



Remissutgåva

Västmanlands län

**Översiktlig klimat- och sårbarhets-
analys – Naturolyckor**



Länsstyrelsen
Västmanlands län



SMHI



Köping – Radhusbebyggelse längs Valstaån i Köping 2010
Foto: SGI

Datum: 2012-09-27

Uppdragsansvarig: Jan Fallsvik, SGI

Handläggare:

Stefan Falemo, SGI

Jan Fallsvik, SGI

Jim Hedfors, SGI

Ann-Christine Hågeryd, SGI

Granskning: Linda Blied, SGI

Diariernr: 2-1005-0372

Uppdragsnr: 14407

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	5
Geologi och topografi	5
Klimatförändringar, flöden och översvämningar i vattendrag	6
Erosion	7
Skred, ras och slamströmmar	7
Risker för bebyggelse och samhällsviktig verksamhet	8
Strategier och åtgärder för skydd mot naturolyckor.....	8
Rekommendationer för fysisk planering och befintlig bebyggd miljö	9
Kompletterande undersökningar	9
1 BAKGRUND OCH SYFTE	10
2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR	11
2.1 Metod för klimat- och sårbarhetsanalys	11
2.2 Klimat- och sårbarhetsanalys för Västmanlands län	11
2.3 Underlagsmaterial	11
2.4 Redovisning av resultat.....	12
3 GEOLOGISK / GEOTEKNISK ÖVERSIKT	13
4 EROSION LÄNGS SJÖAR OCH VATTENDRAG SAMT RAVINBILDNING	16
4.1 Översiktlig inventering av förutsättningar för erosion	16
4.2 Erosionsförutsättningar	17
4.2.1 Erosionsförutsättningar längs Hjälmarens stränder.....	17
4.2.2 Erosionsförutsättningar längs Mälarens stränder.....	18
4.2.3 Erosion längs vattendrag.....	19
4.2.4 Ravinbildning i silt-, sand- och lerjord.....	21
4.3 Ravinbildning i morän	22
4.4 Konsekvenser av klimatförändringar	22
4.4.1 Erosion utmed Hjälmarens och Mälarens stränder	22
4.4.2 Erosion längs vattendrag.....	23
4.4.3 Ravinutveckling	23
5 ÖVERSVÄMNINGSFÖRHÅLLANDEN I MÄLAREN	24
5.1 Normala vattenstånd.....	24
5.2 Höga vattenstånd	24
5.2.1 Vindpåverkan	25
5.3 Vattennivå vid extrema händelser	26
6 SKRED, RAS OCH SLAMSTRÖMMAR	28
6.1 Översiktlig beskrivning av förutsättningar	28
6.2 Inventering av förutsättningar för skred och ras i ler- silt och sandslänter	32
6.2.1 Länstäckande översiktlig analys av förutsättningarna för skred	32
6.2.2 Tidigare stabilitetskarterade delar av Västmanlands län	33
7 KONSEKVENSER AV KLIMATFÖRÄNDRINGAR	34
7.1 Områden med förutsättningar för erosion, skred och ras.....	34
7.1.1 Förändringar i säkerhetsnivå.....	34
7.1.2 Ändrade förhållanden på grund av förändring av klimatet	35
7.2 Områden med förutsättningar för moränskred och slamströmmar	37
7.2.1 Klimatförändringens inverkan	38
8 RISKER FÖR BEBYGGELSE OCH SAMHÄLLSVIKTIG VERKSAMHET	39
8.1 Risker för naturolyckor.....	39
8.1.1 Översiktliga karteringar	40
8.2 Bebyggelse	41
8.3 Förorenade områden	42
8.3.1 Inventeringsresultat	43
8.3.2 Naturolyckors påverkan på förorenings-spridning	43
8.4 Miljöfarlig verksamhet och riskobjekt	43

8.4.1	Bakgrund.....	43
8.4.2	Miljöfarlig verksamhet.....	44
8.4.3	Riskobjekt.....	44
8.5	Vägar och järnvägar.....	45
8.5.1	Risakanalyser för vägar.....	45
8.5.2	Bedömning av risker längs järnvägar.....	46
8.6	Hamnar.....	47
8.7	Flygplatser samt mindre flygfält.....	47
8.8	Dammar.....	49
8.9	Vattenskyddsområden.....	50
9	STRATEGIER OCH ALTERNATIVA UTFÖRANDE FÖR SKYDD MOT NATUROLYCKOR.....	51
9.1	Strategier för markanvändning.....	51
9.2	Förebyggande åtgärder mot naturolyckor.....	52
9.3	Skötselplaner / slänt- och skogsvård.....	52
9.3.1	Diken, dränering, vägar, gator etc. i slänter.....	52
9.3.2	Skogsbevuxna slänter med jordlager.....	53
10	REKOMMENDATIONER FÖR FYSISK PLANERING OCH KLIMATANPASSNING.....	55
10.1	Exploateringsområden.....	55
10.2	Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö.....	55
10.3	Förorenad mark, miljöfarlig verksamhet och riskobjekt.....	55
10.4	Dammar.....	55
10.5	Översvämning.....	56
10.6	Erosion.....	56
10.7	Ras, skred och slamströmmar.....	56
11	BEHOV AV KOMPLETTERANDE UTREDNINGAR.....	57
11.1	Översvämning.....	57
11.2	Erosion.....	57
11.3	Ras och skred.....	57
11.4	Förorenad mark, miljöfarlig verksamhet och riskobjekt.....	57
11.5	Dammar.....	58
	REFERENSER.....	59
BILAGA 1	KLIMATANALYS FÖR VÄSTMANLANDS LÄN	
BILAGA 2	FÖRTECKNING ÖVER POTENTIELLA RISKOMRÅDEN VID FÖRORENADE OMRÅDEN, MILJÖFARLIG VERKSAMHET OCH RISKOBJEKT	
BILAGA 3	DIGITAL LEVERANS AV GIS-SKIKT	
BILAGA 4	FÖRTECKNING ÖVER VATTENTÅKTER INOM OMRÅDEN MED FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR NATUROLYCKOR	
BILAGA 5	FÖRTECKNING ÖVER EXPLOATERINGS- OCH UTREDNINGSSOMRÅDEN INOM OMRÅDEN MED FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR NATUROLYCKOR	
	KARTREDOVISNING, KARTA 1 OCH 2, A-G	

Denna rapport och tillhörande kartor i avsedd skala finns tillgängliga som pdf-filer på länsstyrelsens hemsida.

SAMMANFATTNING

Länsstyrelsen Västmanlands län har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att identifiera områden i länet där klimatförändringar kan komma att medföra ökade risker för naturolyckor. Utredningen baseras bland annat på en utredning som utförs parallellt av SMHI, "Klimatanalys för Västmanlands län", SMHI (2012).

Områden i Västmanlands län har översiktligt identifierats där det finns förutsättningar för erosion, skred, ras, slamströmmar och översvämning som kan medföra skador på bebyggelse och infrastruktur och påverka områden med miljöfarlig verksamhet och förorenad jord. Analys av framtida klimat i länet avseende nederbörd, temperatur, och flöden har utförts parallellt av SMHI. Utredningen är avsedd att användas som ett underlag för länsstyrelsens regionala klimatanpassningsarbete och vid arbete med kommunernas risk- och sårbarhetsanalyser och fysiska planering. Utredningen är inte avsedd att beskriva behov av och förslag till specifika skydds- och anpassningsåtgärder till följd av potentiella risker för naturolyckor.

Denna utredning är översiktlig, och för att närmare klargöra åtgärdsbehovet inom områden med risk för naturolyckor bör mer detaljerade undersökningar genomföras. Utredningen är avsedd att användas som ett underlag för länsstyrelsens arbete med regional klimatanpassning respektive för kommunernas risk- och sårbarhetsanalyser och fysiska planering. Utredningen är inte avsedd att beskriva behov av och förslag till skydds- och anpassningsåtgärder till följd av potentiella risker för naturolyckor.

Geologi och topografi

Västmanland delas traditionellt in i Bergslagen och Mälardalen, som är en del av det mellansvenska låglandet. Vid inlandsisens avsmältning låg i stort sett hela Västmanlands län under havets yta. Det var endast delar av Bergslagen i den nordvästra delen av länet som låg ovanför havets yta. Detta område utgör gränsen till den s k Norrlandsterrängen. Landskapet är här storkuperat och utgörs av en s.k. bergkulleterräng där höjdskillnaderna ofta överskrider 100 m.

Jordmäktigheten är generellt liten, mindre än 5 m, men kan variera. Större jorddjup, mer än 10 m, förekommer främst längs rullstensåsarna. Moränen inom länet är varierande – allt ifrån sandig, grusig till lerig-sandig. Myrmarker förekommer rikligt inom moränområdena i de norra delarna av länet.

Isälvsedimenten domineras av sand och grus och har avlagrats i form av åsar och deltan. Flera stora rullstensåsar sträcker sig genom landskapet i nord-sydlig riktning.

Moränen och rullstensåsarna är delvis täckta av yngre finsediment. På höjder och sluttningar belägna under högsta kustlinjen (se nedan) har moränen delvis ofta omlagrats av vågorna till svallgrus och svallsand.

Söder och öster om gränslinjen till Norrlandsterrängen börjar den s k Mellansvenska låglandet i vilket Mälardalen ingår. Inom detta område är höjddpartierna i allmänhet inte högre än 100 m ö h. Här utbreder sig stora slättnområden. Jordtäcket på slätterna och i dalstråken består till största delen av finsediment, som i större dalstråk och lågpartier

kan ha en mäktighet av upp mot 20 m. Höjdskillnaderna inom detta område är oftast mindre än 25 m.

Efter isavsmältningen avsattes sediment i vikar och lugnare vatten i form av lera och silt samt gyttjelera.

Utefter de flesta såväl större som mindre vattendrag förekommer älv- och svämsediment, och dessa avsätts än i dag. De utgörs av omväxlande skikt av lera, silt och sand. Även skikt av organisk jord förekommer i sedimenten.

De större vattendragen i Västmanland har sina källflöden i Dalarna eller i gränstrakterna mot detta landskap. Exempel på stora vattendrag är Hedströmmen, Kolbäcksån, Svåtån och Sagån, som mynnar i Mälaren.

Klimatförändringar, flöden och översvämningar i vattendrag

(Sammanfattning hämtad från SMHI:s utredning som har utförts parallellt i detta uppdrag, Bilaga 1)

SMHI har utfört en regional klimatanalys för perioden fram till slutet av detta sekel för Västmanlands län. Syftet var att klargöra konsekvenserna av ett förändrat klimat, speciellt med avseende på temperatur, nederbörd och vattenföringsdynamik utgående från ett underlag baserat på de senast tillgängliga klimatscenerierna. Arbetet grundar sig på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenerier från den internationella klimatiforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal klimatscenerier utnyttjats. Detta urval är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007.

Rapporten har utarbetats vid SMHIs avdelning Miljö & Säkerhet. Klimatforskningen kommer ständigt med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare, vilket läsaren bör vara medveten om. Följande resultat framgår av klimatanalyserna i denna rapport:

- Klimatberäkningarna visar en successiv och tydlig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Temperaturuppgången är mest framträdande för vintern.
- Det regionala temperaturmönstret över länet, med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare på de mer höglänta områdena, kvarstår även i framtiden.
- Årsmedelnederbörden ökar med ca 20% till seklets slut. Den tydligaste nederbördsökningen ses för vintern. Liksom i dagens klimat kommer störst nederbördsmängder att falla i nordväst och mindre mängder i områdena runt Mälaren. De kraftiga regnen beräknas öka.
- Vattenföringens variation under året förändras mot högre höst-vinterflöden och lägre vårfloed. Lågvattenperioden blir längre och med lägre flöden.

- Det beräknade framtida 100-årsflödet ser ut att minska något under seklet för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksåån, Sagån och Köpingsån i jämförelse med referensperioden 1963-1992. Svartåns 100-årsflöde ser ut att bli i stort sett oförändrad under stora delar av seklet.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras.

Erosion

Områden med förutsättningar för erosion längs Hjälmarens stränder finns inom Arboga kommun. Områden med förutsättningar för erosion längs Mälarens stränder finns inom Kungsörs, Köpings och Hallstahammars kommun samt Västerås stad.

Förutsättningar för erosion längs vattendrag finns utmed sträckor av samtliga av länets större vattendrag. Klimatscenerierna visar på ökad årsmedelvattenföring under detta sekel. Flödena kommer också att förändras mellan olika årstider. Vårfloderna väntas dock bli något mindre. Detta sammanvägt ger att förändringen av erosionsintensiteten inte är entydig

I Västmanlands län förekommer raviner längs såväl större som mindre vattendrag. Eftersom raviner kan utvidgas kan bebyggelse på relativt stora avstånd hotas.

Skred, ras och slamströmmar

Skred och ras är exempel på snabba rörelser i jord eller berg som kan orsaka stora skador. I denna utredning redovisas områden med förutsättningar för skred och ras enligt en GIS-baserad översiktlig inventering som har gjorts i detta uppdrag, en äldre översiktlig stabilitetskartering utförd av Länsstyrelsen samt en översiktlig stabilitetskartering utförd av Köpings kommun.

Förutsättningar för skred och ras finns i områden med jordlager av silt och lera som har störst utsträckning i låglänta områden och i anslutning till vattendrag samt utmed Mälaren. För dessa områden behöver mer detaljerade utredningar genomföras. Instabila förhållanden råder främst längs slänter mot vattendrag och sjöar där jordlagren kan utgöras av lös lera eller siltig lera.

Enligt klimatanalysen, SMHI (2012), Bilaga 1, väntas nederbörden att öka under det kommande seklet. Vidare visar klimatanalysen på ökad årsmedelvattenföring under detta sekel. Flödena kommer dock också att förändras mellan olika årstider. Vårfloderna väntas bli något mindre. Detta sammanvägt ger att förändringen av erosionsintensiteten inte är entydig, men ökad nederbörd medför ökad yt- och grundvattenarinning lokalt vilket ger förhöjda grundvattennivåer och vattentrycki jordens poere (portryck). Detta sammanvägt ökar riskerna för ras och skred inom områden som har förutsättningar för skred. Det innebär också att det inom ytterligare områden kan komma att finnas slänter som inte har erforderlig stabilitet.

Förändrade nederbördsförhållanden kommer således att påverka yt- och grundvattennivåer, portryck i marken. Detta betyder att områden som idag anses vara stabila, utifrån de rekommendationer som finns, kan behöva åtgärdas om samma säkerhetsnivå ska gälla.

MSB har inte utfört översiktliga karteringar av riskerna för moränskred och slamströmmar i Västmanlands län. Förutsättningar finns dock för slamströmmar i stora delar av länet. Benägenheten för slamströmmar väntas öka på grund av förväntat ökad omfattning av intensiv nederbörd sommartid.

Risker för bebyggelse och samhällsviktig verksamhet

Denna utredning har syftat till att översiktligt klargöra vilka områden som kan påverkas av naturolyckor med hänsyn tagen till framtida klimatförändringar. Det finns förutsättningar för naturolyckor (erosion, skred, ras och slamströmmar) på flera platser i länet vid dagens förhållanden och i ökad utsträckning vid klimatförändringar.

Bebyggelse och infrastruktur samt områden med miljöfarlig verksamhet och förorenad jord respektive förutsättningar för naturolyckor har med GIS-teknik sammanställts på kartor för olika delar av länet samt för hela länet. Objekt inom område med förutsättningar för naturolyckor redovisas i Karta 1 och 2, A-G, och summeras i Bilaga 2. Övriga objekt finns dock levererade med GIS-databasen. Övriga objekt finns dock levererade med GIS-databasen. Det framgår att känsliga områden är främst lokaliserade till tätorter och längs vattendragen, i huvudsak beroende på förekomst av bebyggelse, infrastruktur och olika typer av verksamhet.

Strategier och åtgärder för skydd mot naturolyckor

Med hänsyn till klimatförändringar bör man tillämpa en strategi som präglas av ökade säkerhetsmarginaler vid långsiktig fysisk planering. Det innebär att säkerställa tillräckligt avstånd i både plan och höjd för att kunna klara en ökad fara för t.ex. översvämning eller erosion.

Det är också viktigt att ge förutsättningar för en flexibel markanvändning, exempelvis genom att ha utrymme och möjlighet att vidta åtgärder för framtida klimatförändringar. Det kan exempelvis innebära att det finns plats för en skyddsvall eller avschaktning av en slänt med otillfredsställande stabilitet. För att undvika skador till följd av översvämning, erosion, skred, ras och slamströmmar finns ett antal alternativa strategier som kan väljas, både för befintlig bebyggd miljö och för ny bebyggelse.

Det handlar om att utifrån en bedömd riskbild och befintliga värden som kan behöva skyddas att välja det samhällsekonomiskt mest lämpliga alternativet. Den strategi som väljs innebär olika konsekvenser för människa och miljö samt leder till kostnader för såväl kommunen som enskilda. Här finns också möjlighet att antingen välja att permanent utföra åtgärder som ger tillfredsställande säkerhet eller att ha beredskap för att skydda mot eventuella naturolyckor.

Rekommendationer för fysisk planering och befintlig bebyggd miljö

För att skydda samhället är det nödvändigt att arbeta förebyggande genom att identifiera risker och vidta åtgärder för att skydda utsatta områden men även att vara mer observant vid planering av framtida utbyggnadsområden. En generell rekommendation är att utreda de områden som idag har låg säkerhet mot naturolyckor för att värdera om de förväntade ändringarna av klimatet påverkar situationen negativt.

För exploateringsområden är det viktigt att pröva markens lämplighet för avsett planändamål med hänsyn till risker för skred, ras, erosion, slamströmmar och översvämning. De förväntade effekterna av ett förändrat klimat under denna tidsperiod måste då beaktas. Klimatanpassning av områden med bebyggelse, infrastrukturåtgärder etc. kan innebära att åtgärder måste vidtas för att hindra skador till följd av naturolyckor. I denna utredning har översiktligt redovisats var sådana områden finns inom länet. För dessa områden kan risker behöva undersökas närmare genom detaljerade utredningar av geotekniska, topografiska och hydrologiska förhållanden.

Markanvändningen inom områden med förorenad mark och miljöfarlig verksamhet bör föregås av en översiktlig utredning för bedömning av risker. Hänsyn bör tas till framtida flöden och vattennivåer som kan förväntas till följd av klimatförändringar och de följd-effekter (ras, skred, erosion, slamströmmar och översvämning) som redovisas i denna utredning.

För att kunna vidta åtgärder som ger tillfredsställande dammsäkerhet krävs uppgifter om de hydrologiska konsekvenserna av förändrat klimat. Osäkerheter kring det framtida klimatet får inte hindra att nödvändiga dammsäkerhetshöjande åtgärder vidtas. Arbete pågår på nationell nivå med att utarbeta en vägledning för hur framtida flöden ska beräknas för dammar för att ta hänsyn till effekterna av ett förändrat klimat.

Kompletterande undersökningar

Utredningen har varit av översiktlig karaktär och för att närmare klargöra risker inom identifierade områden kan mer detaljerade utredningar behöva genomföras som underlag för fysisk planering och anpassningsåtgärder för befintlig bebyggd miljö.

1 BAKGRUND OCH SYFTE

I samband med arbetet med att samordna den regionala anpassningen till förväntade framtida klimatförändringar i Västmanlands län finns behov av att klargöra vilka risker som finns med väntade klimatförändringar. En av aktiviteterna är att identifiera områden i länet där klimatförändringar kan komma att medföra ökade risker för naturolyckor. Länsstyrelsen i Västmanlands län har gett Statens geotekniska institut (SGI) och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) i uppdrag att genomföra en sådan inventering. Uppdraget har avgränsats till att omfatta områden med förutsättningar för naturolyckor av typen skred, ras, slamströmmar, erosion och översvämning. Utredningen har genomförts i samarbete mellan Länsstyrelsen, SGI och SMHI, varvid SGI översiktligt har sammanställt riskområden och riskobjekt och SMHI har utfört en regional klimatsammanställning för Västmanlands län.

Sammanställningen redovisar en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i länet såväl under dagens klimatförhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på sammanställningar av information och topografiska data som SGI erhållit från länsstyrelsen samt observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser tidsperioden fram till år 2100.

Med utgångspunkt från befintliga uppgifter har områden i Västmanlands län identifierats där det finns förutsättningar för skred, ras, erosion och översvämning (samt slamströmmar i en begränsad del av länet), som kan medföra skador på befintlig bebyggelse och infrastruktur samt påverka områden med miljöfarlig verksamhet och förorenad jord. Resultaten avses användas för fortsatta arbete med klimatanpassning i länets kommuner.

Denna utredning är översiktlig och för att närmare klargöra åtgärdsbehovet inom områden med risk för naturolyckor bör mer detaljerade undersökningar genomföras. Utredningen är avsedd att användas som ett underlag för länsstyrelsens arbete med regional klimatanpassning respektive för kommunernas risk- och sårbarhetsanalyser och fysiska planering. Utredningen är inte avsedd att beskriva behov av och förslag till skydds- och anpassningsåtgärder till följd av potentiella risker för naturolyckor.

2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR

2.1 Metod för klimat- och sårbarhetsanalys

I utredningen har använts den metod som SGI har utvecklat för klimat- och sårbarhetsanalyser och som utgår från en värdering dels av förutsättningarna för ny exploatering, dels anpassningsbehov för befintlig bebyggd miljö till följd av klimatförändringar. Detaljeringsgraden i analysen anpassas till aktuell planeringsnivå, vilket även gäller omfattningen av underlagsmaterial. För Västmanlands län har analysen omfattat att översiktligt klargöra sådana förhållanden och områden där det kan finnas risk för översvämning, erosion av stränder vid kuster och vattendrag samt skred, ras och slamströmmar i dagens klimat och vid framtida klimatförändringar.

Denna utredning redovisar översiktligt förutsättningar och bedömda risker för naturolyckor i Västmanlands län. Redovisningen avser att ge en bild över var det kan finnas riskområden som närmare behöver analyseras.

2.2 Klimat- och sårbarhetsanalys för Västmanlands län

Utredningen har omfattat:

- Översiktlig beskrivning av geologiska och topografiska förhållanden i Västmanlands län.
- Förväntade klimatförändringar i länet med avseende på temperatur, nederbörd, snö och is, avrinning och vindförhållanden.
- Översiktlig bedömning av förändrade höga flöden för större vattendrag i länet och förändrad säsongsvariation av flöden till följd av klimatförändringar.
- Översiktlig bedömning av ras-, skred- och erosionsrisker inom bebyggda och planerade områden.
- Med utgångspunkt från risker för naturolyckor har identifierats bebyggelse, transportinfrastruktur, vattenkraftsdammar, miljöfarlig verksamhet och förorenade markområden som kan vara i riskzonen för översvämning, ras, skred och erosion.
- Strategier och rekommendationer för anpassning till förändrat klimat för befintlig bebyggd miljö och vid fysisk planering.

Resultaten redovisas i denna rapport inklusive GIS-producerade kartor över länet, Karta 1 och 2, A-G, med identifierade riskområden, principförslag till åtgärder för att minska och förebygga risker och skador i riskutsatta områden samt förutsättningar för den fysiska planeringen.

2.3 Underlagsmaterial

Utredningen har baserats på sammanställning och värdering av befintligt material med uppgifter om förutsättningar för naturolyckor som finns hos länsstyrelsen, SGI, SMHI och andra myndigheter, t.ex. skredriskinventering, översvämningsskartering, geologiskt och topografiskt kartmaterial.

Klimatförändringar för Västmanlands län beskrivs av SMHI (2012) utifrån beräkningar baserade på regionala klimatscenarier, se Bilaga 1.

Sårbarhetsanalysen har baserats på sammanställning och värdering av befintligt material med uppgifter om förutsättningar för naturolyckor. En del av underlagsmaterialet har tillhandahållits av SGI och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB, tidigare Räddningsverket) exempelvis översiktlig inventering av förutsättningar för erosion och översvänningskartering längs vattendrag. Geologiskt och topografiskt kartmaterial samt analogo och digitala jordartskartor har hämtats från SGU. Länsstyrelsen i Västmanlands län har tillhandahållit Lantmäteriets Nya Nationella höjdmodell (NNH-data), terräng- och översiktskarta. Länsstyrelsen har vidare tillhandahållit information om inom länet belägna dammar, riskobjekt och vattenskyddsområden.

Underlagsmaterial, kontakter och referenser som använts i utredningen framgår av referenslistan i slutet av rapporten. Det bör observeras att underlagsmaterialet har varierande detaljeringsgrad.

2.4 Redovisning av resultat

Resultaten av utredningen redovisas som beskrivande text i rapportform och tillhörande kartor:

- Översiktskarta Karta 1 i skala 1:250 000 i format A2, samt
- Karta 2, A-G, utförda i skalorna 1: 50 000 och avsedda för utskrift i format A1.

SMHI:s klimatanalys, SMHI (2012), redovisas i Bilaga 1.

Redovisade områden och förhållanden på tillhörande kartor är anpassad till utredningens översiktliga nivå. Kartorna bör därför inte förstoras till annan detaljeringsgrad.

Kartmaterialet är producerat i GIS och levereras som GIS-skikt för olika analysdelar, och en förteckning över dessa finns i Bilaga 3.

Objekt inom område med förutsättningar för naturolyckor redovisas i Karta 1 och 2, A-G, och summeras i Bilaga 2. Övriga objekt finns dock levererade med GIS-databasen.

Som underlagskarta i analysen och för redovisning har använts Lantmäteriets översiktskarta, vilken tillhandahållits av länsstyrelsen.

3 GEOLOGISK / GEOTEKNISK ÖVERSIKT

Jordförhållandena i Västmanlands län har huvudsakligen präglats av den senaste istiden och tiden därefter, vilket har resulterat i glaciala respektive postglaciala jordarter. I denna del av Sverige var inlandsisens mäktighet under huvudskedet mellan 2000 och 2500 m och den avsmälte helt för ca 10 500 år sedan. Vid istidens slutskede började den av isen nedtryckta jordskorpan att höja sig. Idag uppgår landhöjningen till ca 4 mm/år i de södra delarna av Västmanlands län och till ca 5 mm/år i de norra delarna av länet.

Västmanland delas traditionellt in i Bergslagen och Mälardalen, som är en del av det mellansvenska låglandet. Vid tiden för landisens avsmältning låg i stort sett hela Västmanlands län, med undantag för delar av Bergslagen i länets nordvästligaste del, under det forna så kallade Yoldiahavets yta¹. Detta område utgör gränsen till den s k Norrlandsterrängen. Bergslagen ingår i den nordsvenska inlandet och karaktäriseras av höglänt terräng med höjdparter på ca 430 m ö h längst i nordväst och ca 300 m ö h i de södra delarna. Sprickor och förkastningar i nord-sydlig riktning förekommer rikligt. Längs dessa har bildats djupt nedskurna dalgångar och det finns rikligt med sjöar. Landskapet är storkuperat och utgörs av en s.k. bergkulleterräng där höjdskillnaderna ofta överskrider 100 m. Högsta kustlinjen ligger i de södra delarna av länet på + 160 m ö h och i de norra delarna på +190 m ö h.

