Stockholms län –
enligt RCP-scenarioer.
22. Magnus Asp, Steve Berggreen-
Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck,
Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson,
Linda Nylén, Alexandra Ohlsson,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Södermanlands län –
enligt RCP-scenarioer.
23. Magnus Asp, Steve Berggreen-
Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck,
Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson,
Linda Nylén, Alexandra Ohlsson,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Östergötlands län –
enligt RCP-scenarioer.
24. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Emil Björck,
Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén,
Alexandra Ohlsson, Håkan Persson,
Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västra Götalands län
– enligt RCP-scenarioer.
25. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp,
Steve Berggreen-Clausen, Gitte
Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell,
Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jönköpings län –
enligt RCP-scenarioer.
26. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv,
Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson,
Linda Nylén, Alexandra Ohlsson,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kalmar län – enligt
RCP-scenarioer.
27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Emil Björck,
Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén,
Alexandra Ohlsson, Håkan Persson,
Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kronobergs län –
Enligt RCP-scenarioer.
28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve
Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv,
Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson,
Linda Nylén, Alexandra Ohlsson,
Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Hallands län – enligt
RCP-scenarioer.

29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier.
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.
31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier.
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier.
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier.
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier.
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier.
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier.
37. Jonas Olsson, Weine Josefsson (red.) (2015)
Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI.