Jordmäktigheten är generellt liten, mindre än 5 m, men den kan variera och jorddjup som överstiger 10 m förekommer främst i vissa dalstråk och lågpartier samt längs rullstensåsarna, som oftast är omfångsrika och vidsträckta. Moränen inom länet är varierande – allt ifrån sandig, grusig till lerig-sandig. Moränens ytblockighet är vanligen normal, men det förekommer stora områden med både blockrik eller storblockig terräng. Myrmarker förekommer rikligt inom moränområdena i de norra delarna av länet. På flera ställen inom det s k mellansvenska låglandsområdet förekommer s k ändmoräner. Dessa utgörs av några meter höga och några hundra meter långa vanligen storblockiga ryggar, som är avlagrade vinkelrätt mot isens rörelseriktning.

Moränen och rullstensåsarna är delvis täckta av yngre finsediment. På höjder och sluttningar belägna under högsta kustlinjen har moränen delvis ofta omlagrats av vågorna till svallgrus och svallsand, som kan ha en betydande mäktighet.

Isälvsedimenten har transporterats och sorterats av isälvarna i och under landisen och slutligen avlagrats vid isfronten under avsmältningen. Sand och grus dominerar och har avlagrats i form av åsar och deltan. Det finkorniga materialet avsattes på djupare vatten i hav, i fjärdar och i sjöar som varviga sediment, glaciallera som utgörs av skiktad lera och silt.

Flera stora rullstensåsar sträcker sig genom landskapet i nord-sydlig riktning. Exempel på sådana åsar är Karlslundaåsen, Malingsboåsen, Köpingsåsen, Strömsholmsåsen och Badelundaåsen.

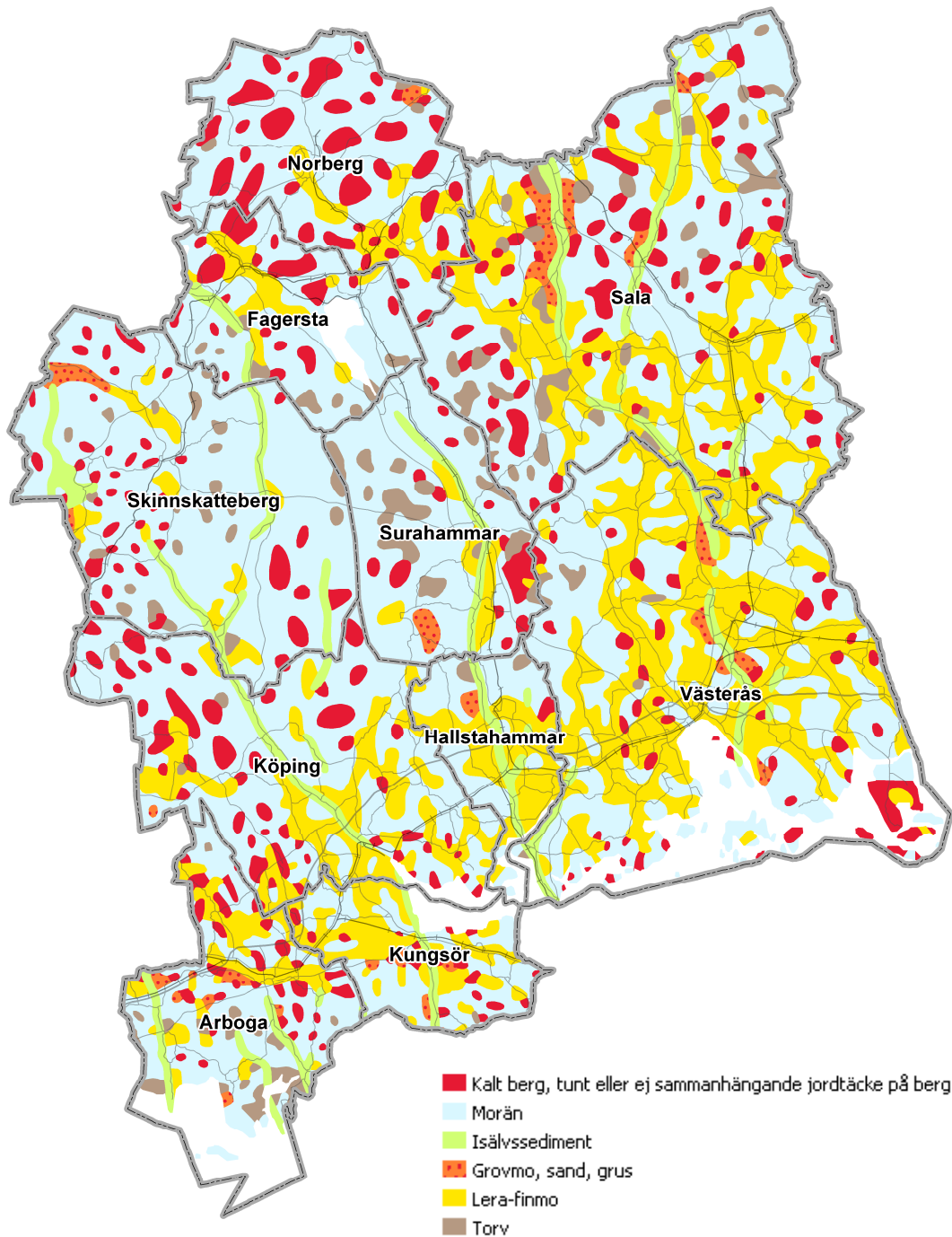
¹ Det så kallade Yoldiahavet existerade 9 500 – 8 700 f.Kr och var en fas i Östersjöbassängens historia med bräckt vatten.

Söder och öster om gränslinjen till Norrlandsterrängen börjar den s k Mellansvenska låglandet i vilket Mälardalen ingår. Inom detta område är höjdpartierna i allmänhet inte högre än 100 m ö h. Här utbreder sig stora slättområden vilka utgör en fortsättning på Upplandsslätten. Jordtäcket på slätterna och i dalstråken består till största delen av finsediment, som i större dalstråk och lågpartier kan ha en mäktighet av upp mot 20 m. Höjdskillnaderna inom detta område är oftast mindre än 25 m. I gränsländet mellan slätten och höglandet finns ett övergångsområde med kraftigare relief med ca 75 m nivåskillnad.

Efter isavsmältningen avsattes sediment i vikar och lugnare vatten i form av ofta grå, postglacial lera och silt samt gyttjelera. Postglacial lera har stor utbredning i de centrala, södra och östra delarna av länet.

Utefter de flesta såväl större som mindre vattendrag förekommer älv- och svämsediment, och dessa avsätts än i dag. I de flesta fall bildar dessa sediment endast mycket smala bårder, som inte kunnat redovisas på jordartskartan. De är mer eller mindre tydligt skiktade och utgörs av omväxlande skikt av lera, silt och sand. Även skikt av organisk jord förekommer i sedimenten.

De större vattendragen i Västmanland har sina källflöden i Dalarna eller i gränstrakterna mot detta landskap. Exempel på stora vattendrag är Hedströmmen, Kolbäcksån, Svåtån och Sagån, som samtliga mynnar i Mälaren. Arbogaån börjar i Hörkensjöarna vid gränsen mot Dalarna och rinner mot söder men följer sedan en förkastningssänka mot öster och mynnar slutligen i Mälaren.



Figur 3-1. Översiktskarta över jordförhållanden i Västmanlands län. Utdrag ur Sveriges jordarter – en översikt, WMS-tjänst från Sveriges Geologiska Undersökning (2012-01-10). Samhällsfunktioner ur © Lantmäteriet, GSD-produkter, 2012.

4 EROSION LÄNGS SJÖAR OCH VATTENDRAG SAMT RAVINBILDNING

4.1 Översiktlig inventering av förutsättningar för erosion

Med vattnets erosion menas den process som leder till förlust av material från stranden och botten i vattendrag och längs sjöar, Figur 4-1. Omvänt menas med sedimentation den process som leder till avsättning, ackumulation, av tidigare eroderat material.



Figur 4-1. Exempel på erosions-skador utmed sjöstrand med isälvssediment. Foto: SGI.

Erosion och sedimentation är en ständigt pågående naturlig process i landskapet. Den naturliga balansen kan störas av mänskliga aktiviteter, exempelvis genom konstruktioner i vatten, fartygstrafik, avverkning av strandnära skog m.m. Under vissa betingelser sker mer omfattande erosionsangrepp, t.ex. vid höga flöden och vattennivåer i vattendrag och sjöar.

Det finns olika typer av erosion:

- Erosion från *vågor* orsakas främst av vindvågor men även vid tappning av dammar eller av fartygstrafik.
- *Strömmande vatten* kan medföra erosion i vattendrag och på angränsande stränder och slänter.

- Erosion kan också uppkomma av *nötande is* från istäcken samt isdämmor som utbildats i samband med vårflöden i vattendrag.
- *Inre erosion* kan förekomma i finkornig friktionsjord genom att grundvattenströmmar för med sig partiklar och på så sätt orsakar materialvandring.

Om det inom ett visst avgränsat område råder jämvikt mellan eroderat och avsatt mängd material sägs området vara stabilt från erosions synpunkt. Vid en nettoförlust av material är området utsatt för erosion, och i motsatt fall sker en ackumulation av material.

En förutsättning för erosionsprocesser är dels tillgång på erosionskänsligt jordmaterial, dels en flödes-/vindhastighet som är tillräckligt hög för att lossöra och transportera materialet. När flödes-/vindhastigheten minskar, så avsätts materialet igen. De mest erosionsbenägna jordarna är ensgraderade jordar – framförallt jordarter med en kornstorleksfördelning motsvarande finsand och mellansand.

Klimatförändringar kan medföra en ökad nederbörd som ökar avrinningen i vattendragen liksom avrinningen genom jordlagren som grundvattenströmning. Ökad avrinning medför i sin tur ökad erosion. I sjöar innebär en högre vattennivå att stranderosionen kommer att öka och att områden som tidigare inte varit utsatta för erosion kan påverkas.

SGI har utfört en översiktlig inventering av omfattningen av stranderosion i Sverige i samverkan med berörda kommuner. Syftet med inventeringen var att få en översikt av var stranderosion förekommer och var det finns förutsättningar för erosion utmed landets havskuster och vid stränder utmed de sex största sjöarna i landet, exempelvis Hjälmaren och Mälaren. Uppgifter har inhämtats för kommuner belägna vid kuster och sjöstränder om var erosion konstaterats. Dessutom har förutsättningar för erosion inventerats med utgångspunkt från de geologiska förhållandena.

Vidare utför SGI för närvarande en översiktlig inventering av förutsättningar för erosion i de ca 60 största vattendragen i Sverige. Denna inventering är en fortsättning av ovan nämnda inventering längs kuster och de största sjöarna. Längs vattendragen har inventeringen begränsats till att förutsättningar för erosion med utgångspunkt från de geologiska förhållandena.

4.2 Erosionsförutsättningar

4.2.1 Erosionsförutsättningar längs Hjälmarens stränder

Av länets kommuner angränsar enbart Arboga kommun till Hjälmaren. Omfattningen av erosionsförutsättningarna utmed Hjälmarens stränder har karterats översiktligt av SGI, Rydell m.fl. (2006). Eftersom resultaten från denna utredning var avsett att presenteras i skala 1:250 000 redovisas områdena med förutsättningar för erosion enbart på Karta 1, som har denna skala. (På Karta 2, A-G, i skala 1:50 000 redovisas således inte erosionsförutsättningarna.)

Arboga kommun

Översiktligt består jordlagren inom Arboga kommun längs Hjälmarens norra stränder till stor del av morän men också av torv, lera, sand/grus samt isälvsmaterial. Förutsättningar finns för erosion utmed följande strandavsnitt:

- Vid Östra Båthamnsviken nordväst om Lungers udde
- På ömse sidor av Lungers udde från Nyholmen respektive Bokärr och söderut till uddens spets.
- Vid Ärtholmen och Kuggenäsudden
- Vid Björkudden och Nannberga
- Nordväst om Hästnäs vid Stora och Lilla Rävsvik
- Norr om Hästnäs vid Humlemyrsviken
- I inloppet till Frösshammarsviken vid Torsudden och Lagnön
- På ömse sidor av Ålhammarsudden från Hällorna i norr och söderut till uddens spets.

4.2.2 Erosionsförutsättningar längs Mälarens stränder

Omfattningen av erosionsförutsättningarna utmed Mälarens stränder inom länet har karaktärsats översiktligt av SGI, Rydell m.fl. (2006). Längs Mälaren finns förutsättningar för erosion i Mälarkommunerna Kungsör, Köping, Hallstahammar och Västerås. Eftersom resultaten från denna utredning var avsett att presenteras i skala 1:250 000 redovisas områdena med förutsättningar för erosion enbart på Karta 1, som har denna skala. (På Karta 2, A-G, i skala 1:50 000 redovisas således inte erosionsförutsättningarna.)

Översiktligt består jordlagren utmed Mälarens stränder i Västmanlands län huvudsakligen av morän, lera och isälvsmaterial. Även strandavsnitt med kalt berg förekommer.

Kungsörs kommun

Utmed Mälaren i Kungsörs kommun finns förutsättningar för erosion utmed strandavsnitten vid:

- Skillingsudd öster om Kungsörs centralort på södra sidan av Galten (del av Mälaren)
- Norr om Kungsörs centralort på västra sidan av Galten (del av Mälaren) vid Jägaråsen, Frostuna, Aludden och Kungsörstorp.

Köpings kommun

Utmed Mälaren i Köpings kommun finns förutsättningar för erosion utmed strandavsnitten:

- Mellan Hedströmmen och Köpingsåns mynningsvik vid Malmön
- På norra sidan av Köpingsåns mynningsvik mellan Norsa och Skoghäll

Hallstahammar kommun

Utmed Mälaren i Hallstahammar kommun finns förutsättningar för erosion vid:

- Borgåsund

Västerås kommun

Utmed Mälaren i Västerås kommun finns förutsättningar för erosion utmed strandavsnitten:

- Vid Borgåsund
- Vid Mellansundet, Lillön och Sanda nordnordväst om Kvicksund
- Vid Kvicksund
- På Mäläröarna Östra Holmen, Björnö (utmed näset mellan Norra och Södra Björnö samt södra änden av Björnö), Skåpholmen, Stora Sandskär, Flaten och Högholmen.

Lokala effekter tillkommer på grund av ökad erosion till följd av stormar, översvämning och tillfälliga högvatten eller andra säsongsbetonade effekter.

4.2.3 Erosion längs vattendrag

Förutsättningarna för erosion i vattendrag har inventerats översiktligt av Rydell m.fl. (2009). Eftersom resultaten från denna utredning var avsett att presenteras i skala 1:250 000 redovisas områdena med förutsättningar för erosion enbart på Karta 1, som har denna skala. Med Rydell m.fl. (2009) som underlag har följande fem större vattendrag i Västmanlands län inventerats i detta projekt:

Arbogaån

Arbogaån mynnar i Galten (den innersta västra delen av Mälaren) vid Kungsör. Arbogaån flyter från sjön Väringen vid Frövi i Örebro län, och vidare genom Arboga och Kungsörs kommuner. Arbogaån är segelbar till Arboga stadskärna (belägen ca 15 km från mynningen), och ån har förbindelse med Hjälmarens kanal.

- Inom Arboga kommun finns förutsättningar för erosion utmed många delsträckor längs i stort sett hela åsträckan från länsgränsen mot Örebro län (vid Medåker/Röfors) fram till västra utkanten av Arboga stadskärna.

Hedströmmen

Hedströmmen mynnar i Galten (den innersta västra delen av Mälaren) söder om Malmon, på gränsen mellan Kungsörs och Köpings kommuner. Hedströmmen rinner upp i ett mindre sjösystem i södra Dalarna och strömmar vidare till Storsjön vid Baggbron i Skinnskattebergs kommun. Strömmen fortsätter genom Övre och Nedre Vättern vid Skinnskatteberg och passerar bland annat Kolsva i Köpings kommun för att slutligen mynna ut vid Galten i Mälaren.

- Inom Skinnskattebergs kommun finns förutsättningar för erosion utmed delsträckor av Hedströmmen vid Grisnäs och Uttersberg, utmed Tomasbosjöns södra strand, vid norra delen av samhället Västanhed, vid norra och södra stranden av sjön Ådern samt vid Karmansbo och Yggers.
- Vid Bernshammar och Jönsarbo utgör Hedströmmen kommungräns mellan Skinnskattebergs och Köpings kommuner. Längs denna ca 5 km långa delsträcka finns förutsättningar för erosion utmed flera delsträckor.
- Inom Köpings kommun finns förutsättningar för erosion utmed många delsträckor av Hedströmmen från kommungränsen vid Bovallen och Jäxbo, runt Bysjön, samt hela vägen via Kolsva ned till mynningen i Mälaren.

- De nedersta ca 6 km av Hedströmmen utgör kommungräns mot Kungsörs kommun.

Köpingsån

Köpingsån mynnar i den spetsiga nordvästliga viken av Galten (den innersta västra delen av Mälaren) vid Köping, i Köping kommun. De två mindre tillflödena Kölstaån och Valstaån möts i Köpings centrum och bildar därmed Köpingsån. Valstaån rinner upp i Skinnskattebergs kommuns södra delar medan Kölstaån har sina källor i Surahammars kommuns södra delar.

- Inom Köpings kommun finns förutsättningar för erosion utmed Valstaån längs i stort sett hela åsträckan nedströms Lundbysjön. Även utmed Kölstaån finns förutsättningar för erosion utmed ån längs i stort sett hela åsträckan mellan kommungränsen mot Surahammar och Köpings stadskärna ända fram till utflödet i Köpingsån. Utmed Köpingsån finns förutsättningar för erosion på båda sidan av ån nedströms järnvägsbron.



Figur 4-2 Valstaån – Villabebyggelse vid Valstaån, Köping, Foto: SGI

Kolbäcksån

Kolbäcksån, som inklusive källflöden är ca 200 km lång, rinner från Dalarna, genom Västmanland och mynnar i Mälarfjärden Galten. Strömsholms kanal följer ån i 100 km. Kolbäcksån rinner bl.a. genom sjöarna Väsman, Barken och Åmänningen, och passerar Fagersta, Surahammars och Halstahammars kommuner. Även ett större biflöde, Norbergsån/Snytsboån, kommer från Dalarna och rinner genom Norbergs kommun.

- Inom Fagersta kommun finns förutsättningar för erosion på åns båda sidor genom Fagersta centralort samt vid kommungränsen direkt uppströms Virsbo bruk.
- Genom Surahammars och Halstahammars kommuner finns förutsättningar för erosion på åns båda sidor av Kolbäcksån nedströms Virsbo bruk och vidare förbi

Ramnäs, Surahammar, Hallstahammar, Kolbäck och fram till mynningen i Mälaren vid Strömsholm.

Svartån

Svartån mynnar i Mälaren i Västeråsfjärden i centrala Västerås. Svartån har sina källor i norra Västmanland nära Norberg. Ån passerar Norbergs och Sala kommuner och Västerås stad. De största sjöarna inom dess avrinningsområde är Hörendesjön och Fläcksjön.

- Förutsättningar för erosion finns längs Svartån genom Sala kommun på flera platser vid trakten av Västerfärnebo, vid Västerby, Forterby, Vagnsbacken och Robertsholm, liksom vid Salbohed, åsträckan mellan väg 256 vid Brunsala och Fläcksjön.
- Förutsättningar för erosion finns längs Svartån genom Västerås stad på flera platser mellan Haråker och Skultuna samhällen samt mellan Skultuna kyrka och Billsta i nordvästra delen av Västerås stadskärna. Dessutom finns förutsättningar för erosion längs västra åstranden uppströms E18.

4.2.4 Ravinbildning i silt-, sand- och lerjord

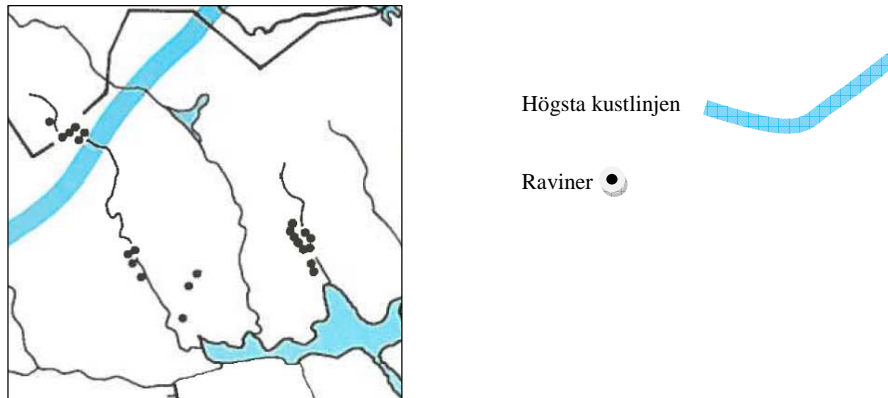
Ravinbildning är vanligast i områden med siltjord men förekommer även i områden med morän-, sand- eller lerjord. Raviner kan utvecklas snabbt genom ytvattenserrosion och/eller inre erosion (grundvattenserrosion). Raviner utvecklas ofta genom flera på varandra följande skred och/eller ras längs med en dräneringsfåra på marken, ett vattendrag eller ett grundvattenflöde och växer till bakåt från sin mynning. Vid intensiv nederbörd och avrinning strömmar de eroderade jordmassorna vidare som slamströmmar, och kan påverka områdena nedanför slänten. En ravin kan bli tio till tjugo meter djup, är V-formad och har branta sidor, Fallsvik m.fl. (2006). Raviner grenar vanligen ut sig och orsakar på sikt oftast stor markförstörelse, Figur 4-2. Därmed kan bebyggelse på relativt stora avstånd hotas.



Figur 4-2 Exempel på ravin i jordlager av silt, Solvarbo, Dalarna.. Foto: C. Fredén, SGU, 1999

I Västmanlands län förekommer raviner längs såväl större som mindre vattendrag exempelvis längs Hedströmmen, Köpingsån/Kölstaån och Svartån. Områden med raviner har inventerats samt redovisats på kartor av Bergqvist (1986), Figur 4-3.

Inre erosion kan förekomma i finkornig friktionsjord genom att grundvattenströmmar för med sig partiklar och på så sätt orsakar materialvandring. På grund av inre erosion kan kaviteter (hålrum) bildas i jordlagren och marken kan störta samman. Såväl ravinbildning som kollapsande kaviteter kan skada människor, bebyggelse och infrastruktur.



Figur 4-3 Områden inom Västmanlands län med raviner, utdrag från karta, Bergqvist (1986) som i Västmanlands län markerar raviner utmed Hedströmmen, Kölstaån och Svartån.

Klimatförändringen kan innebära att befintliga raviner växer till samt att nya raviner bildas främst på grund av ökad medelavrinning samt ökad frekvens av och storlek på intensiva regn under den varma delen av året. I områden med förutsättningar för ravintillväxt bör riskerna beaktas för befintlig och planerad bebyggelse och anläggningar samt andra riskobjekt.

4.3 Ravinbildning i morän

Raviner kan även bildas i finkornig morän i mera brant terräng. Ravinerna utvecklas därvid genom moränskred och/eller upprepade slamströmmar som uppkommer i samband med snösmältningen och/eller intensiva regn under den varma delen av året, se även avsnitt 5.

4.4 Konsekvenser av klimatförändringar

4.4.1 Erosion utmed Hjälmarens och Mälarens stränder

Stranderosion ökar om frekvens och styrka på stormar och vid höjd vattennivå:

- Förändring av frekvens och styrka på stormar

Det är okänt om frekvens och styrka på stormar kommer att förändras på grund av klimatförändringar, eftersom klimatscenerierna inte ger tydliga scenarier för framtida vindförhållanden. Det är därför svårt att i denna utredning fastställa hur stranderosionen kommer att förändras på grund av detta.

– Vattennivåförändringar längs Mälarens stränder

Idag ligger Mälarens medelvattenstånd enbart ca 80 cm över havets (Saltsjöns) nivå. Med ledning av SMHI, (2012), Klimatanalys för Västmanlands län samt resultaten i bl.a. den översiktliga klimat- och sårbarhetsanalys som utförts för Stockholms län, Rogbeck m.fl. (2011), bedöms att havsnivåhöjningen kan inverka på Mälarens nivåer och därmed stranderosionen mot slutet av seklet, eftersom den klimatbetingade havsnivåhöjningen väntas komma ifatt, och passera, landhöjningen. Mycket hänger dock på vilka åtgärder som kommer att vidtas i Slussen, Norrström, Hammarbyleden och Södertälje kanal samt i de olika kulvertsystem som finns i Stockholm och Södertälje, se SMHI, (2012), Klimatanalys för Västmanlands län, Bilaga 1 samt avsnitt 5 nedan.

4.4.2 Erosion längs vattendrag

Klimatanalysen som utförts i detta uppdrag, Bilaga 1, SMHI (2012), visar att årsmedelnederbörden ökar med ca 20 % till seklets slut. Den tydligaste nederbördsökningen ses för vintern. Liksom i dagens klimat kommer störst nederbördsmängder att falla i nordväst och mindre mängder i områdena runt Mälaren. De kraftiga regnen beräknas öka. Vidare enligt SMHI (2012) kommer vattenföringens variation under året att förändras mot högre höst-vinterflöden och lägre vårfloed. Lågvattenperioden blir längre och med lägre flöden. Det beräknade framtida 100-årsflödet ser ut att minska något under seklet för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Sagån och Köpingsån i jämförelse med referensperioden 1963-1992. Svartåns 100-årsflöde ser ut att bli i stort sett oförändrad under stora delar av seklet.

SMHI:s klimatanalys, SMHI (2012), Bilaga 1, visar således på ökad nederbörd och årsmedelvattenföring men däremot på minskande eller oförändrade 100-årsflöden i de större vattendragen. Trots ökad medelnederbörd kommer storleken på höga flöden i vattendragen att minska främst på grund av en förlängd och därmed utjämnad snösmältningssäsong. Sammantaget kan därför problemen förenade med erosion ängs vattendragen delvis komma att bli oförändrade eller till och med minska. Hänsyn har inte tagits till den effekt reglering av vattendrag innebär.

4.4.3 Ravinutveckling

SMHI:s klimatanalys, SMHI (2012), Bilaga 1, i detta uppdrag visar på ökad nederbörd och årsmedelvattenföring men däremot på minskande 100-årsflöden, medan frekvensen och omfattningen av intensiva regn sommartid kommer att öka.

De klimatbetingade förändringar som påverkar benägenheten för ravinutveckling är främst höga flöden vilka ger vattenindränkta jordlager samt intensiva regn sommartid som lokalt ger temporär kraftig erosion”, Fallsvik m.fl.(2006). I Västmanlands län finns områden där benägenheten för ravinutveckling kommer att öka beroende på ökad nederbörd och därmed ökad avrinning. Därför kan problemen knutna till ravintillväxt komma att bli oförändrade eller till och med öka i delar av länet.

5 ÖVERSVÄMNINGSFÖRHÅLLANDEN I MÄLAREN

Landhöjningens intensitet är ca 0,5 m per 100 år i Mälaronrådet. Eftersom Västmanlands län inte angränsar till någon kuststräcka finns ingen direkt inverkan i länet på grund av landhöjningen.

Trots landhöjningen kan den globala havsnivåhöjningen på grund av klimatförändringen medföra att saltvatten tränger in i Mälaren om man inte vidtar åtgärder vid Norrström, Slussen och Stockolms VA-kulvertar samt kanalerna vid Hammarby och Södertälje.

Det finns tre olika översvämningshot i Mälaren i framtiden:

1. Ökad tillrinning till Mälaren från hela Norrströms avrinningsområde på grund av ökad nederbörd
2. Ökad risk för inträngning av havsvatten vid höga vattennivåer i Saltsjön på grund av den globala havsvattennivåns höjning samt vinduppstuvning i Östersjön
3. Eventuella framtida beslut om konstgjord justering av pasströsklarna mot havet så att man låter Mälarens nivå höjas i takt med havsvattenhöjningen.

5.1 Normala vattenstånd

Om man enbart betraktar situationen för normalt vattenstånd är dagens vattenståndsmarginal mellan Saltsjön och Mälaren 70 cm. År 2100 har marginalen mellan Saltsjön och Mälaren minskat till 22 cm enligt Figur 5-1, "Mälaren om 100 år" (2011). Detta om man inte tar hänsyn till situationer skapade av framtida väderpåverkade varierande vattenstånd i Östersjön respektive i Mälaren. Vid exempelvis högt vattenstånd i havet kan havsvatten tränga in i Mälaren om man inte motverkar detta genom åtgärder.



Figur 5-1 Mälarens marginal till Saltsjön om havet stiger med 1 m vid normalt vattenstånd, bild från "Mälaren om 100 år" (2011).

5.2 Höga vattenstånd

Risken för översvämmning i Mälaren är idag hög eftersom tillrinningen till Mälaren kan vara högre än den kapacitet som finns att tappa vatten från Mälaren, MSB (2012) och SMHI (2012), Bilaga 1. Den höga risken kvarstår fram till dess att en ökad tappnings-

kapacitet skapas, eller att förebyggande och beredskapshöjande åtgärder av mycket stor omfattning har genomförts. I det så kallade Slussenprojektet, Projekt Slussen (2011), planeras genomförande av åtgärder så att:

1. Riskerna för översvämningar minskar runt Mälaren
2. Risken för låga vattenstånd i Mälaren minskar
3. Saltvatteninträngning förhindras

Kommunfullmäktige i Stockholm har fattat ett genomförandebeslut för Slussenprojektet. År 2020 beräknas denna förbättrade reglering av Mälaren att kunna tas i drift, Granberg (2012). SMHI har bedömt att de planerade skydden som genomförs i Slussenprojektet kommer att bli tillräckliga till slutet av seklet, SMHI (2011b) samt (2012), Bilaga 1.

Tabell 5-1 sammanställer karaktäristiska nivåer i Mälaren både om inga skyddsåtgärder vidtas vid Mälarens utlopp ("nollalternativet") och om det så kallade Slussenprojektet genomförs ("huvudalternativet").

Tabell 5-1 Karaktäristiska nivåer i Mälaren om inga skyddsåtgärder vidtas vid Mälarens utlopp respektive om det så kallade Slussenprojektet genomförs. Nivåvärden angivna enligt RH2000 (meter över den så kallade referensellipsoiden).

	Nollalternativ (utan genomfört Slussenprojekt)	Huvudalternativ (med genomfört Slussenprojekt)
Medelvattenstånd	0,88	0,87
Högsta vattenstånd	1,47	1,24
Högvattenstånd vid 100-årsflöde	1,86	1,28
Högvattenstånd vid 1000-årsflöde	>2,7	1,33
Högvattenstånd vid 10000-årsflöde	>2,7	1,47
FLKI²	>2,7	1,48

5.2.1 Vindpåverkan

Mälarens vattennivå är främst beroende av hydrologiska faktorer som ger vattennivåerna enligt Tabell 1, men kan under kortare perioder även påverkas av vindar. I samband

² Nivåer baserade på "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar" utgivna av Svensk Energi, SveMin och Svenska Kraftnät.

med att vind blåser över en vattenyta förs vatten i vindens riktning från en sida av en sjö till den motsatta. Denna effekt blir särskilt märkbar i en större sjö som Mälaren, Projekt Slussen (2011). Det transporterade vattnet strömmar sedan tillbaka, vanligtvis längs botten. Beroende på djupförhållanden sker denna återströmning mer eller mindre lätt så att vatten kan ”stuvvas” upp i de inre vindutsatta delarna av sjön. Kombinationen av starka vindar och av andra anledningar rådande höga vattenstånd i Mälaren kan lokalt skapa höga vattennivåer. Den påverkan som vinduppstuvningen ger upphov till i Mälaren är oberoende av vilket alternativ som väljs för Slussenprojektet – de så kallade nollalternativet eller huvudalternativet.

Med anledning av att vinduppstuvning lokalt kan ge höga vattennivåer har Projekt Slussen låtit SMHI modellera och göra en känslighetsanalys av vinduppstuvning för olika delar av Mälaren, SMHI (2011a) och (2011b). Den beräkningsmodellen som SMHI använt sig av har bedömts ge rimliga resultat vad gäller vinduppstuvningen för alla områden i Mälaren (utom för de centrala delarna mellan Strängnäs och Eskilstuna). Beräkningarna avseende vinduppstuvning visar att effekten varierar över Mälaren, Tabell 5-2.

Tabell 5-2 Beräknad vinduppstuvning i Mälaren. Den högsta beräknade vinduppstuvningen för fyra platser i Västmanlands län tillsammans med rådande vindriktning, efter Projekt Slussen (2011) samt SMHI (2011a) och (2011b). Värdena är ungefärliga. Ostlig vind ger störst effekt vid Mälärstränderna utmed Västmanlands län, d.v.s. i de västra delarna i sjön.

Plats	Vindriktning som medför störst effekt	Vinduppstuvning (m)
Köping	Ost	ca 0,16
Kungsör	Ost	ca 0,15
Kvicksund	Ost	ca 0,11
Västerås	Ost	ca 0,08

5.3 Vattennivå vid extrema händelser

För att illustrera de vattennivåer i Mälaren som kan påverka strandnära objekt i Västmanlands län har två extrema vattennivåer enligt Tabell 5-3 lagts in på de GIS-baserade kartorna, Karta 1 och 2 A-G, representerande alternativen:

1. Inga skyddsåtgärder vidtas vid Mälarens utlopp (nollalternativet)
2. Slussenprojektet genomförs (huvudalternativet)

De inlagda nivåerna på de GIS-baserade kartorna beaktar den kombinerade effekten av extrema högvattenstånd och vinduppstuvning. Mälärsträndernas topografi är hämtad

från de GIS-skikt som tagits fram i "Konsekvenser av en översvämning i Mälaren", MSB (2012).

Tabell 5-3 Vattennivåer i Mälaren med hänsyn till både extremt vattenstånd och vinduppstuvning. Nivåvärden angivna enligt RH2000 (meter över den så kallade referensellipsoiden).

	Nollalternativ (inget Slussenprojekt) "På kort sikt" fram till ca 2020	Huvudalternativ (genomfört Slussenprojekt) "På lång sikt" efter ca 2020
Extremt högvatten- stånd ("värstanivå")	3,1	1,6

Om havet fortsätter att stiga efter år 2100 krävs kompletterande och storskaliga åtgärder. Det kan exempelvis bli aktuellt med invallningar i Stockholms skärgård, Granberg (2012).

6 SKRED, RAS OCH SLAMSTRÖMMAR

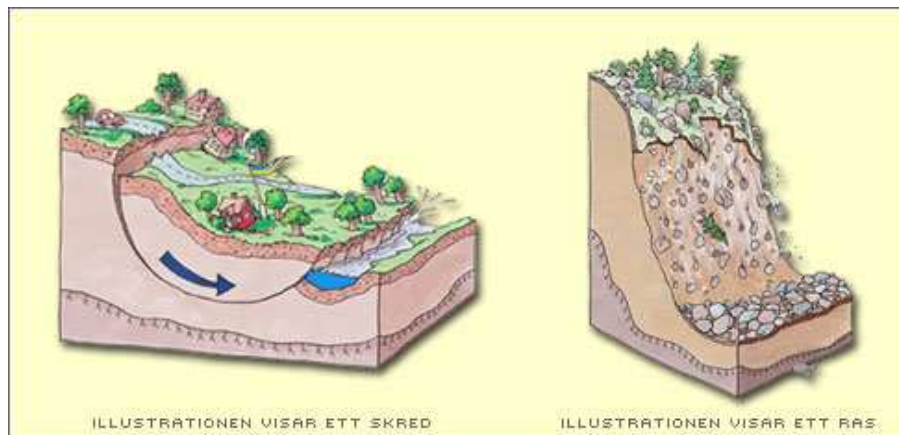
6.1 Översiktlig beskrivning av förutsättningar

Skred, ras och slamströmmar är exempel på snabba rörelser i jord eller berg som kan orsaka:

- Förlust av människoliv
- Skadade människor
- Ofta stora skador dels på mark och byggnader inom det drabbade området, dels inom nedanförliggande markområden eller i vattendrag där massorna hamnar, se Figur 6-1, 6-2 och 6-3.

Ett skred eller ras är i många fall en följd av höga grundvattentryck i jordlagrens porer (s.k. portryck) eller en naturlig erosionsprocess, men kan också utlösas av mänskliga ingrepp i naturen.

En gemensam nämnare är att både skred och ras kan inträffa utan förvarning. Ofta initieras de dock av intensiv och/eller långvarig nederbörd som ökar portryck och minskar jordlagrens hållfasthet – den så kallade skjuvhållfastheten.



Figur 6-1 Illustration av skred och ras i jord.



Figur 6-2 Skredet i Jordbro 1972, Haninge kommun, Foto K. Hellman-Lutti



Figur 6-3 Åre samhälle ligger på avlagringar av grus och sand från ett stort antal skred och ras och efterföljande slamströmmar som inträffat sedan istiden längs Mörviksåns ravin. Foto: J Lundqvist, SGU 1962

Skred är en jordmassa som kommer i rörelse och som under rörelsens början är sammanhängande. Ytlagrets torra lera, torrskorpan, bryts sönder i stora flak. Jordskred förekommer i finkorniga silt- och lerjordar, så kallade kohesionsjordar, men även i andra jordar med inslag av ler och silt, exempelvis finkornig morän.

Ett ras är en massa av sand, grus, sten eller block eller en del av en bergslänt, som kommer i rörelse. De enskilda delarna rör sig fritt i förhållande till varandra. Berg innehåller större och mindre sprickor som kan leda till att stora block loss görs och faller ned.

En ökad nederbörd påverkar jordars stabilitet negativt och ökar faran för skred och ras genom att ett ökat vattentryck i markens porer minskar hållfastheten. Grundvattenförändringar påverkar portrycket i jorden. Ökad nederbörd kan också leda till ökad avrinning och erosion som påverkar släntstabiliteten. Intensiva regn och vattenmättade jordlager ökar också benägenheten för skred i moränmark och slamströmmar.

SMHI:s klimatanalys för Västmanlands län visar att temperatur- och nederbördsökningen blir störst under vinterhalvåret, vilket väntas ge högre medelvattenföringar, SMHI (2012), Bilaga 1, Figur 5.1-1, Figur 5.2-4 respektive Figur 5.3-5. Dessutom väntas de extrema nederbördstillfällena öka, SMHI (2012), Bilaga 1, Figur 5.2-6. Dessa faktorer innebär att risken för skred och ras generellt väntas öka i ett framtida klimat.

Skogsavverkning kan också leda till förändrad stabilitet eftersom vegetationen som suger upp mycket av markvattnet tas bort. Detta kan leda till högre grundvattennivåer och ytvattenflöden. En högre grundvattennivå ökar portrycket i jordlagren och försämrar jordens hållfasthet. Ökade ytvattenflöden kan ge erosion och skred i sluttningar och dalgångar. Djupa spår från skogsmaskiner (skördare och skotare) i slänter medför ofta att vatten från befintliga vattendrag och diken leds om till andra delar av slänterna. Detta kan leda till ny erosion samt skred och slamströmmar inom de släntområden som drabbas av ökad vattenavrinning. Figur 6-4 visar ett exempel på kontrast mellan avverkat sluttningar och sluttningar med ursprunglig skogstäckning.



Figur 6-4 Exempel på kontrast mellan avverkade sluttningar och sluttningar med ursprunglig skogstäckning. Släntstabiliteten har blivit mycket sämre inom det avverkade området där nya skred och raviner har uppkommit, Nagasaki, Japan, United Nations (1996). Foto: M. Watanabe.

Klimatförändringar påverkar även frekvensen av ras i bergslänter. En ökad växling mellan plus- och minusgrader – så kallade nolltemperaturgenomgångar – kan innebära att vatten i bergets sprickor ömsom fryser och tinar. Denna växelverkan medför en så kallad utmattning i bergsmaterialet med ökad risk för att bergsmaterial sprängs loss. Bergsras bedöms i huvudsak vara ett lokalt problem. Klimatanalysen visar på ökade temperaturer. Temperaturuppgången är mest framträdande för vintern, vilket kan öka sannolikheten för nollgenomgångar.

I branta slänter med jordlager av exempelvis morän, kan skred uppstå oftast när jorden är vattenmättad efter en nederbördsrik period eller i samband med snösmältningen. I Sverige är moränskred vanligast i fjällterräng, men kan även uppstå i kuperad terräng av morän i andra delar av landet, exempelvis vid förkastningsbranter. Beroende på terrängens brutenhet (höjdskillnader och släntlängder) kan slamströmmar vara både stora och små. Framst i Fagersta och Skinnskattebergs kommuner i de nordvästra delarna av Västmanlands län kan det finnas topografiska förutsättningar för att slamströmmar skall bildas, se avsnitt 7.4.

Där en slänt är lång och brant kan vattenmättade jordmassor från ett högt beläget moränskred strömma nedför slänten som en slamström. Så länge som slänten är tillräckligt brant fortsätter slamströmmen sin rörelse nedåt och längs sin väg påverkas marken och omgivningen av mycket kraftig erosion, Figur 6-4. Ytterligare jordmassor innehållande sten och block och även hela träd dras ofta med och därmed kan slamströmmens volym successivt öka nedför slänten.



Figur 6-4 I litteraturen finns det inte tillgång till så många bilder på pågående slamströmmar. Denna bild visar dock en pågående slamström längs en bäckravin, Sondrio, Italien. Foto: M. Bonomo

I raviner uppstår problem på grund av skred, ras och erosion i sidoslänterna. Jordmassor ansamlas därmed längs ravinbotten och kan på så sätt dämna upp ravinens vattendrag. Vid kraftig vattenföring i ravinens vattendrag kan massorna åter sättas i rörelse och tillsammans med vattenmassorna bilda en slamström.

Den naturliga balansen när det gäller stabilitetsförhållandena och benägenheten för slamströmmar i moränslänter kan förändras vid avverkning av skog. Detta leder till en snabbare avrinning av ytvatten vilket kan leda till att jordmassor kommer i rörelse. Djupa spår av tunga skogsmaskiner kan leda om mindre vattendrag så att en ökad avrinning påverkar angränsande släntområden med ökad benägenhet för utveckling av slamströmmar där.

Klimatförändringar väntas enligt SMHI (2012), Bilaga 1, innebära att i hela Västmanlands län ökar nederbörden liksom antalet tillfällen med intensiv nederbörd. Vidare leder detta till att avrinningen ökar och därmed ökad erosion och ökade grundvattentryck (vattentryck i jordens porer, portryck). Detta medför att riskerna för skred, ras och slamströmmar ökar i slänter med topografi och jordlager med dåliga stabilitetsförhållanden.

6.2 Inventering av förutsättningar för skred och ras i ler- silt och sand- slänter

MSB utför successivt en landsomfattande översiktlig stabilitetskartering av ler- silt och sandslänter i bebyggda områden. Inom Västmanlands län har dock sådan översiktlig stabilitetskartering i MSB:s regi ännu inte utförts.

6.2.1 Länstäckande översiktlig analys av förutsättningarna för skred

Inom denna utredning har en länstäckande översiktlig analys utförts för att hitta områden med förutsättning för skred och ras i finkorniga jordar (FFSR-analys). I analysen kombineras topografisk och geologisk information och resultatet blir en översiktlig bild över var det enligt dessa kriterier finns förutsättning för skred och ras, se Figur 6-5.



Figur 6-5. Resultat från analys av förutsättningar för skred och ras där röda områden indikerar att förutsättning finns. Utdrag från Kungsör.

Analysen har utförts med hjälp av ESRI-programvara och Octave. Underlag är NNH-data samt SGU:s digitala jordartskarta i skala 1:50 000 inom Västmanlands län. För de områden i den sydvästra delen av landskapet där NNH-data ännu inte finns har analysen dock inte kunnat genomföras.

I analysen påvisas områden där jordlager av finjord (lera, silt, svämsediment) samt fyllning och organisk jord (torv och gyttja) på finjord påträffas i en marklutning som överstiger 1:10, som enligt empiriska mätningar är den lutning som krävs för att ett skred ska uppstå, Fallsvik & Viberg (1998). Resultatet har justerats med ett s.k. Wiener-filter för att eliminera brus och vidare har en buffert om fem meter lagts till för att peka på faran för bakåtgripande skred.

Resultatet visas i Karta 1 och 2, A-G. Vägbankar och exempelvis avfallsdeponier utlagda på finjord genererar en topografisk skillnad varför dessa områden pekats ut som potentiella skredområden utan att naturliga förutsättningar för skred finns. Andra faktorer, som exempelvis portryck och markbindande växtlighet, beaktas inte heller i analysen som snarare ska ses som en indikator på inom vilka områden problem kan förekomma eller uppstå. Inför exploatering bör alltid en detaljerad geoteknisk utredning genomföras.

6.2.2 Tidigare stabilitetskarterade delar av Västmanlands län

Stabilitetsförhållandena har i tidigare utredningar inventerats i länet.

– Översiktlig kartering av stabilitetsförutsättningarna i lermark

På uppdrag av Planenheten vid Länsstyrelsen i Västmanlands län utförde SGI en äldre version av översiktlig kartering av stabilitetsförutsättningarna i lermark inom länet, SGI (1983). Ett urval av åslänter och sjöstränder studerades. Endast områden med tät bebyggelse och framtida utbyggnadsområden medtogs. Undersökningsområdena utvaldes i samråd med länsstyrelsen och berörda kommuner. På Karta 1 och 2, A-G, redovisas var de platser är belägna som utreddes i denna utredning. Denna utredning var mera översiktlig än de utredningar som utförs i MSB:s regi.

– Översiktlig stabilitetskartering av ler-, silt- och sandslänter inom Köpings stadskärna

Översiktlig stabilitetskartering i MSB:s regi har ännu inte utförts i Västmanlands län. Köpings kommun har dock på eget initiativ låtit utföra översiktlig stabilitetskartering enligt MSB:s modell längs Köpingsån med tillflöden inom Köpings stadskärna, SGI (2011). SGI har på uppdrag och initiativ av Köpings kommun, Tekniska kontoret, utfört denna översiktliga inventering av stabilitetsförhållandena längs åarna i Köpings stadskärna. Arbetet indelades enligt modellen i steg. Resultatet från det sista steg som benämns Etapp 1B redovisas i denna översiktliga klimat- och sårbarhetsanalys, se Karta 1 och 2, A-G.

7 KONSEKVENSER AV KLIMATFÖRÄNDRINGAR

7.1 Områden med förutsättningar för erosion, skred och ras

7.1.1 Förändringar i säkerhetsnivå

I de översiktliga stabilitetsutredningar som MSB (f.d. Räddningsverket) genomfört i Sverige framgår att de flesta områden med behov av fördjupade undersökningar omfattar slänter där vanliga jordarter är silt och sand.

Skred och ras utlöses ofta av erosion som sin tur ökar vid ökade flöden. Enligt en tidigare utredning, Fallsvik m.fl. (2006), förväntas frekvensen av skred och ras Västmanlands län att i mindre delområden vara oförändrade men huvudsakligen öka beroende på ökad nederbörd och avrinning och därmed ökad erosion och ökade portryck. Den utförda mera detaljerade klimatanalysen som nu utförts i denna rapport (SMHI:s Klimatanalys, Bilaga 1) visar att:

- Årsmedelnederbörden ökar med ca 20% till seklets slut. Den tydligaste nederbördsökningen ses för vintern. Liksom i dagens klimat kommer störst nederbördsmängder att falla i de nordvästra delarna av länet och mindre mängder i områdena runt Mälaren.
- De kraftiga regnen beräknas öka.
- Vattenföringens variation under året förändras mot högre höst-vinterflöden och lägre vårfloed. Trots ökad medelnederbörd kommer således storleken på höga flöden i vattendragen att minska främst på grund av en förlängd och därmed utjämnad snösmältningssäsong.
- Lågvattenperioden blir längre och med lägre flöden.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet ser ut att minska något under seklet för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Sagån och Köpingsån i jämförelse med referensperioden 1963-1992. Svartåns 100-årsflöde ser ut att bli i stort sett oförändrad under stora delar av seklet.

Klimatanalysen påvisar således ökad nederbörd och årsmedelvattenföring men däremot på minskande 100-årsflöden i merparten av de studerade vattendragen. Sammantaget erhålls därför en splittrad bild av utvecklingen av problemen förenade med erosion som ger upphov till skred och ras. Hänsyn har inte tagits till den effekt reglering av vattendrag innebär.

Slänter av tät jord kan ibland innehålla lager av genomsläppliga jordar. I dessa lager kan ett vattenövertryck uppstå i samband med hög nederbörd. Innan trycket har utjämnats innebär det en försämring av säkerheten mot stabilitetsbrott.

Många av de slänter där stabilitetsutredning genomförts i Västmanlands län har ett vattendrag vid släntfoten. Ökad strömning i vattendraget resulterar i ökad erosion som inverkar negativt på säkerheten. Påverkan blir mindre om vattennivån i vattendraget stiger eftersom det vattentryck som påverkar slänten har en stabiliserande verkan. Om vatten-

nivån i vattendraget sjunker undan snabbare än vattentrycket i slänten normaliseras uppstår ett kritiskt läge när det gäller säkerheten mot ras och skred.

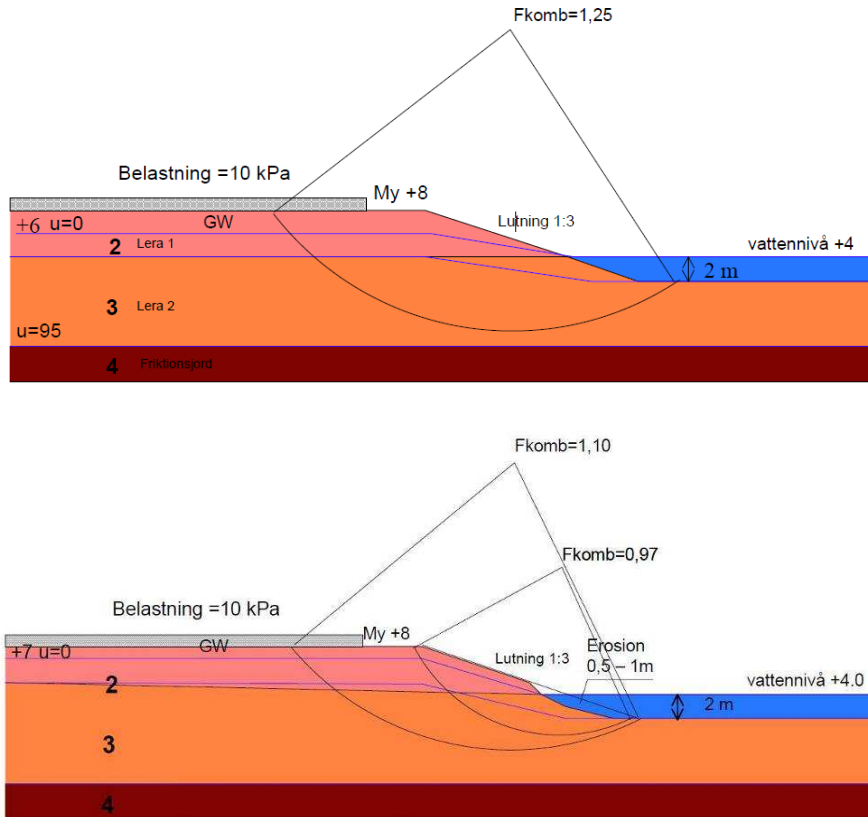
Sammanfattningsvis kan konstateras att klimatsimuleringar ger att nederbörden väntas öka. Eftersom klimatförändringens påverkan på den framtida vattenföringen inte är lika entydig erhålls en splittrad bild av utvecklingen av problemen förenade med erosion som ger upphov till skred och ras. Detta medför att i vissa lägen kan klimatförändringen påverka riskerna för ras och skred inom områden med otillfredsställande stabilitet för dagens förhållanden.

7.1.2 Ändrade förhållanden på grund av förändring av klimatet

De flesta sked och ras inträffar under perioder då trycket i markens porer är högt till följd av till exempel intensiv nederbörd, snösmältning och låg uppsugningsförmåga i växtligheten. Klimatanalys för Västmanlands län, SMHI (2012), se Bilaga 1, visar på en ökning av nederbörden, vilket innebär att risken för skred och ras kommer att öka. Klimatanalysen visar också att vattenföringens variation under året förändras mot högre höst- och vinterflöden och lägre vårfloed samt att lågvattenperioden blir längre.

Generellt kommer de förändrade nederbördsförhållandena att påverka yt- och grundvattennivåer, portryck i marken samt vattenföring och vattennivåer i vattendragen. Samtliga dessa förändringar kan var för sig eller i kombination minska säkerheten mot stabilitetsbrott. Det går idag inte att kvantitativt bedöma sambandet mellan de olika parametrarna, dels på grund av osäkerheter i klimatanalysen och dels på grund av osäkerheter i markyta och jordlagerföljder.

För att studera hur jordslänters stabilitet förändras vid förändrat klimat med främst ökade nederbörds mängder, har ett antal typfall studerats (SGI, 2005). Studien visar att det är rimligt att anta en försämring av säkerheten på mellan 5 % och 30 % beroende på vilka förhållanden som antas. I Figur 7-1 visas ett exempel på en lerslänt som är typisk för mellersta Sverige. Där medför en höjning av grundvattentytan med en meter i kombination med ett erosionsangrepp en minskning av säkerhetsfaktorn med 19 %.



Figur 7-1 Exempel på en typslänt som beräknats för nya klimatförutsättningar (SGI, 2005).

Klimatanalysen visar att nederbörden kommer att öka och detta kan leda till ökade grundvatten- och portryck samt erosion. Dessutom kan perioder med lägre vattenstånd innebära en ökad skredrisk då den mothållande kraften i vattnet minskar. Sammanfattningsvis ökar riskerna för ras och skred inom områden med otillfredsställande stabilitet för dagens förhållanden. Det innebär att slänter som idag betraktas som stabila kan få en otillfredsställande säkerhet.

7.2 Områden med förutsättningar för moränskred och slamströmmar

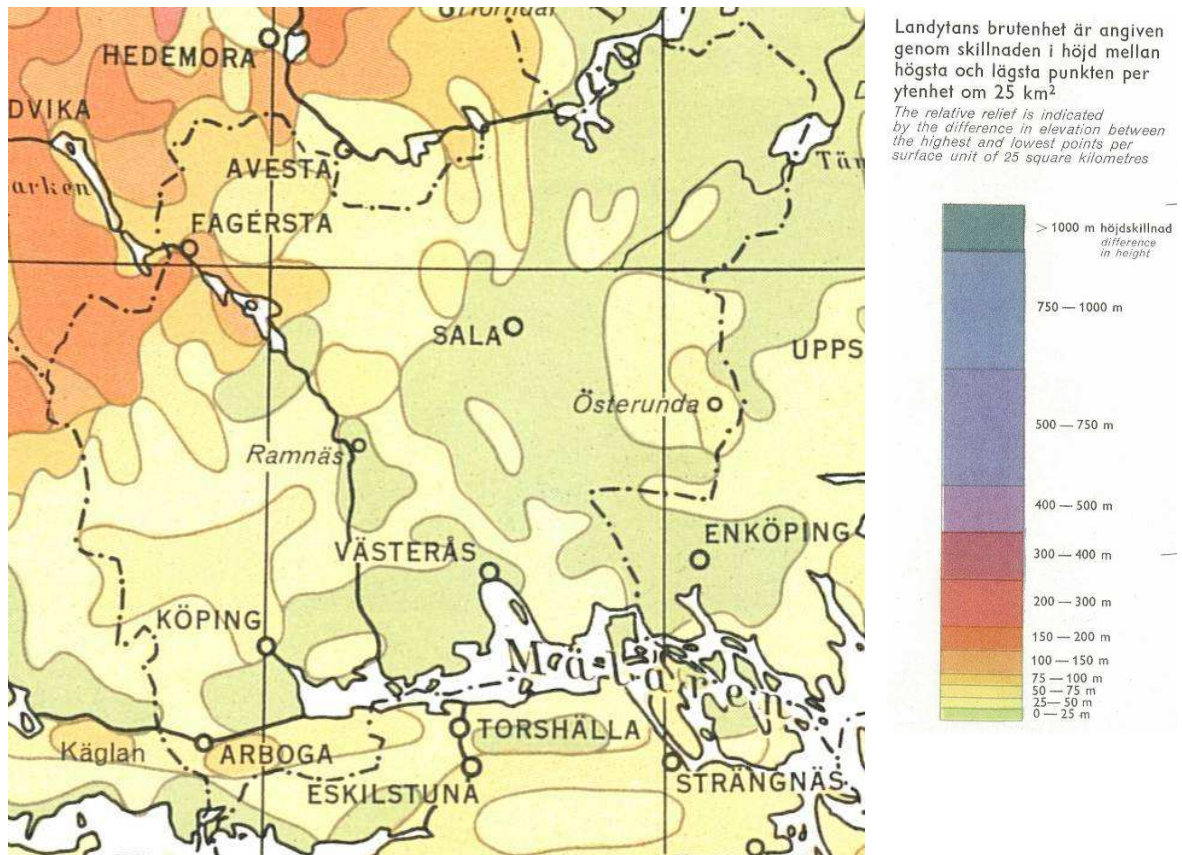
I branta slänter i morän kan såväl skred som slamströmmar uppkomma, och där det även finns vattendrag med tillräckligt stora avrinningsområden kan slamströmmar transporteras längre sträckor och påverka bebyggelse och infrastruktur. I de nordvästligaste delarna av Västmanlands län, främst i Fagersta och Skinnskattebergs kommuner, kan topografiska förutsättningar finnas för att mindre slamströmmar skulle kunna bildas.

Slamströmmar utlöses oftast vid intensiva regn sommartid, vilka brukar omfatta ett begränsat område. Klimatförändringen väntas innebära ökad frekvens av intensiv nederbörd sommartid.

I MSB:s regi utförs successivt kommunvisa översiktliga utredningar i vilka tätbebyggda områden karteras med förutsättningar för moränskred och slamströmmar. Sådana utredningar har dock inte utförts i Västmanlands län, främst med anledning av att tätbebyggda områden är få i länets mera kuperade delar.

Topografiska förutsättningar för att moränskred och slamströmmar ska uppstå finns således i de områden där landskapets brutenhet är störst. Kartan i Figur 7-2 visar hur landskapets brutenhet varierar inom länet och utgör ett översiktligt underlag för bedömning av benägenheten för moränskred och slamströmmar. Västmanlands län bedöms dock inte tillhöra en region där skadliga slamströmmar är vanliga.

Det framgår av kartan i Figur 7-2, att i de nordvästra delarna av länet utmed gränsen mot Dalarna är höjdskillnaden 150-200 m per ytenhet om 25 km² och som högst 200 à 300 m, Altas över Sverige (1957). I dessa trakter där de topografiska förhållandena kännetecknas av begränsad brutenhet, bedöms att eventuella slamströmmars storlek enbart kan bli begränsade, men att de trots detta möjligen kan ha en potential att förstöra byggnader och egendom samt kunna skada människor. I övriga delar av länet är riskerna för slamströmmar obefintliga.



Figur 7-2 Utdrag ur Atlas över Sverige (1957), Landytans brutenhet. (Skalan uppförstorad till 1:1 milj.)

7.2.1 Klimatförändringens inverkan

I dagens klimat finns det möjligen förutsättningar för moränskred och slamströmmar i de nordvästligaste delarna av Västmanlands län på grund av de topografiska förhållandena, nederbörds- och avrinningsförhållandena samt jordlagerförhållandena.

Enligt SMHI (2012), Bilaga 1, Figur 5.2-6, kommer intensiv nederbörd att öka fram till tidsperioden 2069-2098, och därmed ökar erosionen längs mindre bäckar och vattendrag. På grund av klimatförändringen kommer därför översiktligt benägenheten för moränskred och slamströmmar att öka. Detta gäller främst i den nordvästligaste delen av länet där dels de topografiska förutsättningarna finns, dels där den intensiva nederbörden kommer att öka mest.

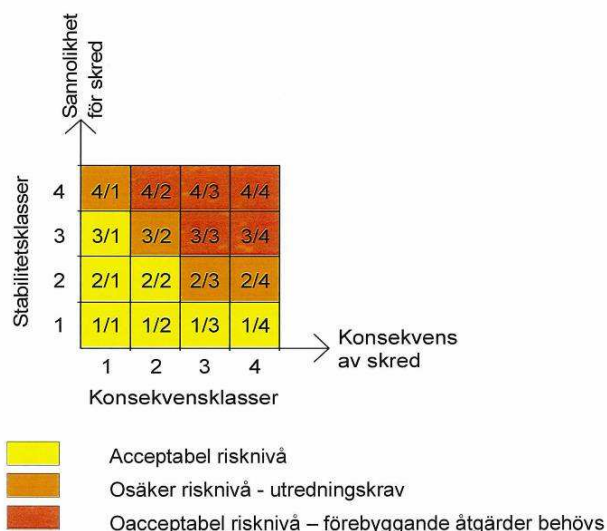
I de flackare delarna av länet, i Mälardalslandskapet, förblir benägenheten för moränskred och slamströmmar små på grund av flackare topografi.

8 RISKER FÖR BEBYGGELSE OCH SAMHÄLLSVIKTIG VERKSAMHET

8.1 Risker för naturolyckor

Denna utredning har syftat till att översiktligt klargöra områden som kan påverkas av naturolyckor och med hänsyn tagen till framtida klimatförändringar. Utredningen är avsedd att användas som ett underlag för länsstyrelsens regionala samordning av klimatanpassning samt vid arbete med kommunernas risk- och sårbarhetsanalyser och fysiska planering.

Det finns förutsättningar för naturolyckor (skred, ras, erosion, slamströmmar och översvämning) på flera platser i länet vid dagens förhållanden och i ökad utsträckning vid klimatförändringar, som redovisats i tidigare avsnitt. Detta innebär att bebyggelse, dammar och infrastruktur kan skadas samt att miljöfarlig verksamhet och förorenade områden kan påverkas. Risken för en sådan skada kan definieras som en kombination av sannolikheten för en sådan skada och dess konsekvenser, jfr Figur 8-1.



Figur 8-1. Illustration av risker för skred som en kombination av sannolikhet och konsekvenser.

Sannolikheten eller förutsättningar för en naturolycka beror av naturliga geotekniska och topografiska förhållanden som redovisats i tidigare avsnitt. I denna utredning redovisas förutsättningar för fara för olika typer av naturolyckor. *Konsekvenser* är de värden som drabbas av en olycka, t.ex. skador på människor och egendom eller värdefull natur. *Riskerna* uttrycks i denna utredning som en sammanvägning av sannolikhet / förutsättningar för naturolyckor och konsekvenser redovisat på en översiktlig nivå.

Figur 8-1 visar ett sätt att värdera risken för en naturolycka, här exemplifierad för skred. Där sannolikheten för skred är stor och samtidigt konsekvenserna är omfattande är risken oacceptabel och åtgärder behöver vidtas (de röda fälten i figuren). Om risknivån är osäker (orange fält) behöver utredningar utföras för att klargöra risknivån.

Om risknivån är acceptabel för dagens förhållanden (de gula fälten) kan en ökad sannolikhet för skred till följd av klimatförändringar innebära att en osäker eller oacceptabel risknivå uppkommer. Detsamma gäller om konsekvenserna ökar, t.ex. om ett områdes värde ökar till följd av exploatering i ett område med risk för naturolyckor.

Om å andra sidan åtgärder vidtas för att minska sannolikheten för en naturolycka genom att förstärkningsåtgärder utförs kan riskerna elimineras eller minskas.

I detta avsnitt beskrivs översiktligt hur naturolyckor kan påverka följande kategorier:

- Bebyggelse
- Förorenade områden
- Miljöfarlig verksamhet
- Riskobjekt
- Vägar
- Järnvägar
- Flygfält
- Hamnar
- Dammar
- Vattenskyddsområden

Dessa uppräknade objekt samt områden förutsättningar för naturolyckor har sammanställts på Karta 1 och 2, A-G. Härav framgår att känsliga områden eller punkter är främst lokaliserade till flera av tätorterna i länet, i huvudsak beroende på förekomst av bebyggelse, infrastruktur och olika typer av verksamhet. I dessa områden finns redan idag områden där det finns fara för naturolyckor och där risken kan komma att öka till följd av klimatförändringar. Samtidigt är denna utredning översiktlig och en mer detaljerad undersökning måste genomföras för att klargöra vilka platser och anläggningar som är utsatta för risker (sannolikhet och konsekvenser) kopplade till naturolyckor.

8.1.1 Översiktliga karteringar

Översiktliga utredningar ger ett underlag för val av lämplig markanvändning men är inte tillräckligt som beslutsunderlag för detaljerad planering och exploatering. Följande översiktliga utredningar har lagts in på de GIS-producerade kartorna, Karta 1 och 2, A-G:

- För närvarande finns för Västmanlands län enbart översiktlig kartering av förutsättningar för översvämningar utförda i MSB:s regi, medan översiktlig kartering av förutsättningar för skred, ras och slamströmmar ännu inte utförts. Köpings kommun har emellertid på eget initiativ utfört översiktlig stabilitetskartering inom Köpings stadskärna utmed Köpingsån och dess tillflöden Valstaån och Kölstaån.
- I denna klimatanpassningsutredning har SGI översiktligt sökt och markerat på kartor vilka områden som har topografiska och jordartsförhållanden som ger förutsättningar för skred.

- SGI har utfört översiktlig utredning av förutsättningarna för erosion utmed vattendrag och sjöstränder.
- SGI har tidigare utfört översiktlig stabilitetskartering för utvalda bebyggda platser på uppdrag av Länsstyrelsen i Västmanlands län enligt en äldre metod SGI (1983).

För att kunna bedöma behovet av förebyggande åtgärder och anpassning till klimatförändringar erfordras därför mer detaljerade undersökningar.

8.2 Bebyggelse

Störst fara för skred och ras finns inom områden med lösa lager av lera, silt och sand längs vattendragen. I Västmanlands län har MSB ännu inte genomfört översiktliga stabilitetskarteringar av varken förutsättningar för skred och ras eller för slamströmmar. Köpings kommun har dock på eget initiativ genomfört en översiktlig stabilitetskartering längs vattendragen i stadskärnan enligt MSB:s modell. De områden i Köping som identifierats vid denna översiktliga stabilitetskartering har markerats på bilagda Karta 1 och 2, A-G.

Vissa förutsättningar för moränkskred och slamströmmar finns i branta och/eller långa slänter och raviner i länets västligaste kommuner Fagersta och Smedjebacken

MSB har utfört översiktliga översvänningskarteringar längs de större vattendragen i länet. De områden som kan komma att översvämmas vid Beräknat högsta flöde har redovisats på Karta 1 och 2, A-G. Hänsyn har här inte tagits till förändrad vattenföring på grund av klimatförändringen. Den översiktliga karteringen baseras emellertid på alltför översiktligt topografiskt underlag för att kunna användas för värdering av risker för bebyggd miljö och tekniska anläggningar. Lokala översvämningar som förekommer vid häftiga regn har inte analyserats inom detta uppdrag.

Områden med förutsättningar för erosion enligt SGI:s översiktliga inventering finns längs delar av Hjälmarens och Mälarens stränder samt längs flera vattendrag. Bebyggelse som kan påverkas av sådan erosion redovisas på Karta 1 och 2, A-G.

En GIS-analys har utförts för att identifiera vilka exploaterings- och utredningsområden som ligger inom områden med förutsättningar för naturolyckor. Underlag för analysen har tillhandahållits av Västmanlands län. I de fall då beteckningar för utredningsområdena saknats i GIS-underlaget har SGI namngivit objekten. Resultatet redovisas i Bilaga 7 samt i Karta 1 och 2, A-G. Underlaget utgjordes av 73 exploaterings- och utredningsområden. Hela 92 % av dessa har, åtminstone i någon del av området, förutsättningar för ras/skred. 11 % av områdena har förutsättningar för erosion. Översvämning har identifierats som en risk för 55 % av områdena. Sju exploaterings- och utredningsområden påverkas av Mälarens 1,60 m och 3,10 m nivåer. Övriga 33 områden hotas av andra översvämningar. Sex exploaterings- och utredningsområden har förutsättningar för både skred/ras, erosion och översvämning. Observera att GIS-analysen identifierar ett område även om bara en liten del av området har förutsättningar för den aktuella naturolyckan. För en mer nyanserad bild, se Karta 1 och 2, A-G. Inventeringen har genomförts på översiktlig nivå och mer detaljerade undersökningar krävs för att bedöma riskernas storlek.



Figur 8-2. Exempel på skred, Vagnhärad, 1997. Foto: SGI.

8.3 Förorenade områden

Potentiellt förorenade områden har kartlagts och klassats enligt MIFO-metodiken (Metodik för inventering av förorenade områden). Metoden bygger på en sammanvägd bedömning av föroreningarnas farlighet (hälsa och miljö), föroreningsnivå (hur förorenat ett objekt är, eller misstänks vara, baserat på en sammanvägning av trolig halt, mängd och volym), spridningsförutsättningar, områdets känslighet och skyddsvärde. I förorenade områden ingår även nedlagda deponier. MIFO-metodiken och dess bedömningsgrunder är beskrivna i rapporter från Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 1999). Resultatet av bedömningen medför att objekten inordnas i fyra riskklasser:

- Klass 1 - Mycket stor risk
- Klass 2 - Stor risk
- Klass 3 - Måttlig risk
- Klass 4 - Liten risk

I denna utredning behandlas objekt med MIFO riskklass 1 och 2, dvs. mycket stor respektive stor risk. Inventeringen av förorenade områden avser områden med *förutsättningar* för naturolyckor och de konsekvenser som beskrivs är *möjliga* konsekvenser av en inträffad naturolycka. Sammantaget är kartläggningen att betrakta som en översikt över MIFO-objekt som hotas av naturolyckor. Resultatet kan användas som underlag för prioritering mellan områden både avseende fortsatt MIFO-arbete och avseende mer detaljerade utredningar av sannolikheten för naturolyckor.

8.3.1 Inventeringsresultat

Länsstyrelsen i Västmanlands län har tillhandahållit en sammanställning av inventerade potentiellt förorenade områden. Objekt inom område med förutsättningar för naturolyckor redovisas i Karta 1 och 2, A-G, och summeras i Bilaga 2. Övriga objekt finns dock levererade med GIS-databasen.

Områden med risk för naturolyckor innefattar 15 potentiellt förorenade områden i riskklass 1 och 56 områden i riskklass 2. Förutsättningar för översvämning finns för ca i princip alla objekt i riskklass 1 och för ca 70 % av objekten i riskklass 2. Förutsättningar för ras eller skred finns hos ca 30 %. Erosionsförutsättningar finns endast vid sex av objekten.

Olika typer av metallindustri dominerar objekten med riskklass 1, men även ytbehandling, sågverk och oljeraffinaderi förekommer. Tre av objekten tillhör Kohlswa industriområde och har förutsättningar för erosion, ras/skred, översvämning eller en kombination av dessa. I riskklass 2 är järn- och stålmanufaktur samt verkstadsindustri med halogenerade lösningsmedel vanligast förekommande.

8.3.2 Naturolyckors påverkan på förorenings-spridning

Långvariga eller frekventa översvämningar kan medföra utlakning av föroreningar till ytvatten och eventuellt även spridning till icke förorenad mark. Spridningen till mark och vatten kan ske både som lösta föroreningar och genom partikelspridning. Översvämning orsakar förändrade syreförhållanden i marken, vilket kan påverka utlaknings-hastigheten för vissa kemikalier.

Erosion innebär risk för partikelspridning av föroreningar till ytvatten.

Ras, skred, moränskred och slamströmmar kan innebära snabba och omfattande förflyttningar av jordmassor, inte sällan ut i ytvatten. Spridning till omgivande mark och till ytvatten kan sedan ske som lösta föroreningar och genom partikelspridning. Rasmassor i strömmande vattendrag kan orsaka smala och grunda passager där rasmassorna eroderar relativt snabbt pga. vattnets förhöjda hastighet genom området. Dessa naturolyckor kan också resultera i att föroreningar som tidigare låg skyddade under markytan görs tillgängliga för människor, växter och djur i området.

8.4 Miljöfarlig verksamhet och riskobjekt

8.4.1 Bakgrund

Med miljöfarlig verksamhet avses här verksamhet som enligt Miljöbalken är tillståndspliktig (Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, SFS 1998:899).

Riskobjekt kallas sådana verksamheter som omfattas av den så kallade Sevesolagstiftningen (Lag om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor, SFS 1999:381; Förordning om åtgärderna för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor, SFS 1999:382).

En verksamhet kan omfattas endera av tillståndsplikt enligt Miljöbalken eller av Sevesolagstiftningen, eller båda. Uppgifter om miljöfarlig verksamhet och riskobjekt har inhämtats från Länsstyrelsen i Västmanlands län.

Inventeringen av miljöfarlig verksamhet och riskobjekt avser områden med förutsättningar för naturolyckor, och de konsekvenser som beskrivs är möjliga konsekvenser av en inträffad naturolycka. Kartläggningen är en översikt över miljöfarliga verksamheter som hotas av naturolyckor, men ingen hänsyn tas till sannolikheten för t.ex. skred i ett område med förutsättningar för skred. Resultatet bör användas som underlag för beslut om mer detaljerade utredningar av sannolikheten för naturolyckor i särskilt utsatta områden.

8.4.2 Miljöfarlig verksamhet

De miljöfarliga verksamheterna har beteckningarna A, B eller C där A-verksamheter är de med störst potentiell miljöpåverkan t.ex. gruvor, pappersmassafabriker och stora vindkraftverk. A-verksamheter är tillståndspliktiga och prövas av miljödomstol eller av regeringen. B-verksamheter är tillståndspliktiga och prövas av länsstyrelsen. Exempel på sådan verksamhet är energianläggningar, olika slags industrier, skjutfält och flygplatser. C-verksamheter är endast anmälningspliktiga, exempelvis skjutbanor, Försvarsmaktens hamnar, små industrier, stora växthus och små vindkraftverk. I denna utredning beaktas verksamheter som hanterar kemikalier och är tillståndspliktiga enligt beteckning A eller B.

En lista med identifierade verksamheter finns i Bilaga 2. Inom riskområde för naturolyckor har två A-verksamheter och 25 B-verksamheter identifierats. A-verksamheterna är Ruuki Sverige AB och Surahammars bruk AB, vilka båda är belägna inom områden med förutsättningar för översvämning. 75 % av de identifierade B-verksamheterna ligger inom område med förutsättningar för översvämning och övriga 25 % ligger på platser som uppfyller förutsättningar för skred/ras. Ingen av de miljöfarliga verksamheterna hotas av både översvämning och skred/ras. Inga A- eller B-verksamheter ligger heller inom områden med förutsättningar för stranderosion.

Metallindustri, återvinningscentraler och hamnar dominerar de identifierade verksamheterna. Möjliga konsekvenser till följd av ras/skred och översvämning beror till stor del på vilka kemikalier som används inom verksamheten och hur de hanteras.

8.4.3 Riskobjekt

Reglerna i Sevesolagstiftningen styr verksamheter där farliga ämnen förekommer i stora mängder vid ett och samma tillfälle; gränserna beror på ämnens kemiska egenskaper. Lagstiftningen innebär bland annat att verksamhetsutövarna är skyldiga att vidta alla åtgärder som krävs för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor för människa och miljö. De är dessutom skyldiga att upprätta ett handlingsprogram för hur riskerna för allvarliga kemikalieolyckor ska hanteras. Kommunen är skyldig att utarbeta en plan för räddningsinsatser vid dessa verksamheter.

Fem Sevesoklassade anläggningar ligger inom områden med förutsättningar för naturolyckor. Arboga Hårdkrom, Mälarhamnar AB Köpings hamn, Surahammars Bruk AB och Almer Oil & Chemical Storage AB ligger inom områden med förutsättningar för

översvämning, se även Bilaga 2. Ovako Hallstahammar ligger inom område med förutsättningar för ras/skred. Förutsättningarna bör utredas mer i detalj för att bedöma riskerna för naturolyckor. Inga anläggningar ligger inom område med förutsättningar för erosion.

8.5 Vägar och järnvägar

Risksituationen för vägar och järnvägar påverkas av hur omgivande områden ser ut och hur de används. Även utformningen av ingående konstruktioner i väg- eller järnvägsanläggningen påverkar riskerna.

Även användningen av omgivande markområden har avgörande betydelse för säkerheten mot ras, skred och erosion. Förändringarna i risknivå kan ske under lång tid eller nästan omedelbart. Exempel på smygande förändringar är dräneringar som installerats i omgivande skogs- eller jordbruksmark men därefter inte underhålls. Dammkonstruktioner, som inte underhålls, uppströms väg eller järnväg kan också utgöra hot när de brister. Snabba förändringar kan bero på skogsavverkningar där effekterna blir ännu större vid efterföljande markberedning. Exploatering av naturmark till hårdgjorda ytor eller ny- eller ombyggnad av omkringliggande anläggningar påverkar även avvattningsituationen.

Utformningen av väg- eller järnvägsanläggningen påverkar också risken för ras, skred och erosion. Det gäller utformning av avvattningsanläggningar såsom diken, trummor och dräneringar, erosionsskyddens utbredning och motståndskraft samt uppbyggnad av jordkonstruktionerna. Anläggningsägaren Trafikverket är medveten om betydelsen av dessa delar och förbättrar anläggningarna successivt. När det gäller omgivningen är topografi, jordart och påverkan av vatten de faktorer som har störst betydelse. Branta sluttningar, jordarter som silt, lera och sand samt påverkan från nederbörd och strömmande vatten kan påverka stabilitetssituationen negativt. Där dessa faktorer kombineras kan säkerheten vara låg. Översvämningensrisken är av naturliga skäl störst i låglänta områden i anslutning till sjöar eller vattendrag.

8.5.1 Riskanalyser för vägar

Trafikverket (dåvarande Vägverket) påbörjade år 2007 en analys av riskerna längs det nationella vägnätet. Analyserna har genomförts enligt den metod som presenteras i Vägverkets publikationer 2005:54 och 2005:55 "Riskanalys vald vägsträcka". De kriterier som legat till grund för urvalet har varit stor trafikmängd eller tidigare observerade situationer som skulle kunna vara tecken på problem med stabiliteten eller risken för översvämning. Ett annat kriterium för urval har varit sträckor som innehåller en eller flera av de faktorer som bedöms ha betydelse för säkerheten såsom branta lutningar besvärliga jordarter eller ogynnsam vattensituation, Hardt (2012).

Genom den riskinventering som utförts av samtliga vägar i Västmanlands län har man kunnat konstatera att säkerheten mot ras och skred är god. Ett fåtal utpekade lokaler är under fördjupad utredning och i några fall projekteras och utförs riskreducerande åtgärder.

Riskinventeringen som genomförs kan emellertid inte eliminera alla risker. Vid tillfällen med extrema belastningar kan det uppstå situationer som är svåra att förutse. De utgörs inte sällan av vägtrummor som av olika anledningar förlorar avsedd funktion. Följden av detta blir ofta översvämningar samt att vägen spolats bort på en kortare sträcka. Vid slänter med finkorniga jordar utmed vattendrag kan det i svåra fall leda till stranderosion. Då kan släntens geometri förändras och på så sätt försämra stabiliteten så att även ras eller skred uppstår.

Resultatet från riskanalyserna ingår i den löpande verksamheten för drift och underhåll av vägnätet. Behov av ombyggnader åtgärdas efterhand. Innan de har hunnit åtgärdas får driftpersonalen varningar när väderläget kräver större beredskap. Det gör att man under vissa perioder kan öka övervakningen på kända ställen.

Med hjälp av de GIS-lager som bifogas denna utredning kan vägavsnitt som passerar områden med förutsättningar för översvämning, erosion, skred och ras sökas med overlayteknik i senare mera detaljerade utredningar.

8.5.2 Bedömning av risker längs järnvägar

Trafikverket genomför regelbundet säkerhetsbesiktningar av banorna. Tidsintervallet mellan besiktningstillfällena är beroende av vilken anläggningsdel som avses, banans trafikbelastning uttryckt som antal bruttoton och största tillåtna hastighet. Det betyder att anläggningsdelar som har betydelse för att förhindra ras och skred som trummor, diken, dräneringar och erosionsskydd säkerhetsbesiktas 2-3 gånger per år på de flesta banorna. I samband med säkerhetsbesiktningen får de delar av anläggningen som innehåller fel eller försämras successivt besiktningssmärkningar. När smärkningarna senare åtgärdas kan fel som kan leda till olyckor eller tillbud förebyggas eller förhindras. Anläggningarnas risknivå är en direkt funktion av föreskrifternas efterlevnad. Trafikverket gör även underhållsbesiktning på järnvägssträckorna inom Västmanlands län, Osmanovski (2012).

I Köping passerar spåren fram till Köpings hamn, Mälarhamnar, längs den södra stranden av Köpingsån över ett område där stabilitetsförhållandena bör utredas ytterligare. I Västmanlands län finns för övrigt, enligt de bedömningar som Trafikverket gör, inga ytterligare utpekade sträckor med förhöjda risker när det gäller ras, skred, erosion eller översvämning. Detta utesluter emellertid inte att det kan uppstå problem längs andra bansträckor om extrema vädersituationer uppkommer eller om anläggningen har okända brister. Vid ovanlig väderlek kan en extra besiktning beställas av banförvaltare (högt vattenflöde, hög värme, etc).

Längs ett fåtal speciellt utsatta järnvägssträckor i landet har Trafikverket ras- och skredvarningssystem installerade. Rasskydd finns på ett fåtal platser. Inga av dessa installationer finns i Västmanlands län.

Med hjälp av de GIS-lager som bifogas denna utredning kan järnvägsavsnitt som passerar områden med förutsättningar för översvämning, erosion, skred och ras sökas med overlayteknik i senare mera detaljerade utredningar.

8.6 Hamnar

Sjöfarten påverkas inte i någon allvarligare grad av klimatförändringarna när det gäller naturolyckor, enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU (2007). Höga vattenstånd kan däremot avsevärt påverka hamnverksamheten om vattennivån når över hamnkrönet. Beroende på respektive hamns utformning samt förändrade strömningsförhållanden på grund av såväl klimatförändringen som mänsklig påverkan kan ökad sedimenttransport innebära ett ökat behov för underhållsmuddring.

I Västmanlands län finns två hamnar med frakttrafik enligt länsstyrelsens sammanställning, se Tabell 8-1. Vid Köpings hamn finns förutsättningar för översvämning, erosion och skred. Vid Västerås hamn finns förutsättningar för översvämning och skred. Utredningsbehov finns således.

Tabell 8-1 Hamnar med frakttrafik i Västmanlands län

Hamn	Status	Klass
Västerås hamn	Riksintresse för sjöfarten	Transeuropean network A-hamnar
Köpings hamn	Riksintresse för sjöfarten	Transeuropean network A-hamnar

8.7 Flygplatser samt mindre flygfält

Luftfarten påverkas inte i någon allvarligare grad av klimatförändringarna, Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007). Ett varmare klimat kan påverka tjäldjupet med konsekvenser för flygfältens bärighet. Ökade nederbörds mängder belastar flygplatsernas dagvattensystem och kan föranleda en tidigareläggning av planerade ombyggnader. Behovet av avisnings- och halkbekämpningsmedel ökar i de norra delarna av landet.

I Västmanlands län finns en flygplats med reguljärtrafik samt sex mindre flygplatser, se Tabell 8-2. För delar av den större flygplatsen Stockholm/Västerås flygplats finns förutsättningar för översvämning. Utredningsbehov finns således. Större flygplatser har omfattande försörjningssystem och hanteringen av dagvatten är viktig för vattenavrinningen på flygfältsytorna. Andra försörjningssystem som krävs är t.ex. vatten- och spillvattensystem, elkraft-, data- och telesystem samt tekniska försörjningssystem för flygplan inklusive bränsleförsörjning. Dagvattensystemen är på många svenska flygplatser till viss del åldersstigna och underdimensionerade. De är i behov av successiv renovering och kapacitetsutbyggnad. Systemen är inte helt redundanta³ vad gäller elförsörjning, Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007).

Flera extrema väderhändelser har verkat störande på flygtrafiken, exempelvis stormen Gudrun år 2005 samt översvämningarna i Mellannorrland i juli 2000. Enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen har dock flygtrafiken endast påverkats under en kortare tid

³ Så kallad redundans byggs ofta in i system som måste ha hög tillförlitlighet. Exempelvis kan elsystem ha två oberoende kretsar med samma uppgifter som kan ersätta varandra, så att om en av kretsarna havererar så tar den andra över.

vid dessa händelser. För gods är det lättare att hitta alternativa transportvägar än för persontrafiken.

Till de negativa konsekvenserna räknas en ökad frekvens av intensiva regn, med följdverkningar för lågt liggande flygplatser samt för flygplatsernas dagvattensystem. Dagvattenanläggningarnas kapacitet är ansträngd redan i dagsläget och kommer att belastas ytterligare i ett framtida klimat. Ökad nederbörd, högre grundvattennivåer och ökade vattenflöden kan påverka flygfältsytornas bärighet negativt, varför effektiva dagvattensystem kommer att bli än mer betydelsefulla i framtiden. Enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen behövs en kartläggning av behovet av en eventuell tidigareläggning av renovering av flygplatsers dagvattensystem utifrån ökad nederbörd i ett förändrat klimat. Då dagvattensystemen redan är underdimensionerade i dagsläget är inte hela denna kostnad klimatrelaterad.

Tabell 8-2 En större flygplats samt några mindre flygfält i Västmanlands län

Flygplatsens/ flygfältets namn	Kommun / stad	Status	Reguljära för- bindelser
Stockholm/Västerås flygplats	Västerås	Större flygplats	Barcelona Palma de Mallorca Alicante Malaga London Visby
Hellby Säteri	Västerås	Gräsbana	-
Johannisberg flyg- fält	Västerås	Asfalterad bana + Gräsbana	-
Köping	Köping	Gräsbana	-
Arboga	Arboga	Asfalterad bana + Gräsbana	-
Sala flygfält	Sala	Gräsbana	-
Norbergs flygfält	Norberg	Asfalterad bana	-

8.8 Dammar

Enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen är extrema flöden den klimatfaktor som helt dominerar när det gäller dammsäkerhet. Andra klimatfaktorer som vind, tjäle och is påverkar också säkerheten i varierande grad men dock i mindre omfattning än extremflöden SOU (2007).

Konsekvenserna av ett dammbrott skiljer sig från damm till damm och beror bland annat på flödessituationen, magasinets storlek, dammens höjd, typ av damm och förhållandena nedströms. I Sverige finns ett antal dammar där ett dammbrott skulle leda till katastrofala konsekvenser, många av dessa är lokaliserade i norra Sverige. Flertalet av de ca 10 000 dammar som finns i Sverige är små och för många av dessa skulle ett dammbrott leda till endast obetydliga konsekvenser SOU (2007).

Dammar klassificeras efter hur stora konsekvenserna bedöms bli i händelse av dammbrott enligt RIDAS (Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet) konsekvensklassningssystem. I olika klasser placeras de dammar som vid ett dammbrott kan orsaka beaktansvärda skador på människor, miljö, samhällsanläggningar och andra ekonomiska värden, Svenska Kraftnät (2010). Av länsstyrelsens underlag framgår inte dammarnas status enligt RIDAS riktlinjer. För dammar där ägarna arbetar enligt RIDAS riktlinjer, Svenska Kraftnät (2010), bedöms att risker för naturolyckor hanteras på tillfredsställande sätt. Det finns däremot behov av en uppdatering av uppgifter om övriga dammar i länet, där säkerheten är oklar och där ett dammbrott kan orsaka omfattande skador. En komplettering bör göras avseende klassning av dammarna enligt RIDAS riktlinjer.

I fråga om de små dammarna, som ibland har oklara ägarförhållanden, kan det i vissa fall förekomma brister i funktionen. Där kan det finnas behov av att öka kunskapen om hur dessa brister kan åtgärdas.

Det material kring dammar som använts i denna rapport har tillhandahållits av Länsstyrelsen i Västmanlands län. I detta underlag finns inte Svenska Kraftnäts klassificering av dammarna. I SMHI:s Klimatanalys, SMHI (2012), Bilaga 1, anges bl.a. 100-

årsflöden i dagens klimat och den framtida beräknade förändringen i Arbogaån, Hedströmmen, Köpingsån, Kolbäcksån, Svartån och Sagån.

8.9 Vattenskyddsområden

Vattenförekomster och vattentäkter måste skyddas mot föroreningar, såväl punktutsläpp som diffusa föroreningskällor samt akuta olyckshändelser. Enligt EG:s ramdirektiv för vatten som trädde i kraft år 2000 ska alla grundvattenförekomster som försörjer fler än 50 personer eller har ett vattenuttag större än 10 kbm per dygn uppnå god status senast 2015 och deras kvalitet ska säkerställas för framtiden (Naturvårdsverket, 2003). För att skydda dricksvattentäkter kan länsstyrelsen eller kommunen fastställa vattenskyddsområden för viktiga grund- och ytvattenförekomster.

En förändrad vattenbalans i och kring vattenskyddsområdena kan förändra såväl risken för som hastigheten vid föroreningsspredning. Sundén et al (2010) menar att ”klimatförändringarnas största betydelse för vattenförsörjningen är kopplade till extremvädersituationer som ger översvämning eller påverkar grundvattnets strömningsriktning”. Översvämningar och skred kan frigöra och sprida föroreningar och ökade temperaturer kan gynna den bakteriella tillväxten.

I syfte att identifiera potentiella hot mot vattentäkterna i länet har en GIS-analys genomförts för att identifiera förutsättningar för naturolyckor. Resultatet av analysen presenteras i Bilaga 4. Förutsättningar för naturolyckor finns vid 27 av länets vattenskyddsområden. Vid 25 vattenskyddsområden finns förutsättningar för skred, tio har förutsättningar för översvämning och nio har förutsättningar för erosion. Vid följande fem vattenskyddsområden finns förutsättningar för både skred/ras, översvämning och erosion: Hallstahammar/Kolbäck/Strömsholm, Hedströmmen Kolsva, Rävsnäs, Vallby Kolbäck samt Virsbo-Ramnäs Seglingsber.

9 STRATEGIER OCH ALTERNATIVA UTFÖRANDE FÖR SKYDD MOT NATUROLYCKOR

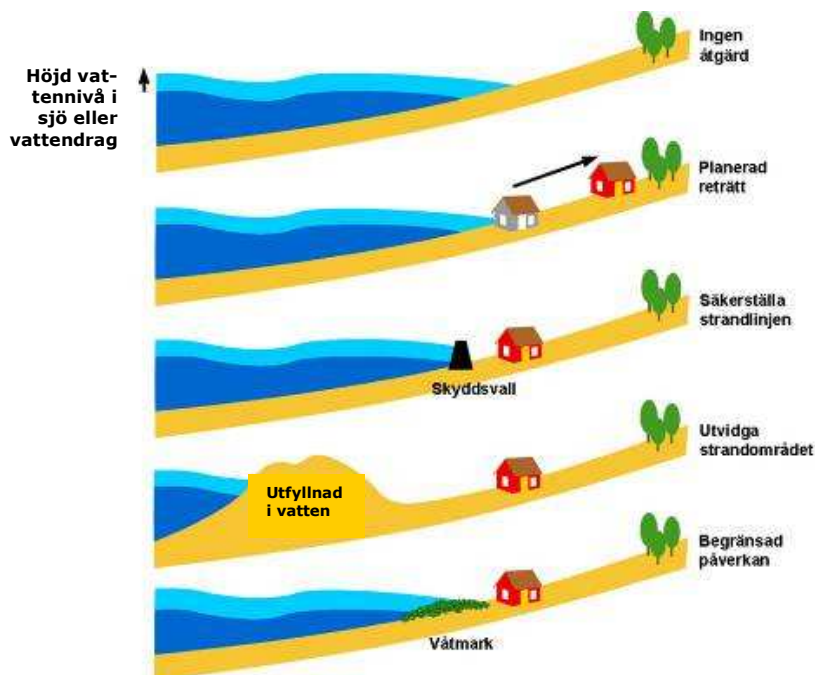
9.1 Strategier för markanvändning

Det råder fortfarande stor osäkerhet kring detaljerna om hur klimatet kommer att utvecklas i en given region, något som speciellt gäller för extrema väderhändelser. Detta kommer att gälla en lång tid framöver. Budskapet ändras också efterhand som nya data och beräkningar blir tillgängliga från forskarsamhället. En ytterligare osäkerhet är hur det internationella samfundet ska lyckas hejda utsläppen av växthusgaser i framtiden och vad detta medför för klimatet.

Mot denna bakgrund bör man tillämpa en strategi som präglas av ökade säkerhetsmarginaler vid fysisk planering. Det innebär att säkerställa tillräckligt avstånd i både plan och höjd för att kunna klara en ökad fara för t.ex. översvämning, erosion eller sked.

Det är också viktigt att ge förutsättningar för en flexibel markanvändning, exempelvis genom att ha utrymme och möjlighet att vidta åtgärder för framtida klimatförändringar. Det kan exempelvis innebära att det finns plats för en skyddsvall eller avschaktning av en slänt med otillfredsställande stabilitet.

För att undvika skador till följd av översvämning, erosion, skred och ras finns ett antal alternativa strategier som kan väljas, både för befintlig bebyggd miljö och för ny bebyggelse, jfr Figur 9-1.



Figur 9-1. Alternativa strategier för utveckling och skydd av strandnära områden, efter EuroSION reports (2004).

Det handlar om att utifrån en bedömd riskbild och befintliga värden som kan behöva skyddas att välja det samhällsekonomiskt mest lämpliga alternativet. Den strategi som väljs innebär olika konsekvenser för människa och miljö samt leder till kostnader för såväl kommunen som enskilda. Här finns också möjlighet att antingen välja att permanent utföra åtgärder som ger tillfredsställande säkerhet eller att ha beredskap för att skydda mot eventuella naturolyckor.

9.2 Förebyggande åtgärder mot naturolyckor

Det finns ett stort antal olika metoder som kan tillämpas för att säkerställa skydd av områden med risk för naturolyckor. En sammanställning gjordes i samband med en översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion som underlag för Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60, bilaga B 14). För skydd mot olika typer av naturolyckor hänvisas till denna rapport.

Det finns risker för naturolyckor redan för dagens förhållanden och dessa kan komma att öka till följd av klimatförändringar. Vissa preventiva åtgärder behöver bli utförda redan nu, medan andra kan utföras vid ett senare tillfälle, då sannolikt bättre kunskap finns om klimatets påverkan. Det innebär att man kan anpassa förstärknings- och anpassningsåtgärder och successivt öka skyddet mot skred/ras, erosion och översvämning. I vilken omfattning och för vilka tidsperspektiv som anpassningsåtgärder ska vidtas behöver studeras mer detaljerat.

9.3 Skötselplaner / slänt- och skogsvård

9.3.1 Diken, dränering, vägar, gator etc. i slänter

En av huvudorsakerna till problem i slänter är vatten. Det är därför av största vikt att systemen för att leda bort vatten fungerar korrekt. Utströmmande vatten är grogrunden för ny erosion och nya ras, skred och slamströmmar.

Vägar och gator inom instabila släntoråden bör åtgärdas så att flödet från vägen vid kraftig nederbörd kontrolleras och inte kanaliseras ut i slänten.

Det är viktigt att personer verksamma i och omkring slänter är uppmärksamma på om något fallerar och kan rapportera eventuella utströmningsområden eller punkter där vatten sipprar fram, så att detta kan åtgärdas. Likaså är brunnars funktion viktig för att avvattningen fungerar.

För att undvika att ledningar sätts igen och säkerställa att vattnet rinner ner i befintliga brunnar är det viktigt att det är fritt från löv, sand och skräp i diken, mot kantstenen och på brunnsgaller. Om vatten inte har möjlighet att rinna ner i befintliga brunnar kan det orsaka stor skada då det rinner vidare ner i slänten. Rensning av brunnsgaller och vid kantsten samt diken bör utföras regelbundet.

Om dräneringsledningar eller dagvattenledningarna i vägar och gator i slänter blir täta kan detta medföra att vatten strömmar okontrollerat antingen genom slänten eller över kantstenen. Det är därför av största vikt att befintliga ledningssystem fungerar på avsett sätt. För att säkerställa att ledningar fungerar och inte är fulla med silt eller skräp ska

alla ledningar spolras och sandfång tömmas varje höst efter att löven fallit. Innan spolningen rensas diken och brunnsgaller. Vid spolningen dokumenteras om ledningen är tät. Efter spolningen kontrolleras att ledningarna fungerar som de ska.

Sprickor i asfaltytor kan ge upphov till att vatten kommer in i vägens/gatans överbyggnad och kan också vara ett tecken på rörelser och behöver därför åtgärdas och dokumenteras. En regelbunden kontroll bör utföras i släntområden där asfaltytor har spruckit. Om asfalten spruckit dokumenteras och fotograferas detta och kontakt tas med geotekniker. Sprickan bör sedan lagas.

9.3.2 Skogsbevuxna slänter med jordlager

För skogsbevuxna slänter med jordlager av morän, grus, sand, silt och lera och där stabilitetsproblem eller benägenhet för slamströmmar befaras eller har konstaterats, bör skötselns huvuduppgift vara att marken ska förbli vegetationstäckt. Detta gäller särskilt höga och långa moränslänter, Rolf (2010).

Växtligheten i slänter binder marken med sina rötter, och dess vattenupptag minskar vattenhalten och därmed grundvattnets trycknivå (portrycket) i marken. Bar mark utgör därför en start för erosion samt skred eller slamströmmar. Trädbevuxna delar ska glesas ut så att ljus kommer ner till marken och markvegetationen återigen kan ta fart och genom sina rotsystem binda jorden. Målet med utglesningen bör vara att trädens täckningsgrad blir ca 30-50 %. Kalavverkning får inte göras eftersom detta blottlägger bar mark och förändrar markens vattenbalans, genom att stora delar av den aktiva vattenupptagande biomassen försvinner. Sammanhängande kala "skogsfria" ytor får inte uppkomma. Avverkning bör således inte utföras som slutavverkning utan genom en försiktig gallring av de högsta /äldsta träden, så kallad blädning, så att släntområdets karaktär av "skog" bevaras. Även befintlig undervegetation i form av buskar och perenna örter bevaras, Rolf (2010).

I första hand ska barrträd avverkas, d.v.s. främst ska lövträden bevaras. Lövträden kan med fördel beskäras så att de inte blir så höga utan i stället breder ut sig i sidled genom skott. Om ett högvuxet lövträd ska fällas bör en 20-30 cm hög stubbe bevaras, som kan skjuta nya skott. Tunga skogsmaskiner som kan orsaka djupa spår i slänten ska inte användas, eftersom spåren kan orsaka omledning av ytvatten från befintliga diken eller vattendrag till angränsande släntavschnitt där skred och/eller slamströmmar därmed kan uppkomma, Rolf (2010).

Skötselns huvuduppgift är således att marken ska vara vegetationstäckt. Skötselns ska eftersträva:

- Plantor med stor biomassa
- Minskat antal stamträd
- Heltäckande markvegetation – ingen bar mark
- Kontroll över vattenflöden

Sammanfattningsvis bör följande gälla:

- Gles skog för att gynna buskar, ris och örter

- Fristående individer ej friställda individer
- Ta ned vissa stamträd, så kallad blädning
- Släpp in ljus
- Prioritera löv före barr, d.v.s. ta ner barrträden först

10 REKOMMENDATIONER FÖR FYSISK PLANERING OCH KLIMATANPASSNING

Denna utredning har syftat till att översiktligt klargöra var risker finns för naturolyckor för befintlig bebyggd miljö samt utgöra underlag för exploatering för ny bebyggelse. Med utgångspunkt från de översiktliga riskvärderingarna föreslås följande rekommendationer för den fortsatta planeringen och anpassning till förändrat klimat.

Generellt bör tillämpas en strategi som präglas av tillräckliga säkerhetsmarginaler i den långsiktiga fysiska planeringen. Det är också viktigt att skapa flexibilitet, d.v.s. att undvika att ”bygga sig fast” i lösningar som är svåra att korrigera i efterhand.

För att skydda samhället är det nödvändigt att arbeta förebyggande genom att identifiera risker och vidta åtgärder för att skydda utsatta områden men även att vara mer observant vid planering av framtida exploateringar. En generell rekommendation är att utreda de områden som idag har låg säkerhet mot naturolyckor för att värdera om de förväntade ändringarna i belastningar från klimatet påverkar situationen negativt. För att få underlag för en specifik plats krävs en undersökning av topografin, aktuella jord- och vattenförhållandena och belastningssituationen på den platsen. Dessutom krävs en bedömning av konsekvenserna till följd av de förväntade förändringarna av klimatet.

10.1 Exploateringsområden

För exploateringsområden är det viktigt att pröva markens lämplighet för avsett planändamål. Hänsyn måste då tas till risker för skred, ras, erosion och översvämning och en utgångspunkt måste då vara livslängden hos bebyggelse, anläggningar, transportinfrastruktur etc., normalt mer än 100 år. De förväntade effekterna av ett förändrat klimat under denna tidsperiod måste då beaktas.

10.2 Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö

Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö som bebyggelse, infrastruktur anläggningar etc. kan innebära att åtgärder måste vidtas för att hindra skador till följd av naturolyckor. I denna utredning har översiktligt redovisats var sådana områden finns inom Västmanlands län. För dessa områden behöver risker undersökas närmare genom detaljerade utredningar av geotekniska, topografiska och hydrologiska förhållanden.

10.3 Förorenad mark, miljöfarlig verksamhet och riskobjekt

Markanvändningen inom och i anslutning till områden med förorenad mark, miljöfarlig verksamhet och riskobjekt bör föregås av utredningar för bedömning av risker. Hänsyn ska tas till framtida flöden och vattennivåer som kan förväntas till följd av klimatförändringar och följd effekterna ras, skred, erosion och översvämning som redovisas i denna utredning.

10.4 Dammar

Dammsäkerhet handlar om komplexa system och stora investeringar. För att kunna vidta åtgärder som ger tillfredsställande dammsäkerhet krävs uppgifter om de hydrologiska

konsekvenserna av förändrat klimat. Osäkerheter kring det framtida klimatet får inte hindra att nödvändiga dammsäkerhetshöjande åtgärder vidtas. På grund av dessa osäkerheter bör dessutom flexibilitet och marginaler skapas där så erfordras.

Arbete pågår med att utarbeta en vägledning för hur framtida flöden ska beräknas för dammar för att ta hänsyn till effekterna av ett förändrat klimat, se Dammar, avsnitt 8.8.

10.5 Översvämning

När det gäller framtida klimatpåverkade flöden bör utgångspunkten vara de bedömningar som redovisas i denna utredning i avsnitt 4 och 5. På längre sikt är det viktigt att bevaka de nya resultat som kommer fram genom den fortsatta forskningen.

10.6 Erosion

Strandnära områden med den omfattning som anges i avsnitt 4 kan komma att påverkas av erosion då hänsyn tagits till klimatförändringar fram till år 2100 om inga åtgärder vidtas. Med dagens förhållanden kommer erosionen successivt att minska strandens bredd och i samband med höga vattenstånd och flöden erodera delar av stränderna vid kusten.

Stränderna vid sjöar och vattendrag måste därför skyddas mot erosion. Detta gäller för områden med både befintlig och planerad ny bebyggelse.

Avverkning av skogsbevuxna slänter med befarad eller konstaterad benägenhet för erosion, skred och ras samt slamströmmar bör utföras med försiktighet.

10.7 Ras, skred och slamströmmar

För att klargöra markens lämplighet för bebyggelse behöver områden som bedömts ha förutsättningar för ras, skred och slamströmmar undersökas närmare. Detta gäller även områden där ny exploatering planeras så att eventuella riskområden kan undvikas eller förebyggande åtgärder vidtas. Inom de områden med befintlig bebyggelse, där enligt MSB:s översiktliga kartering stabiliteten inte kunnat säkerställas, bör detaljerade undersökningar utföras.

11 BEHOV AV KOMPLETTERANDE UTREDNINGAR

Utredningen har varit av översiktlig karaktär och för att närmare klargöra risker inom identifierade områden behöver mer detaljerade utredningar genomföras som underlag för fysisk planering och anpassningsåtgärder för befintlig bebyggd miljö.

11.1 Översvämning

Hänsyn till nya klimatscenarier har tagits i denna utredning vid bedömning om framtida flöden men ny kunskap tillkommer löpande. Nästa rapport från IPCC kan förväntas inom några år. Under tiden är det viktigt att följa och värdera nya forskningsresultat efterhand som de blir tillgängliga. Effekter av framtida vattennivåer på t.ex. dagvattennät bör studeras.

Detaljerade studier av översvämningsrisk längs vattendrag kan behöva utföras om behov finns. Detta kräver dock bättre höjddataunderlag (ny nationell höjddatamodell), bättre beskrivning av vattendragens bottenpografi (batymetri) och mer underlag i form av uppmätta flöden och nivåer. Framtida översvämningsrisker kan då noggrannare bedömas med klimatförändrade flöden som underlag.

Analys av framtida havsvattenstånd och effekter från våguppsköljning har inte gjorts i denna utredning. Vid planerad exploatering längs kusten kan en sådan komplettering behöva göras, både för dagens och för framtidens havsnivåer. För bästa möjliga resultat är det en förutsättning att topografi och batymetri i kustzonen är väl kända.

11.2 Erosion

I denna översiktliga utredning har konstaterats att det för ett antal områden utmed sjöar och vattendrag finns förutsättningar för erosion. Som underlag för framtida planering och anpassning av befintlig bebyggd miljö behöver mer detaljerade studier göras av utsatta områden för att bedöma vilka områden som kan hotas och var det finns behov av förebyggande åtgärder.

På vissa sträckor längs stränder kan det finnas olika typer av erosionsskydd. Dessa bör inventeras närmare med avseende på höjda vattennivåer och vid behov förstärkas.

11.3 Ras och skred

Inom de områden som identifierats ha förutsättningar för ras och skred behöver stabiliteten klargöras närmare för berörd befintlig bebyggelse. Detta gäller även för områden där ny exploatering planeras så att eventuella riskområden kan undvikas eller förebyggande åtgärder vidtas.

11.4 Förorenad mark, miljöfarlig verksamhet och riskobjekt

Inom förorenade områden bör en översiktlig riskbedömning göras enligt kvalitetsmanualen för efterbehandling av förorenade områden, Naturvårdsverket (2008) med hänsyn tagen till klimatförändringar och dess följeffekter såsom översvämning, höga flöden,

erosion, skred och ras. Underlagen för en sådan bedömning kan baseras på de scenarier som redovisas i denna rapport. Om riskbedömning tidigare utförts bör denna stämmas av och eventuellt uppdateras för att även innefatta de förväntade klimatförändringarna. Vid prioritering av framtida MIFO-arbete bör hänsyn tas till objekt som ligger inom område med förutsättningar för naturolyckor.

11.5 Dammar

Mot bakgrund av bl.a. de osäkerheter som klimatfrågan tillför bör beräkningsförutsättningarna för dammutredningar ses över regelbundet. Jämförelser mellan inträffade flödessituationer och beräknade dimensionerande flöden bör utföras fortlöpande. Systemets känslighet för klimatförändringar bör analyseras genom utnyttjande av klimat-scenarier. Nya förutsättningar kan leda till att dimensioneringsberäkningarna behöver revideras.

Ägare till dammar (verksamhetsutövare) har enligt miljöbalken ansvar för dammsäkerheten och ska bland annat svara för underhåll och ha rutiner för egenkontroll. Länsstyrelsen är operativ tillsynsmyndighet för dammars säkerhet.

Av länsstyrelsens underlag framgår inte dammarnas status enligt RIDAS riktlinjer. För dammar där ägarna arbetar enligt RIDAS riktlinjer, Svenska Kraftnät (2010), bedöms att risker för naturolyckor hanteras på tillfredsställande sätt. Det finns däremot behov av en uppdatering av uppgifter om övriga dammar i länet, där säkerheten är oklar och där ett dammbrott kan orsaka omfattande skador. En komplettering bör göras avseende klassning av dammarna enligt RIDAS riktlinjer.

REFERENSER

- Atlas över Sverige (1957), Landytans brutenhet, Blad 3-4 Geomorfologi, Magnusson, N., H., Lundqvist, M., Svenska sällskapet för antropologi och geografi, Generalstabens litografiska anstalts förlag, AB Kartografiska Institutet, Esselte, Stockholm
- Bergqvist, E. (1986), Svenska nip- och ravinlandskap, UNGI Rapport 63, Uppsala Universitet, Naturgeografiska institutionen, Stockholm
- EuroSION reports (2004), Living with coastal erosion in Europe, Sediment and space for sustainability, part 1 to 5_8b, www.euroSION.org, Reports on line, 2009-03-31
- Early stage landslide and erosion risk assessment - A method for a national survey in Sweden
- Fallsvik, J., Viberg, L. (1998), Early stage landslide and erosion risk assessment - A method for a national survey in Sweden, Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes. Arbeitstagung des Bereiches Umwelt, 4, Wien, April, 1998, Tagungsband
- Fallsvik, J., Hågeryd, A.-C., Lind, B., Alexandersson, H., Edsgård, S., Löfling, L., Nordlander, H., Thunholm, B., (2006), Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat. Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen. Arbetsgrupp från SGI, SGU, Räddningsverket, SMHI, Vägverket Konsult och Vägverket. SGI Varia 571, kan nedladdas från <http://www.swedgeo.se/upload/publikationer/Varia/pdf/SGI-V571.pdf>
- Granberg, M., (2012), Muntlig kommunikation med Monica Granberg 2012-09-18, Structor, Stora Projekt, Slussen, projektledare miljö
- Hardt, M., (2012), Muntlig kommunikation med Marcus Hardt 2012-09-25, Vectura
- Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007), Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter, Miljödepartementet, SOU 2007:60
- MSB (2012), Konsekvenser av en översvämning i Mälaren, Redovisning av regeringsuppdrag, Fö2010/560/SSK, MSB dnr: 2010-3498, Publikationsnummer: MSB406, ISBN: 978-91-7383-235-9
- Mälaren om 100 år, (2011), Förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden, Anpassning till ett förändrat klimat, Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands, Västmanlands, Uppsala och Örebro län, ISBN 978-91-7281-448-6
- Naturvårdsverket (2003), Vattenskyddsområde – handbok med allmänna råd. Handbok 2003:6
- Osmanovski, A., (2012), Muntlig kommunikation med Alma Osmanovski, Trafikverket, 2012-09-20--21

- Projekt Slussen, (2011), Burghauser, A., Granberg, M., m.fl., Tillstånd enligt miljöbalken, Miljökonsekvensbeskrivning, Ombyggnad av Slussen och ny reglering av Mälaren, Stockholms Stad, Exploateringskontoret, MKB, tillstånd enligt miljöbalken, 2011-12-21, www.stockholm.se/slussen.
- Rogbeck, Y., Hågeryd, A.-C., Andersson, L., Blied, L., Stensen, B., Andréasson, J., Eklund, D., Nerheim, S., (2011), Länsstyrelsen i Stockholms län, SGI, SGU, Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län - för dagens och framtidens klimat, SGI Dnr 2-1003-0202
- Rolf, K., (2010), SLU, Väg 975 Näsåker – Nämforsen, Skötselplan utkast 2010-06-20, Trafikverket
- Rydell, B., Hågeryd, A.-C., Nyberg, H., Angerud, P., (2006), Omfattning av stranderosion i Sverige, Översiktlig kartläggning av erosionsförhållanden. Kartor, SGI Varia 543:2, Linköping, <http://www.swedgeo.se/upload/Publikationer/Varia/pdf/SGI-V543-2.pdf>
- Rydell, B., Hågeryd, A.-C., Axelsson, J., (2009), Översiktlig inventering av förutsättningar för erosion i vattendrag. Metodik och redovisning, SGI Varia 602:1, Linköping, <http://www.swedgeo.se/upload/Publikationer/Varia/pdf/SGI-V602-1.pdf>
- SMHI, (2011a), Modellering av vinduppstuvning i Mälaren, SMHI Rapport 2011-50. Gyllenram W., Hallberg, K., Åström, S., Projekt Slussen, MKB Tillståndsansökan 397
- SMHI, (2011b), Havsnivåer i Stockholm 2011-2111: En sammanställning, SMHI Rapport 2011-62.
- SMHI, (2012), Klimatanalys för Västmanlands län, Persson, G., Sjökvist, E., Gustavsson, H., Andréasson, J., Hallberg, K., SMHI Rapport Nr 2012-10 (Bilaga 1)
- SGI, (1983), Översiktlig stabilitetskartering i Västmanlands län, Stål, T., Viberg, L., SGI Dnr 2-491/82
- SGI, (2011), Fallsvik, J., Hågeryd, A.-C., Schälin, D., Hedfors, J., Blied, L., Köpings kommun, Tekniska kontoret, Köpingsån med tillflöden inom Köpings stadskärna, Översiktlig stabilitetskartering, SGI Dnr 2-0809-0650
- SGI Varia 560:1, (2005), Släntstabilitet i jord, Underlag för handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat, Deluppdrag 1, Hultén, C., Olsson, M., Rankka, K., Svahn, V., Odén K., Engdahl, M., SGI Dnr 1-0502-0100, SGI-VARIA--05/560—SE
- SOU (2007) Klimatet och dammsäkerhet i Sverige. Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60, Bilaga B9.

Sundén, G, Maxe, L, Dahné, J (2010). Grundvattennivåer och klimatförsörjning vid ett förändrat klimat. SGU-rapport 2010:12.

Svenska Kraftnät (2010), Sammanställning av rapportering avseende dammsäkerhet år 2009, Dnr 2010-212.

United Nations (1996), Mudflows, Experience and Lessons Learned from the management of major disasters, Prepared in support of the International Decade for Natural Disasters Reduction, New York and Geneva, ISBN 92-1-132020-8

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
Avdelningen för Geoplanering och klimatanpassning

.....
Jan Fallsvik
Uppdragsledare

.....
Linda Blied
Granskare



2012-09-27

2-1005-0372
14407

VÄSTMANLANDS LÄN

Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys

BILAGA 1 KLIMATANALYS FÖR VÄSTMANLANDS LÄN

SMHI Rapport Nr 2012-10

Gunn Persson, Elin Sjökvist, Hanna Gustavsson, Johan Andréasson och Kristoffer Hallberg

Rapport Nr 2012-10

Klimatanalys för Västmanlands län



Pämbild: Invallat område i västra Västmanlands län. Foto: Sten Bergström, SMHI.



Författare:
Gunn Persson m.fl.

Uppdragsgivare:
Länsstyrelsen Västmanlands län

Rapportnr:
2012-10

Granskningsdatum:
2012-03-XX

Granskare:
Sten Lindell

Dnr:
2011/1791/203

Version:
1.0

Klimatanalys för Västmanlands län

Uppdragstagare
SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig
Johan Andréasson
011-495 8609
johan.andreasson@smhi.se

Uppdragsgivare
Länsstyrelsen Västmanlands län

Kontaktperson
Måns Enander

Distribution

Klassificering
(x) Allmän

Nyckelord
Klimatanalys, klimatsammanställning, klimatscenarier, hydrologiska förändringar

Övrigt

Sammanfattning

Länsstyrelsen i Västmanlands län har uppdragit åt SGI och SMHI att genomföra en klimat- och sårbarhetsutredning för länet. SMHI utför, som underleverantör till SGI, en klimatanalys för Västmanlands län med leverans till Länsstyrelsen och till SGI. Delar av materialet i denna rapport används av SGI för en riskanalys.

SMHI har utfört en regional klimatanalys för perioden fram till slutet av detta sekel för Västmanlands län. Syftet var att klargöra konsekvenserna av ett förändrat klimat, speciellt med avseende på temperatur, nederbörd och vattenföringsdynamik utgående från ett underlag baserat på de senast tillgängliga klimatscenerierna.

Arbetet grundar sig på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenerier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal klimatscenerier utnyttjats. Detta urval är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007.

Rapporten har utarbetats vid SMHIs avdelning Miljö & Säkerhet. Klimatforskningen kommer ständigt med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare, vilket läsaren bör vara medveten om. Följande resultat framgår av klimatanalyserna i denna rapport:

- Klimatberäkningarna visar en successiv och tydlig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Temperaturuppgången är mest framträdande för vintern.
- Det regionala temperaturmönstret över länet, med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare på de mer höglänta områdena, kvarstår även i framtiden.
- Årsmedelnederbörden ökar med ca 20% till seklets slut. Den tydligaste nederbördsökningen ses för vintern. Liksom i dagens klimat kommer störst nederbörds mängder att falla i nordväst och mindre mängder i områdena runt Mälaren. De kraftiga regnen beräknas öka.
- Vattenföringens variation under året förändras mot högre höst-vinterflöden och lägre vårflood. Lågvattenperioden blir längre och med lägre flöden.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet ser ut att minska något under seklet för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Sagån och Köpingsån i jämförelse med referensperioden 1963-1992. Svartåns 100-årsflöde ser ut att bli i stort sett oförändrad under stora delar av seklet.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	BAKGRUND	1
3	VÄSTMANLANDS LÄN	2
3.1	Avrinningsområden och sjöar	2
3.2	Klimatet	4
3.2.1	Temperatur	4
3.2.2	Nederbörd	5
3.2.3	Snö och is	6
3.2.4	Avrinning	6
3.2.5	Vindar.....	7
4	METOD FÖR FRAMTIDSANALYS	8
4.1	Studerade klimatindex	8
4.2	Geografiskt analysområde	8
4.3	Tidsperioder	8
4.4	Variation och osäkerhet	8
4.5	Beräkningsmodeller	9
4.6	Klimatdata för effektstudier	11
4.7	Utsläppsscenarier	12
4.8	Klimatscenarier	12
4.8.1	Klimatscenarier i denna studie.....	13
5	VÄSTMANLANDS LÄNS FRAMTIDSKLIMAT	15
5.1	Temperatur	15
5.1.1	Medeltemperatur för år och säsong.....	15
5.1.2	Varma perioder	17
5.1.3	Behov av kylning och uppvärmning	19
5.2	Nederbörd	21
5.2.1	Medelnederbörd för år och säsong.....	21
5.2.2	Kraftig nederbörd	24
5.2.3	Perioder utan nederbörd	26
5.3	Vattenföring	27
5.3.1	Vattenföringens säsongsvariation.....	27
5.3.2	Medelvattenföring	30
5.3.3	100-årsflöden	34
5.4	Grundvatten	41
6	MÄLAREN	42

6.1	Mälarens hydrologi.....	42
6.2	Översvämningrisker idag.....	44
6.3	Översvämningrisker efter utbyggd tappningskapacitet	46
6.3.1	Dagens reglering och förslag på ny reglering av Mälaren	46
6.3.2	Regleringens känslighet för klimatförändringar	48
7	SLUTSATSER.....	50
8	REFERENSER	52
9	BILAGOR	54

1 Inledning

Länsstyrelsen i Västmanlands län ser behov av ett klimatunderlag för länet utöver det som erbjuds genom SMHIs myndighetsuppdrag. SMHI har därför, som underkonsult till SGI, på beställning av länsstyrelsen utfört en regional klimatanalys för Västmanlands län. Analysen omfattar en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i länet såväl under dagens klimatförhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på observationer och beräkningar från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100.

Föreliggande rapport har utarbetats vid SMHIs avdelning Miljö & Säkerhet.

2 Bakgrund

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

Dynamiken och förekomsten av vatten kommer att förändras eftersom ett förändrat klimat innebär väsentliga skillnader i årstidernas karaktär, speciellt med avseende på temperatur och nederbörd. Säsongsvariationen i vattenföring drivs till stor del av nederbördsmönster och lagring av vatten i landskapet som snö, i mark eller i sjöar. I de områden i Sverige som har längre köldperioder lagras betydande mängder vatten under vintern i form av snö. Dessa snömagasin smälter under en relativt kort period när temperaturen stiger under vår och försommar. I ett klimat med högre temperaturer än idag kan denna säsongsvariation förändras och bli mindre tydlig, samtidigt som höga flöden kan uppträda vintertid. Intensiva skyfall uppträder idag främst sommartid och orsakar ibland översvämningar. Det gäller speciellt för vattensystem som inte dimensionerats för extrema flöden som exempelvis kombinerade dag- och spillvattensystem samt dränering i anslutning till infrastruktur. I ett framtida varmare klimat med ökad konvektiv nederbörd kan riskerna för skyfall komma att öka.

Beräkningar av framtida klimat har tidigare genomförts i bland annat den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). För dessa analyser användes sex klimatscenarier framtagna av SMHI (se mer beskrivning av dessa i kapitel 4.8). Ett delbetänkande berörde även översvämningssproblematiken där de faktorer som leder till höga flöden identifierades; exempelvis extrem nederbörd och intensiv snösmältning (SOU, 2006). Underlag till detta delbetänkande levererades av SMHI (Bergström m.fl., 2006). Klimat- och sårbarhetsutredningen sammanställde även riskerna för naturolyckor i ett förändrat klimat (SOU, 2007b).

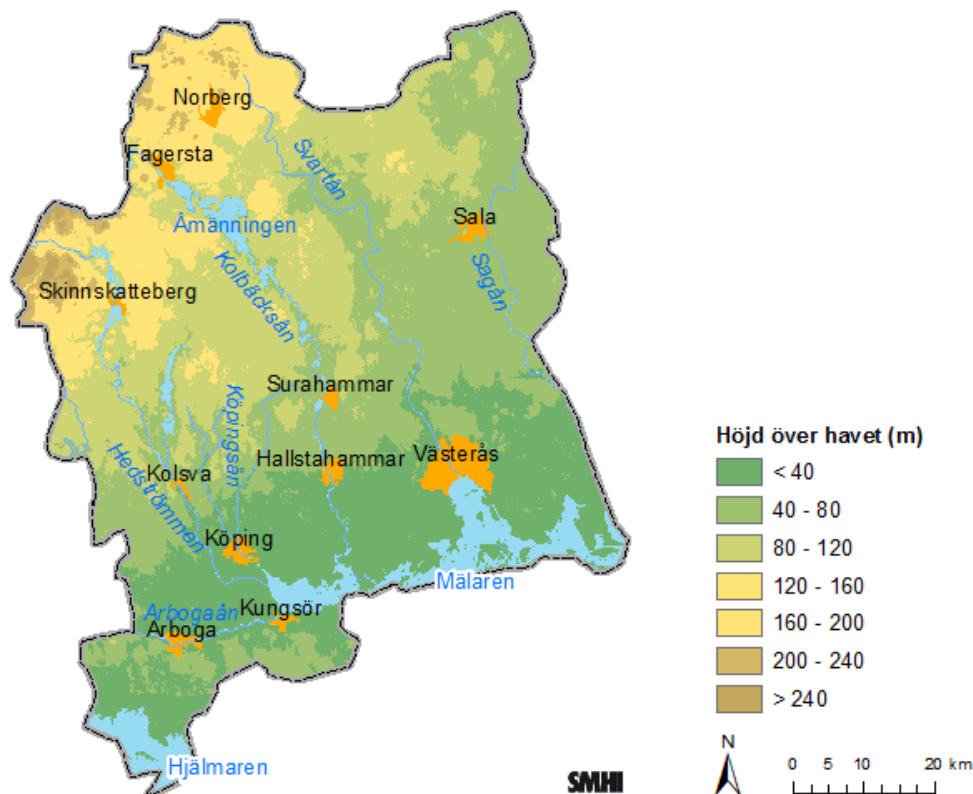
Inom det EU-finansierade projektet ENSEMBLES (van der Linden and Mitchell, 2009) har ett ensemblesystem utvecklats för beräkning av klimatförändringar baserat på de bästa europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarier tillgängliga än tidigare, och för analysen av temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden i denna rapport har 16 olika klimatscenarier använts. Dessa scenarier kommer både från ENSEMBLES-projektet och från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet. Att analysera en samling klimatscenarier ger nya och bättre möjligheter att behandla de osäkerheter som är nära förknippade med frågeställningen.

SMHI har under senare år också utvecklat tekniken att använda resultat från klimatscenarierna, vilket beskrivs i kap 4.6, och att presentera klimatdata i diagram och kartor.

3 Västmanlands län

I detta kapitel beskrivs Västmanlands läns landskap och klimat översiktligt. Beskrivningen baseras främst på faktablad från SMHI och de klimatkartor som tillsammans med information i Kunskapsbanken finns publicerat på www.smhi.se.

Västmanlands läns areal är 5 690 km², varav 5 145 km² är landareal. Länet är uppdelat i 10 kommuner med totalt ca 251 542 invånare (2010) (www.lansstyrelsen.se/vastmanland). Till ytan är alltså Västmanlands län ett av Sveriges mindre län. Utmärkande är dock den varierande naturen med de öppna landskapen längs Mälaren och den mer kuperade terrängen i norr. I länet finns såväl berg, djupa dalgångar som skogsområden och våtmarker. Länet ligger i övergången mellan det mellansvenska låglandet och norrlandsterrängen. Västerås kommun har flest invånare (drygt hälften av länets befolkning) och Sala kommun har störst areal.



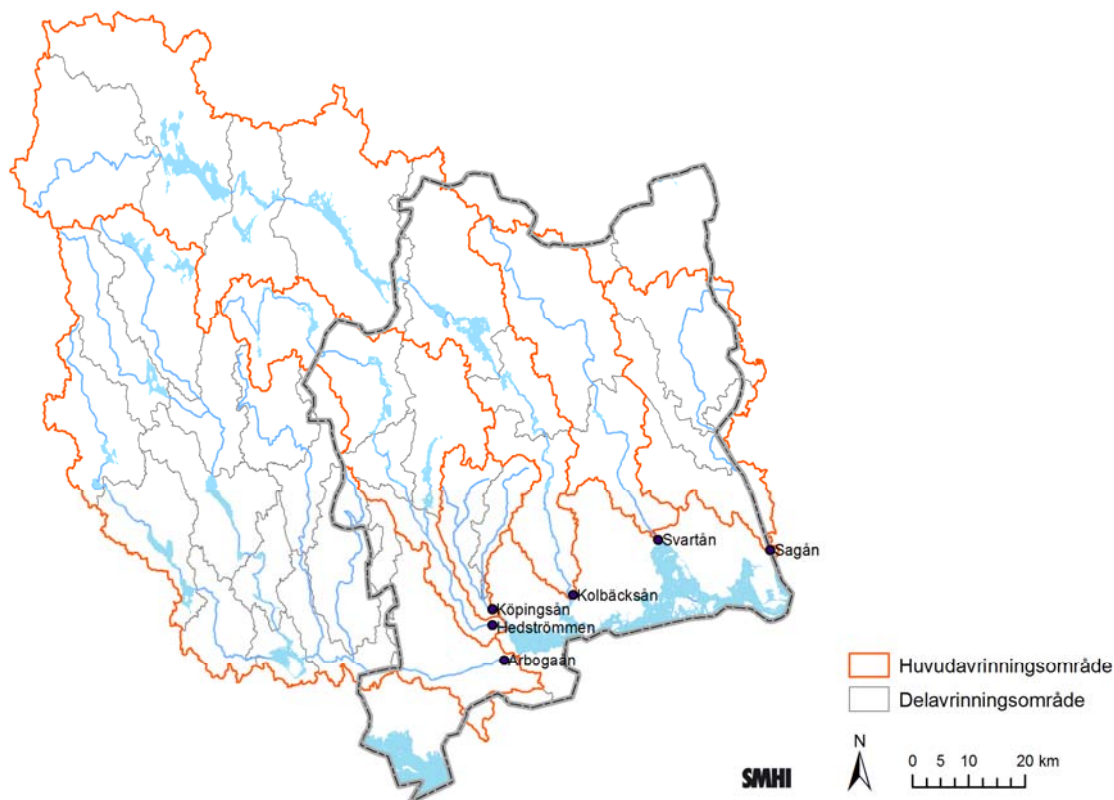
Figur 3-1. Västmanlands län, dess topografi, större orter, vattendrag och sjöar. Kartan är producerad med Lantmäteriets data under Länsstyrelsens tillstånd för publicering av data och med data från SMHI.

3.1 Avrinningsområden och sjöar

I Sverige har totalt för landet 119 huvudavrinningsområden definierats som vattendrag vilka rinner ut i havet och med avrinningsområden större än 200 km². Västmanlands län berörs endast av två av dessa, men de tillhör de större. Dalälven har det fjärde största avrinningsområdet i Sverige med 28 954 km² och är nummer sju på listan över största vattenflöden vid mynningen (348 m³/s). Dalälven berör dock bara de nordliga delarna av länet med 651 km², vilket är endast 2% av totala avrinningsområdet. Det andra huvudavrinningsområdet är Norrström, som ligger på åttonde plats i landet avseende avrinningsområdets storlek (22 650 km²), men hamnar utanför tio-i-topp-listan med blygsamma 163 m³/s i medelvattenföring. Norrström är det helt dominerande nationella huvudavrinningsområdet i Västmanlands län med en rad vattendrag: Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Svartån och Sagån (SMHI, 2002).

Kolbäcksån är det avrinningsområde som upptar den största ytan inom länet (918 km²) följt av Hedströmmen (801 km²). Arbogaån och Kolbäcksån har relativt stora avrinningsområden (3 808 km²

respektive 3118 km²) men vattenföringen vid utloppen kommer alltså till största delen från områden utanför länet (figur 3-2 och tabell 3-1).



Figur 3-2. Lokala huvudavrinningsområden och delavrinningsområden i Västmanlands län. Samtliga ingår i det nationella huvudavrinningsområdet Norrström (nr 61) med utlopp genom Mälaren. Länsgränsen är markerad med en grå linje. De vattendrag med mätpunkter som analyseras i denna rapport är namngivna. Kartan är producerad med data från SMHI.

Tabell 3-1. Avrinningsområden i Västmanlands län, deras totala areal och den procentuella andelen av den totala arealen som finns inom länet samt hur stor del av länets areal som upptas av respektive avrinningsområde (SMHI, 2002).

Nr	Avrinningsområde	Total area (km ²)	Areaandel inom länet (%)	Del av länets landareal (%)
61-025	Arbogaån	3 808	14	10
61-029	Hedströmmen	1050	76	16
61-031	Köpingsån	287	100	6
61-038	Kolbäcksåån	3118	29	18
61-040	Svartån	776	99	15
61-044	Sagån	857	88	15

I Västmanlands län finns omkring 850 sjöar. Mälaren och Hjälmarén är de största, men endast en tredjedel av respektive sjös areal räknas inom länet. Andra större sjöar är Åmänningen, Skedvisjön, Långsvan och Hörendesjön (www.lansstyrelsen.se/vastmanland). Kring de stora sjöarna finns stora slätter med i huvudsak lerjordar och i de nordliga skogsområdena finns många små sjöar (SMHI, 2002). Att slättnområdena saknar sjöar förklaras till viss del av de sjösänkningar som utfördes på 1800- och det tidiga 1900-talet för att skapa mer odlingsjord. Även längs vattendragen syns spår av dikningsföretagens verksamhet. Mälaren är också reglerad, vilket diskuteras flitigt och är en mycket aktuell fråga. I kapitel 6 beskrivs kortfattat kunskapsläget runt regleringen av Mälaren idag och i framtiden.

3.2 Klimatet

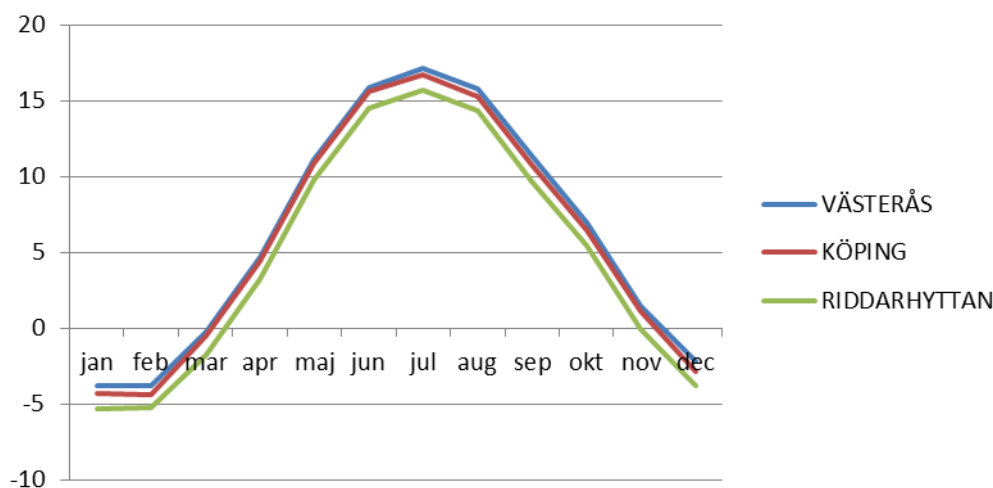
Västmanland uppvisar många olika landskapstyper från bördig jordbruksbygd närmast Mälaren till skogklädda höjder som i nordväst når mer än 400 m (över havet). På grund av topografin i och runt omkring Västmanland varierar klimatet mycket inom länet. De flesta vädersystem som berör länet passerar med den dominerande västvinden och har sitt ursprung över Atlanten. Detta innebär att regn- och snöområden har påverkats både av Norges och Sveriges bergskedjor innan de når fram, och mycket av nederbörden har då hunnit falla ur molnen. En del når dock Västmanlands högre partier, medan Västmanlands låglänta områden delvis ligger i lä från bergskedjorna. Mälardalen har, med tanke på breddgraden, ett gynnsamt klimat, särskilt avseende temperaturen. Närheten till Mälaren och Östersjön dämpar temperatursvängningarna och minskar frostläntheten, jämfört med motsvarande breddgrader. Odlingszonerna i länet varierar från zon 2 närmast Mälaren till zon 4 för större delen av länet.

Tillsammans med de relativt låga vintertemperaturerna kan man med visst fog säga att klimatet i norra Västmanland påminner om det norrländska, medan det i södra Västmanland liknar klimatet vid Sveriges ostkust. Västmanlands län ligger alltså i en gränsszon med relativt stora variationer inom länet i förhållande till dess storlek.

3.2.1 Temperatur

Temperaturvariationer i landskapet betingas till största delen av topografin. Ju högre nivå desto lägre temperatur. Variationerna i temperatur mellan år och inom år kan dock vara stora. Vid Mälaren är medeltemperaturen -4° i januari och drygt 16° i juli, medan motsvarande värden för de högsta områdena är -6°C respektive knappt 15°C (SMHI, 2009).

De tre mätstationerna Västerås, Köping och Riddarhyttan representerar här länets temperaturvariationer över året (figur 3-3). Västerås och Köping vid Mälaren följs väl åt, med något svalare förhållanden i Köping. Årsmedeltemperaturen 1961-1990 var $5,8^{\circ}\text{C}$ i Köping och $6,2^{\circ}\text{C}$ i Västerås. Det mer nordliga och högre belägna Riddarhyttan, 13 km väster om Skinnskatteberg, hade en årsmedeltemperatur på $4,7^{\circ}\text{C}$ perioden 1961-1990. Skinnskatteberg hade för samma period $4,9^{\circ}\text{C}$ i medeltemperatur och Sala hade $5,0^{\circ}\text{C}$.



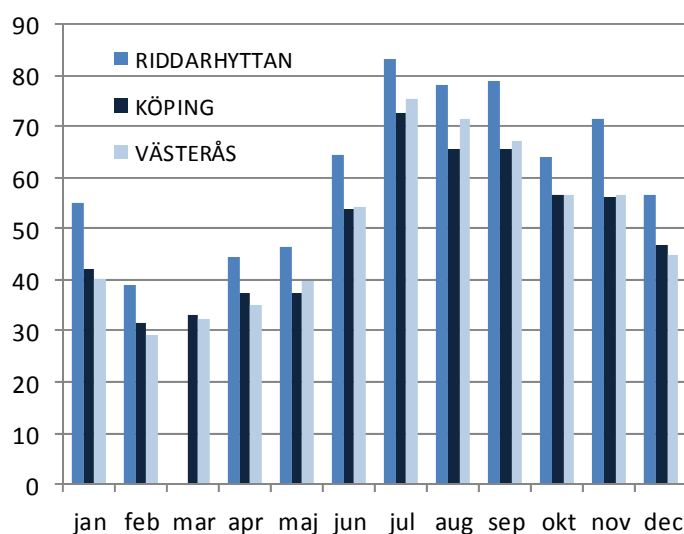
Figur 3-3. Månadsmedeltemperaturer ($^{\circ}\text{C}$) för perioden 1961-1990 (s.k. normalperiod) för mätstationerna Västerås, Köping och Riddarhyttan. Källa: SMHIs Klimatarkiv.

I en studie av värmeböljor i Sverige 1961-2010 (SMHI, 2011a) uppmärksammas en värmebölja 1975. Ungefär halva landet hade över 22°C i medeltemperatur under 7-8 augusti 1975. Varmast var det i Riddarhyttan med $28,0^{\circ}\text{C}$ i medeltemperatur sammanlagt under de två dyggen. Den högsta temperaturnoteringen under värmeböljan var 34°C i Riddarhyttan men Sala hade hela 36°C som maxtemperatur den 6 augusti 1975. Samma toppnotering gjordes i Västerås 9 juli 1933. Under värmeböljan 1975 hade Västerås som högsta medeltemperatur $27,5^{\circ}\text{C}$ den 7 augusti.

Köldrekordet för länet ligger på $-36,5^{\circ}\text{C}$ i Västerås, vilket inträffade den 24 januari 1875. Eventuellt var det ännu kallare i Sala samma dag, men det finns ingen verifierad mätning. I modern tid uppmättes $-35,0^{\circ}\text{C}$ i Uttersberg (söder om Riddarhyttan) den 9 februari 1966, ett välkänt köldtillfälle (SMHI, 2009).

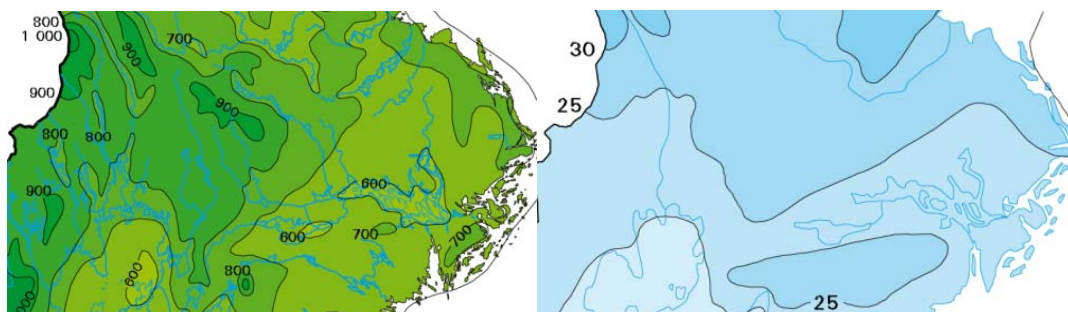
3.2.2 Nederbörd

Topografin har en avgörande betydelse för hur nederbörden fördelas. Den uppmätta årsnederbörden är minst vid Mälaren med lokalt under 500 mm och störst på höjderna i nordväst med över 800 mm på sina håll (SMHI, 2009). I figur 3-4 visas månadsmedelnederbörd vid mätstationerna Riddarhyttan, Köping och Västerås för perioden 1961-1990. De i länet sydligt belägna stationerna Köping och Västerås har mycket lika årsmedelnederbörd (606 respektive 602 mm). En viss skillnad kan dock ses avseende fördelningen under året. Köping har något högre månadsmedelnederbörd under vinterperioden och Västerås har högre under sommarperioden. Riddarhyttan är, som förväntat beroende på det nordligare och högre läget, den nederbördsrikaste stationen med ca 120 mm mer i årsmedelnederbörd. Mest nederbörd kommer länet till del under juli-september och den nederbördsfattigaste perioden är februari-mars.



Figur 3-4. Månadsmedelnederbörd (mm) 1961-1990 för stationerna Riddarhyttan, Köping och Västerås i Västmanlands län. Årsmedelnederbörden är 723 mm i Riddarhyttan, 606 mm i Köping och 602 mm i Västerås. Källa: SMHIs Klimatarkiv.

I figur 3-5 visas den uppskattade verkliga nederbörden i hela området som tar hänsyn till mätförluster och olika terrängförhållanden. Den verkliga nederbörden är högre än den uppmätta. Andelen snö av nederbörden varierar mellan 20-30% i länet (figur 3-5).



Figur 354. Den vänstra kartan visar den uppskattade verkliga årsmedelnederbörden (mm) 1961-1990 och den högra kartan visar andelen snö (%) av årsnederbörden, för perioden 1961-1990. Källa: Klimatdata (www.smhi.se)

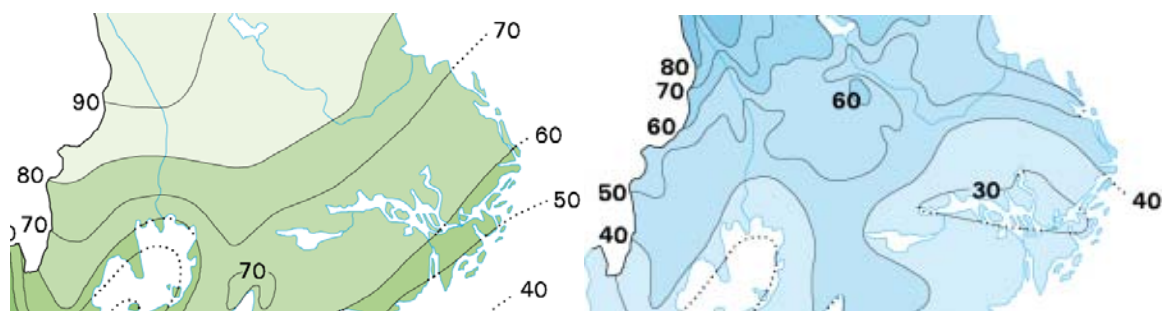
Ett nederbördsrekord sattes 26 augusti 1996 då 146 mm föll under ett dygn (kl 07-07) i Hallstaberger öster om Västerås. Men 160 mm bedöms ha fallit på 24 timmar i Skultuna (15 km norr om Västerås)

den 10 augusti 1951. Under hela augusti 1951 rådde ostadigt väder och den största nederbörds mängden för månaden uppmättes i Sättra brunn (14 km sydväst om Sala), 257 mm, vilket är rekord för länet. I orten Ramnäs (9 km norr om Surahammar) rådde ett hemskt hageloväder den 4 juli 1953. De största haglen mätte 7×8 cm och vägde uppemot 2 hg. Det är de största hagel som observerats i Sverige (SMHI, 2009).

3.2.3 Snö och is

Medelvärde av årets största snödjup under vintern 1961-1990 är 30-40 cm (figur 3-6) men variationerna mellan åren och inom länet är mycket stor. I Riddarhyttan uppmättes 124 cm djup snö den 20 februari 1977, vilket är länsrekord, åtminstone efter 1960. Snön hade ackumulerats efter flera snöfall under lång tid. Noterbart är också ett snöoväder månadsskiftet oktober-november 1968 då det i Västerås samlades ett snötäcke på 21 cm den 1 november (SMHI, 2009). Frekvensen av vita jular, dvs. chansen att vakna på julafton med snötäcke på marken, var perioden 1931-1980 ca 70% (figur 3-6).

I de höglänta nordvästra delarna av landskapet var marken snötäckt under i genomsnitt fem månader av året (1961-1990), och det är hela en och en halv månad mer än i de snörikaste delarna av Sydsvenska höglandet och nordvästra Dalsland eller lika mycket som i trakten av Härnösand.



Figur 3-6. Vänstra kartan visar frekvensen (%) av vita jular 1931-1980 och högra kartan visar medelvärdet av största snödjupet under vintern (cm) 1961-1990. Källa: Klimatdata > Snö (www.smhi.se).

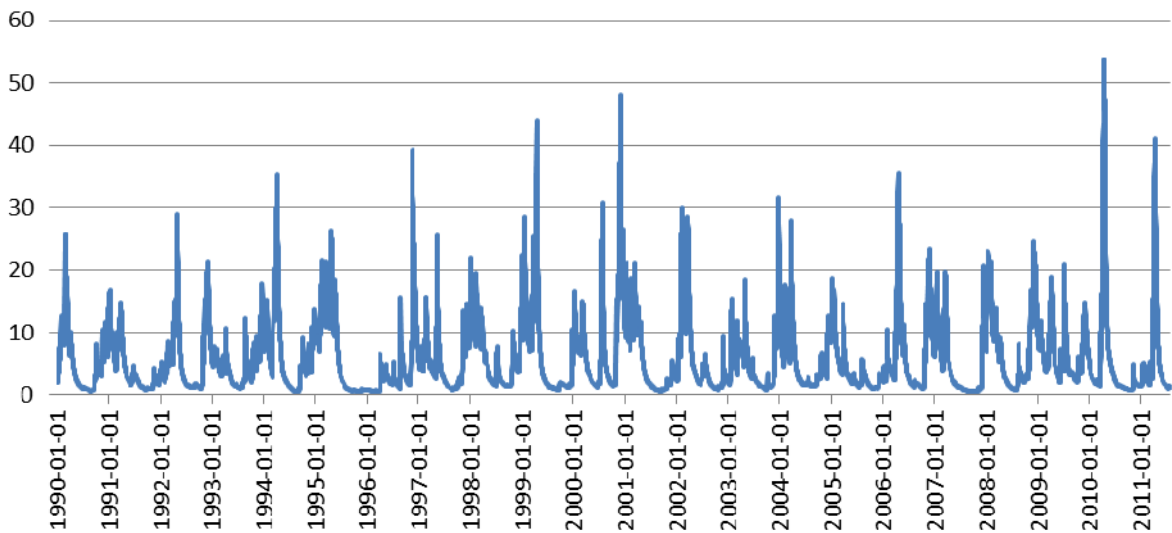
Isläggningsen på Hjälmaran (Hemfjärden) skedde i medeltal 2 december och islossningen 12 april under perioden 1960-1990. För Mälaren finns tre platser där tidpunkter för isläggning och islossning studerats: Kyrkfjärden (Stockholm) 5 januari respektive 3 april, Ulvhällsfjärden (Strängnäs) 12 december respektive 15 april och Garnsviken (Sigtuna) 2 december respektive 13 april (SMHI, 2006).

3.2.4 Avrinning

Västmanlands län befinner sig i en slags gränsszon där det torrare (mindre nederbörd) sydöstra delarna av Sverige möter de nederbördsrikare delarna. Eftersom avrinningsområdena för framförallt Arbogaån och Kolbäcksån går utanför länet till stora delar bestäms de totala flödena av tillförseln från de nederbördsrikare delarna främst västerifrån.

I medelavrinningskartor syns tydligt att för området vid de stora sjöarna är avrinningen liten och att den ökar norrut (SMHI, 2007). Torra år (1963, 1976, 1996 och 2003) är medelavrinningen < 6 l/s×km² för i princip hela länet. För de våta åren (1985, 1998, 2000 och 2001) syns gradienten över länet tydligt. Skillnaden över länet är störst under våren dvs. den är snöbetingad. Nederbörd, lagrad som snö, i de högre belägna delarna av länet smälter av på våren och ökar därmed avrinningen.

Vattenföringen varierar kraftigt mellan åren men har tydliga förlopp av växlingar mellan hög och låg vattenföring. I figur 3-7 visas ett exempel på vattenföringens variation under drygt 20 år. Lägsta vattenföringen uppmäts vanligen i juli då växterna är aktiva och därför omhändertar nederbörden. Flödestopparna uppträder oftast i samband med snösmältning på våren (april) men höga flöden kan även uppstå till följd av rikligt regnande andra tider på året. För de sydliga delarna av länet kan snösmältning ske även under vintern vilket leder till högre flöden i vattendragen.



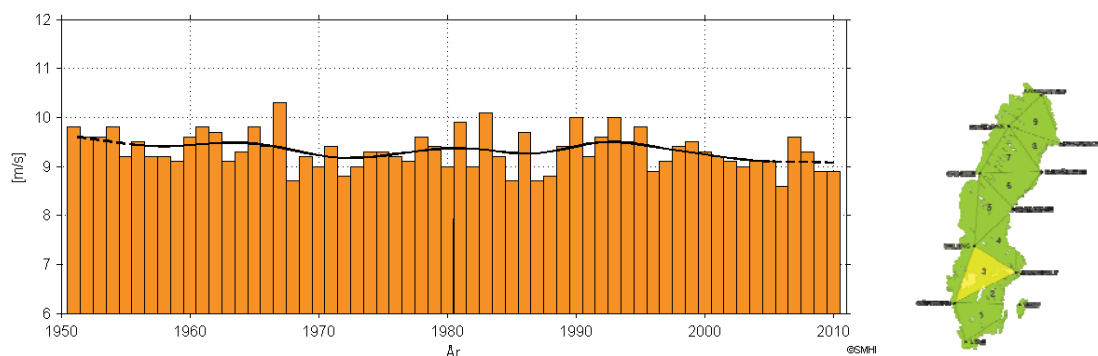
Figur 3-7. Exempel på vattenföringens variation mellan olika år. Modellberäknad vattenföring (m^3/s) för ett delavrinningsområde ($42 km^2$) till Norrström (delavrinningsområdet ID:661778-153701). Källa: vattenweb.smhi.se

3.2.5 Vindar

Wern och Barring (2009) har studerat hur vinden varierat i Sverige under perioden 1901-2008. Studien har kompletterats med ett faktablad som även omfattar 2009-2010 (SMHI, 2011b). Vindmätningar har i Sverige gjorts sedan 1800-talet men först på 1950-talet standardiserades mätningarna. Det saknas alltså långa homogena mätserier av vindhastighet i Sverige. Analysen baseras därför på förändring i geostrofisk vind, som utgår från tryckmätningar. Landet indelas i nio trianglar. Den geostrofiska vinden ska ses som ett regionalt medelvärde för den centrala delen av triangeln. Beräkningen tar inte hänsyn till landskapets uppbromsande effekt, vilket direkta vindmätningar gör. Därför är den geostrofiska vindhastigheten högre än den uppmätta.

På www.smhi.se finns en webbapplikation där grafer över olika vindmått kan laddas ned för de i studien använda nio trianglarna över landet. Webbapplikationen är i dagsläget uppdaterad t.o.m. 2010. Ett av vindmåten är antal tillfällen per år då den geostrofiska vindhastigheten varit minst 25 m/s. Det kan betraktas som ett mått på antal stormtillfällen inom triangeln. SMHI påpekar att första halvan av tidsperioden innehåller osäkrare värden än den senare halvan (figur 3-8).

Västmanlands län ligger delvis inom triangel 3 och 4. Linjär förändring av geostrofisk vindhastighet 1951-2010 visar för triangel 3 en minskad maxvind på -11% (5% signifikansnivå) och minskad medelvind på -3% (figur 3-8) medan förekomst av vindhastigheter på över 25 m/s visar ickesignifikant minskning på -22%. För triangel 4 syns liknande tendenser och medelvindförändringen är -4% (signifikant).



Figur 3-8. Geostrofisk medelvindhastighet per år (m/s). Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp motsvarande ungefär 10-årsmedelvärden. Diagrammet avser triangeln Göteborg-Malung-Stockholm (triangel 3) 1950-2010. Källa: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/vind/1.3971>

Den högsta beräknade geostrofiska vindhastigheten, 66 m/s, i studien inträffade i triangel 1 (Göteborg-Lund-Visby) 13 januari 1983. Vid Landsort och Vinga uppmättes kl. 18 UTC 31 m/s respektive 30 m/s (SMHI, 2011b). Linjära trender i tidsserier påverkas mycket av vilken period som analyseras. Författarna (Wern och Barring, 2009) är försiktiga med slutsatsen om säkerställda förändrade vindförhållanden. Variationen mellan år är stor. De anser dock att det finns en långsiktig trend mot lugnare vindklimat sedan 1900-talets början, men att den beror på blåsigare förhållanden under de första årtionena av 1900-talet.

4 Metod för framtidsanalys

Klimatsammanställningen har gjorts för Västmanlands län avseende temperatur, nederbörd och vattenföring. Ett antal klimatindex har framtagits kopplade till temperaturer och nederbörd. Dessa beskrivs under kap 4.1.

4.1 Studerade klimatindex

Beräkningar och analyser av framtida klimatscenarier har gjorts för olika klimatindex.

- Kap. 5.1 Temperatur (medeltemperatur för år och säsong; varma perioder i form av högsta dygnsmedeltemperatur och antal dagar med dygnsmedeltemperatur > 22°C; uppvärmnings- och kylbehov)
- Kap 5.2 Nederbörd (medelnederbörd för år och säsong; kraftig nederbörd i form av antal dagar med > 10 mm samt största 1-dygnsnederbörd och största 7-dygnsnederbörd; perioder utan nederbörd dvs. < 1mm/dygn)
- Kap 5.3 Vattenföring (säsongsvariation och medelvattenföring; flöden med 100 års återkomsttid)

4.2 Geografiskt analysområde

Det analyserade området avser Västmanlands län (figur 3-1) och resultaten presenteras främst i form av kartor (ex. bilaga 1-18). I diagrammen visas resultat för hela länet. Analyser gällande vattenföring presenteras för utvalda punkter men också i kartformat. Det område eller den plats som avses för respektive karta, diagram eller tabell framgår i figurena eller i figurtexterna.

4.3 Tidsperioder

De studerade tidsperioderna är 1961-1990 för dagens klimat och för analys av framtidsklimatet har två perioder valts; 2021-2050 och 2069-2098. Samtliga tidsperioder omfattar 30 år.

I klimatstudier jämförs aktuella värden med medelvärden för en längre period, en referensperiod. I enlighet med internationell praxis används i denna rapport den så kallade standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Nästa standardnormalperiod kommer att bli 1991-2020. För att ge så nutidsnära information som möjligt har även perioden 1991-2010 tagits med (se bilaga 1-5 och 10-18).

Referensperiod och analysperiod för olika undersökta parametrar i denna utredning kan variera med ett par år beroende på datatillgång och den tid det tar för modellerna att nå ett rimligt starttillstånd.

4.4 Variation och osäkerhet

Det är viktigt vid tolkning av resultat från analyser av förändringar i ett framtida klimat att ursprunget till de variationer och osäkerheter som förekommer tydligt framgår och även hur denna variation kan bidra med information. Tolkningen av rapportens grafer bör koncentreras till långsiktiga trender snarare än till absoluta värden. Där det är tillämpligt presenteras spridningsmått i form av percentiler för att indikera spridningen i resultat mellan olika klimatmodeller. I denna rapport används 25:e resp. 75:e percentilen, vilket betyder att i princip all data förutom de fyra lägsta och de fyra högsta

scenarierna innefattas i datamängden när 16 olika scenarier används. Därmed fås en uppfattning av klimatsceniernas spridning. Detta underlättar tolkningen då det ger en mer samlad bild av den tänkbara framtidsutvecklingen.

Metoden som använts karakteriseras av att flera möjliga klimatscenarier ingår, en så kallad *ensemble*, och att resultaten bearbetas statistiskt. Syftet är att öka kvalitén i analysen och att identifiera trender som är generella mellan olika scenarier. För att utnyttja fördelarna med ensembleanalys bör det finnas ett visst mått av variation. Speciellt gäller detta klimatsimuleringar, då det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga och olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Hydrologisk respons som uppträder i flera olika klimatscenarier bedöms således mer trolig än hydrologisk respons som uppträder sporadiskt.

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

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

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

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

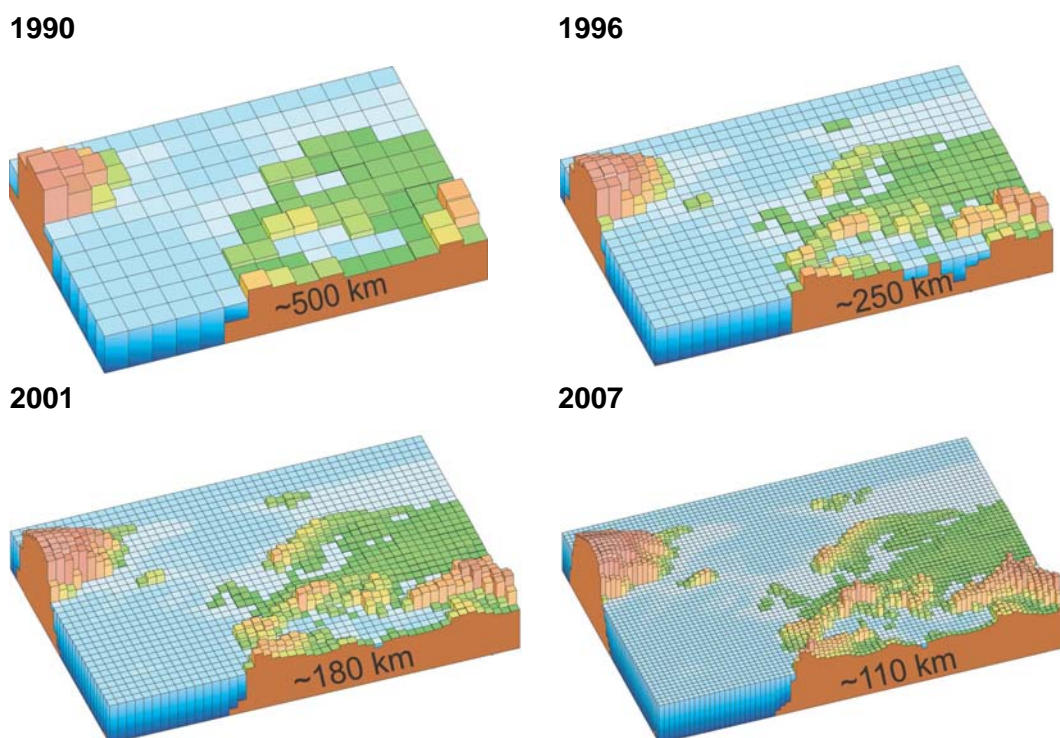
Det klimat som beskrivs av en klimatmodell kan inte förväntas vara i fas med det verkliga klimatet på kort tidsskala, ett fenomen som benämns naturlig variabilitet (variation). En välfungerande klimatmodell ska dock kunna beskriva medelvärden och variabilitet med tillräckligt precision, t.ex. korrekt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

4.5 Beräkningsmodeller

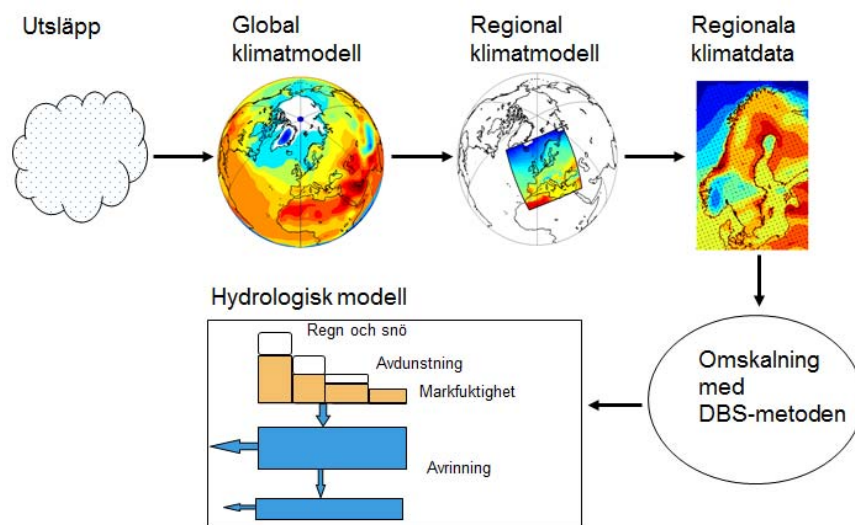
För att få en översiktlig bild av framtida klimat används globala klimatmodeller (GCM) som beskriver luftströmmar och väderfenomen över hela jorden. Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarier. Figur 4-1 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, även kallad FN:s klimatpanel) utvecklats under de senaste 20 åren.

För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningar till regionala klimatmodeller (RCM) med bättre upplösning och beskrivning av detaljer som exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen drivs av resultat från den globala modellen på randen av sitt modellområde. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Regionala klimatmodeller finns bland annat vid forskningsenheten Rosby Centre på SMHI:s forskningsavdelning. Figur 4-2 visar hur dataflödet ser ut mellan klimatmodeller på olika skalor och hur indata levereras till en hydrologisk modell där det är möjligt att studera effekter på vattenföring, magasinering etc.

Den hydrologiska modell som används är HBV-modellen. Det är en konceptuell avrinningsmodell utvecklad vid SMHI sedan slutet av 1970-talet (Lindström, m.fl., 1997). Modellen byggs upp av beräkningsrutiner för markfuktighet, snöackumulation och snösmältning, grundvatten och routing (beskrivning av vattnets väg). Indata till modellen har i denna studie hämtats från regionala klimatmodeller efter DBS-skalering, som beskrivs i avsnitt 4.6.



Figur 4-1. Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.



Figur 4-2. Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell.

Analyser med HBV-modellen är gjorda för *oreglerade* förhållanden. Det innebär att sjöar och reglerade magasin beskrivs som om de hade haft naturliga utlopp och inte aktivt reglerats för exempelvis vattenkraftsproduktion. Effekten av dessa reglerade magasin är dock begränsad för riktigt stora flöden, eftersom de måste släppas fram, oavsett reglering. Analyserna är gjorda för oreglerade förhållanden av flera skäl. Dels är det svårt att överblicka hur magasinerna regleras. Dessutom kan de regleringsstrategier som tillämpas under nuvarande klimatförhållanden komma att ändras när klimatet ändras. Andra faktorer, som exempelvis ändrade marknadsstrategier hos kraftproducenterna, kan ha minst lika stor effekt på vattenhushållningen som klimatförändringarna.

4.6 Klimatdata för effektstudier

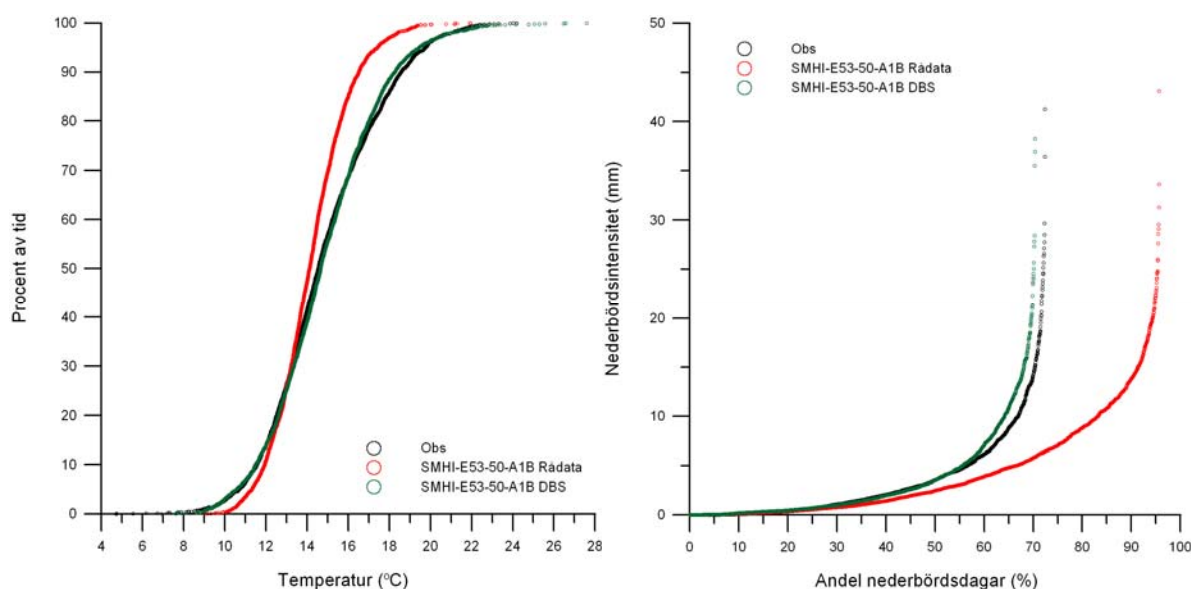
För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons,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

Under senare år har en metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Yang m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. De korrigeringsfaktorer som då införs bibehålls vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och direkt kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man vid övergången till den hydrologiska modellen både förändringar i medelvärden och de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Metoden har tidigare använts för hydrologiska modellberäkningar av Andréasson m.fl. (2011).

Figur 4-3 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur och andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell, samt när dessa rådata anpassats med DBS-metoden. I figuren visas att data efter anpassningen stämmer väl överens med observerade data. Särskilt viktigt är att den överskattning av antal dagar med nederbörd med en viss intensitet som ges av klimatmodellen korrigeras.

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

Anpassning av klimatmodellsdata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur, vilka också är drivvariablerna för den hydrologiska modellen. Den observerade nederbörd och temperatur som klimatmodellen anpassas mot har hämtats från den databas, PTHBV, som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering.



Figur 4-3. Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbördsintensitet).

Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät med upplösningen 4 km × 4 km. Data från SMHIs meteorologiska stationer har i denna databas

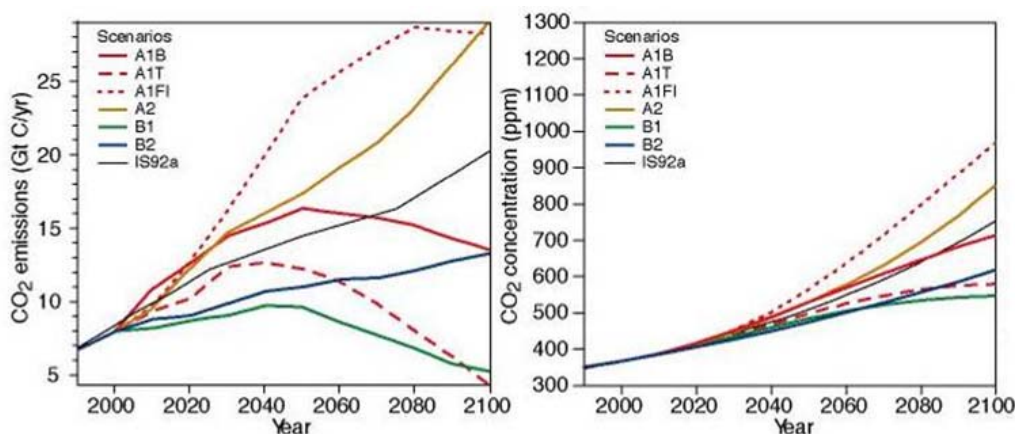
interpolerats till gridrutor med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Detaljer om hur interpolationen utförs beskrivs av Johansson (2000) och Johansson och Chen (2003 och 2005). I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framförallt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren. Mätförlusterna har beräknats enligt Alexandersson (2003). I dessa beräkningar tas hänsyn till hur vindutsatt mätstationen är och om nederbörden faller som snö eller regn, vilket avgörs utifrån temperaturen.

Data från temperatur- och nederbördsstationer används för att bygga databasen. Varje år görs en genomgång av förändringar i stationsnätet. Stationer kan flyttas, nya kan komma till och de kan läggas ned. Klimatdata finns lagrade från 1961 och framåt i tiden. Även stationer utanför länet används för att beräkna data för länet.

4.7 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i figur 4-4. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović and Swart, 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens folkmängd, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden uppskattas hur mycket klimatpåverkande gaser och partiklar som kommer att släppas ut. Dessa utsläpp ger upphov till förändringar i atmosfärens sammansättning, som till exempel mängden koldioxid i luften, vilket i sin tur har en inverkan på klimatet.

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

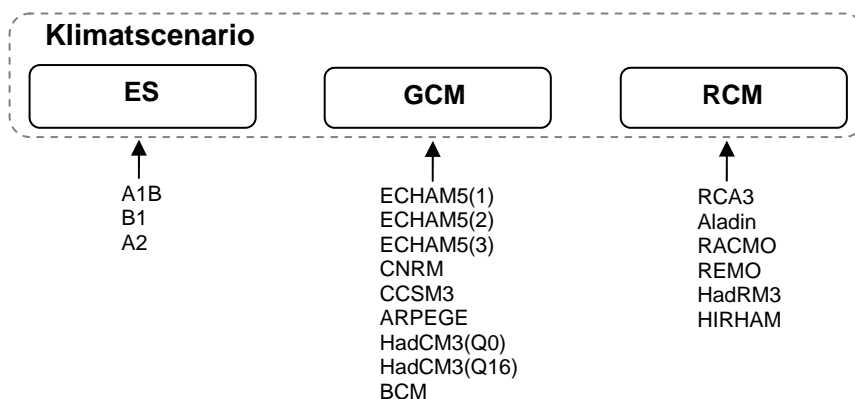


Figur 4-4. Antagande om framtida utsläpp av CO₂ (vänster) och resulterande CO₂-koncentrationer (höger) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

4.8 Klimatscenarier

Ett klimatscenario är en successiv realisering av ett utsläppsscenario i en global- och en regional klimatmodell enligt dataflödet som beskrivs i figur 4-2. Samma utsläppsscenario kan således ge upphov till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. De tre komponenterna illustreras i figur 4-5 där också de möjliga alternativen för utsläppsscenario (ES= Emissions Scenario), global klimatmodell (GCM= Global Circulation Model) och regional klimatmodell (RCM= Regional Climate Model) som används i denna studie framgår (se vidare avsnitt 4.8.1).

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



Figur 4-5. Ett klimatscenario består av en kombination av utsläppsscenario (ES), global modell (GCM) och regional modell (RCM).

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

I figur 4-4 visas ett antal utsläppsscenarioer, där A1B, A2 och B1 ingår. Ur figuren framgår bland annat att A1B är ett scenario där koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050 på grund av systemets tröghet. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

4.8.1 Klimatscenarier i denna studie

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd, vattenföring och snö (Kap. 5.1- 5.3) bygger på DBS-skalerade data från klimatscenarierna i tabell 4-1. Tabellen innehåller klimatscenarier från ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100. De övriga fyra sträcker sig fram till 2050. Till största delen har utsläppsscenario A1B använts eftersom de flesta modellkörningar inom ENSEMBLES-projektet använt sig av detta, men även A2 och B1 finns representerade.

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

















pekats ut som huvudalternativ för ENSEMBLES-projektets beräkningar. Denna modell är därför den vanligaste globala klimatmodell som används i denna rapport.

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

Övriga använda globala klimatmodeller är ARPEGE från Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) i Frankrike, BCM från Meteorologisk institutt (METNO) i Norge och den nordamerikanska modellen CCSM3.

De klimatscenarier som använts är de som funnits tillgängliga vid genomförandet, dvs. inget aktivt urval av scenarier har gjorts. Allt eftersom fler klimatscenarier blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatensamblesimuleringar. På så sätt kan fler tänkbara utvecklingar av klimatet simuleras. En större ensemble ger starkare statistiska mått på hur en framtida utveckling kan se ut. Den idag tillgängliga ensemblen är dock en stor förbättring mot vad som fanns tillgängligt för några år sedan, även om urvalet inte är systematiskt.

Tabell 4-1. Sammanställning av använda klimatscenarier. Nationsflaggorna avser instituten som har genomfört den regionala nedskalningen (RCM). Den globala klimatmodellen (GCM) ECHAM5 kommer från Max Planck Institute i Tyskland, ARPEGE från 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 Västmanlands läns framtidsklimat

Analysen av Västmanlands läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.8.1. Dessa klimatscenarier har, som framgår av tabell 4-1, en horisontell upplösning av 25-50 km. De gridnät (beräkningsrutur) som ligger till grund för beräkningarna, är inte heller desamma för de olika modellerna. Efter justering av temperatur och nederbörd, med hjälp av observationer (PTHBV-databasen) såsom beskrivs i kap. 4.6, har klimatscenierna lagrats med samma upplösning som den observerade databasen, dvs. 4 km × 4 km. Analyser av dessa bearbetade klimatscenarier gör det möjligt att presentera analyser och kartor med motsvarande upplösning i rummet. Det är dock mycket viktigt att här poängtera att *klimatsignalen från klimatmodellerna inte har denna höga upplösning.*

I Västmanlands län varierar topografin från höja höjder i nordväst till låglänta områden längs Mälarens kust. Det är denna topografi som är den största orsaken till klimatets variation inom länet. Nederbördsmängderna är större i nordväst och medeltemperaturen är lägre än i Mälardalen. Detta regionala mönster syns även i de justerade klimatscenierna. När klimatsignalen studeras, i termer av exempelvis procentuell förändring, är de regionala skillnaderna vanligen små.

Resultaten presenteras i form av diagram och kartor samt ett fåtal tabeller. I bilagorna 1-18 finns kartor för temperatur- och nederbördsvariabler och olika index baserade på desamma. De ger en samlad överblick för respektive klimatvariabel/-index. Några av dessa kartor finns också i detta kapitel. En lista över bilagorna finns i kapitel 9. Ibland förekommer enheten ”dagar” och ibland ”dygn” men beräkningarna avser alltid hela 24-timmarsperioder.

Värdena som visas i kartorna beräknas utifrån de sexton klimatscenierna för respektive ruta. Alla beräkningar baseras på de omräknade klimatscenierna som lagrats med upplösning 4 km × 4 km.

5.1 Temperatur

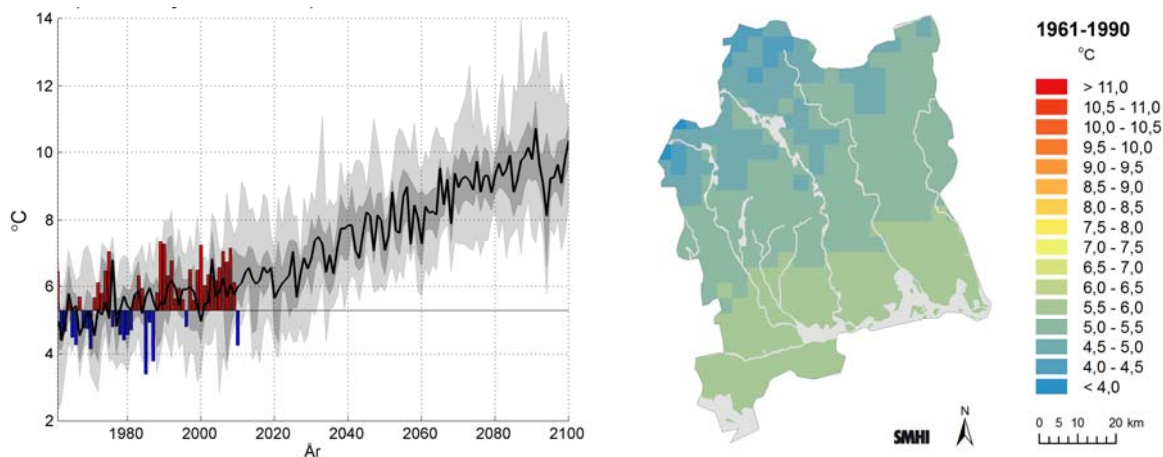
Statistik över dagens klimat för Västmanlands län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4 km x 4 km och med data från 1961 till och med 2010. Databasen uppdateras vartefter, med nya år. Databasen är beskriven i kap. 4.6.

5.1.1 Medeltemperatur för år och säsong

Årsmedeltemperaturen i Västmanlands län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 5,3°C. För perioden 1991-2010 (20 år) var medeltemperaturen för länet 6,2°C, dvs. 0,9°C varmare.

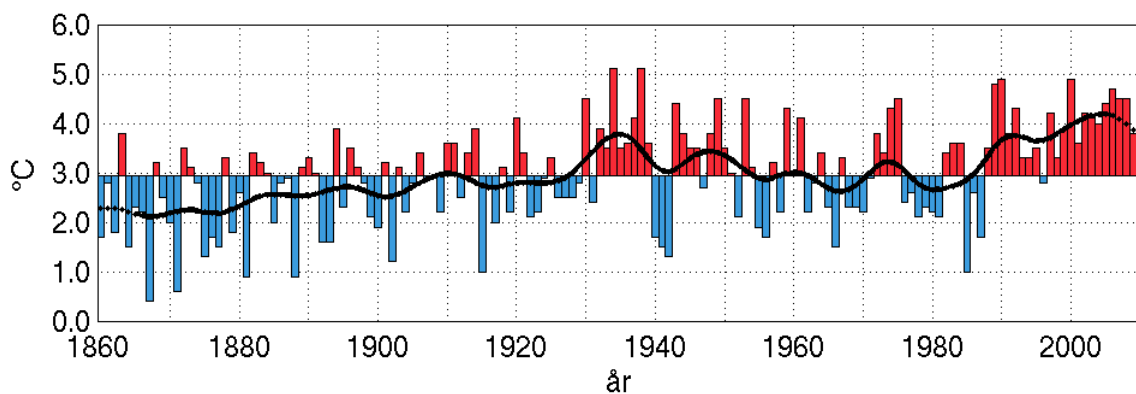
Den beräknade temperaturutvecklingen för Västmanlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.1-1. Årsmedeltemperaturen ökar successivt och når temperaturer i medeltal runt 9°C i slutet av seklet. Variationen mellan år är dock stor och spridningen visar att relativt kalla år kan förekomma de närmsta årtiondena. Årsmedeltemperaturer på ca 13°C såväl som ned mot 7°C kan förekomma i slutet på seklet om hänsyn tas till hela spännvidden som ges av de 12 klimatscenierna. Kartan (figur 5.1-1) visar hur den observerade årsmedeltemperaturen 1961-1990 varierar i länet.

I bilaga 1-5 visas alla kartor över årsmedeltemperaturen och säsongstemperaturen beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade värdena 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Observerade och beräknade värden 1961-1990 visar mycket bra överensstämmelse för länet.



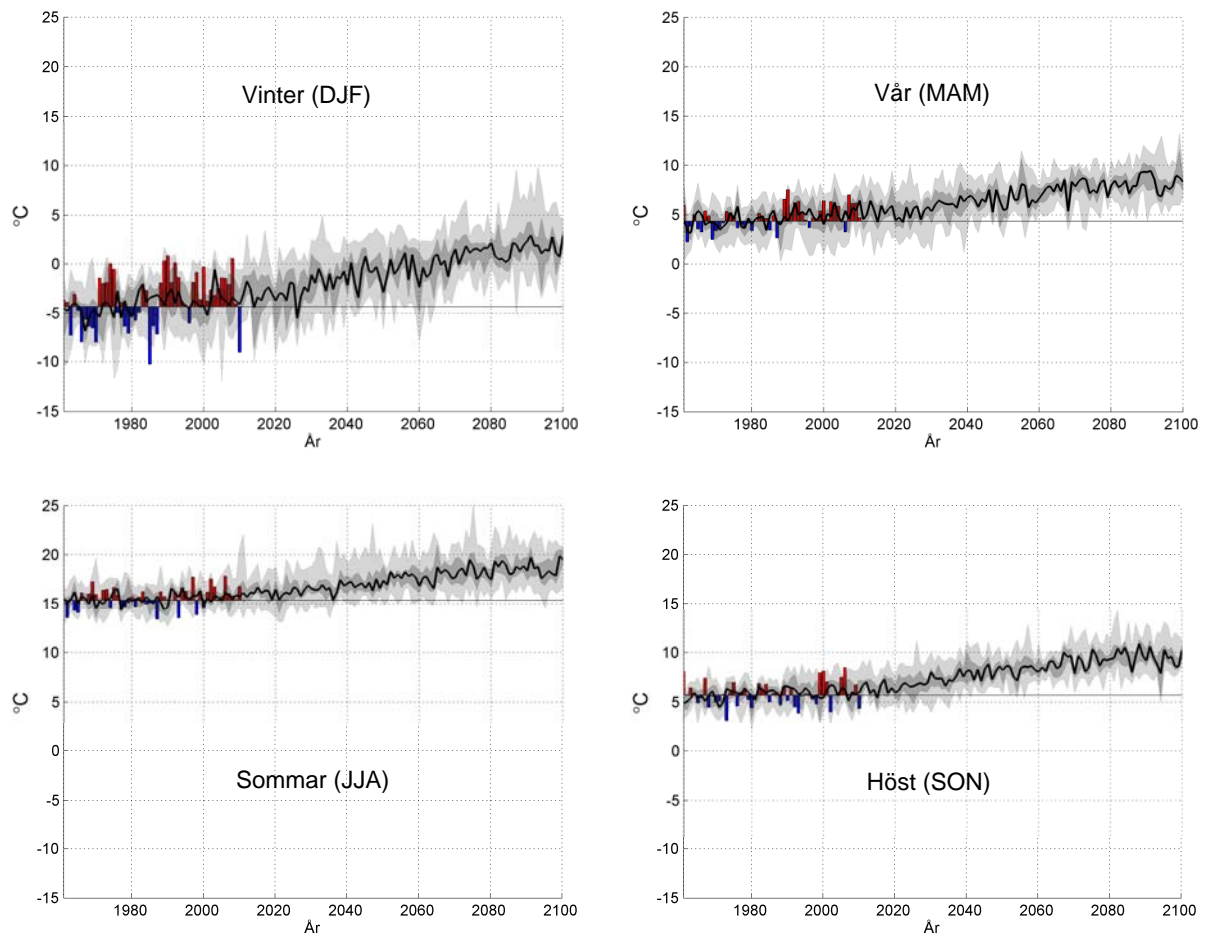
Figur 5.1-1. Beräknad utveckling av årsmedeltemperaturen i Västmanlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1. Årsmedeltemperaturen 1961-1990 (5,3°C) visas som en horisontell linje. Observerade årsvärden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre årsvärden visas som blå staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Kartan visar den observerade årsmedeltemperaturen 1961-1990 (°C).

Det finns inte tillgängliga temperaturdata för att kunna beräkna Västmanlands årsmedeltemperatur för tidigare 30-årsperioder före 1960. Som jämförelse, för att belysa temperaturutvecklingen i ett längre perspektiv, visas här istället årsmedeltemperaturens utveckling i Sverige från 1860 fram till och med 2010, beräknad utifrån 37 stationer spridda över landet (figur 5.1-2). Fördelningen mellan varma och kalla år stämmer väl överens med Västmanland (figur 5.1-1) för perioden 1961-2010 även om det skiljer i absoluta värden. Den senaste 20-årsperioden framstår även för hela Sverige som ovanligt varm.



Figur 5.1-2. Årsmedeltemperaturen i Sverige 1860-2010 (°C) baserat på 37 stationer spridda över landet. Röda staplar visar högre och blå staplar visar lägre temperaturer än medelvärdet för perioden 1961-1990. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp som ungefär motsvarar tio-åriga medelvärden. Källa: www.smhi.se/klimatdata

Det finns stora likheter mellan de globala och de svenska variationerna i temperaturen, t.ex. att slutet av 1800-talet var kallare än 1900-talet. Sedan 1988 har alla år utom 1996 och 2010 varit varmare eller mycket varmare än genomsnittet för 1961-1990, dvs. den nu gällande normalperioden. Eftersom Sverige bara utgör en liten del av jordytan framträder regionala variationer i en jämförelse med globala värden. Bland annat den varma perioden under 1930-1940-talen, inklusive åren med de kalla krigsvintrarna, som syns tydligt i våra data är inte alls så framträdande i globala data. Även det i Sverige kalla året 2010 är ett exempel på en regional avvikelse eftersom detta år globalt var ett av de varmaste.



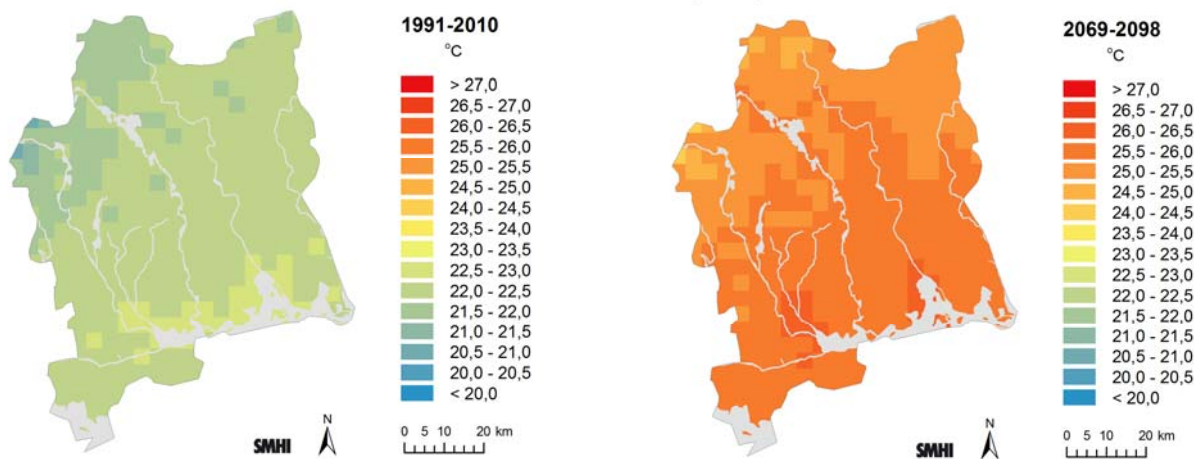
Figur 5.1-3. Den beräknade temperaturutvecklingen i Västmanlands län för de fyra årstiderna baserat på samtliga klimatscenarier. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1

Temperaturutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.1-3. Variationen i säsongstemperatur mellan åren är störst för vintern. Medeltemperatur för referensperioden 1961-1990 är $-4,3^{\circ}\text{C}$ för vintern, $4,3^{\circ}\text{C}$ för våren, $15,3^{\circ}\text{C}$ för sommaren och $5,7^{\circ}\text{C}$ för hösten. För samtliga säsonger syns en temperaturuppgång under seklet och den är mest framträdande för vintern.

I beräkningarna över framtidsklimatet, avseende årsmedeltemperaturer, kvarstår det regionala mönstret med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare på de mer höglänta områdena i nordväst (se bilaga 1). Det syns också i säsongskartorna. Differenskartorna bekräftar att temperaturuppgången är störst för vintern, mot slutet av seklet sker en ökning med upp mot 6°C (se bilaga 2).

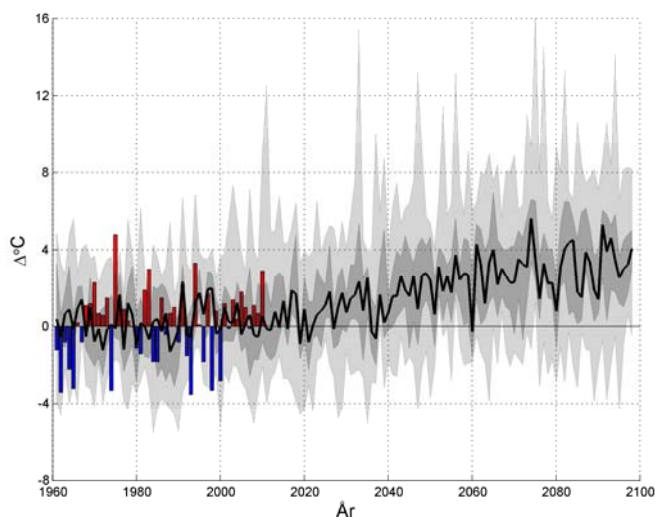
5.1.2 Varma perioder

Kartor över årets högsta dygnsmedeltemperatur finns i bilaga 6. Här visas två av dem (figur 5.1-4). Indexet är beräknat som ett medelvärde över 30 år och visar alltså inte extrema värden på dygnsmedeltemperaturen. De högsta dygnsmedeltemperaturerna förekommer i Mälardalen, i dagens klimat upp mot 23°C . I slutet av seklet når dessa i medeltal upp mot 26°C .



Figur 5.1-4. 30-års medelvärden av högsta dygnsmedeltemperatur (°C), observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknad för 2069-2098 (höger karta).

Figur 5.1-5 visar utvecklingen av årets högsta dygnsmedeltemperatur på årsbasis fram till slutet av seklet. Medelvärdet för länet var under referensperioden 1961-1990 22°C. Beräkningarna visar att stora variationer förekommer mellan åren även i framtiden. I slutet av seklet når medianvärdena en ökning på ca 4°C.



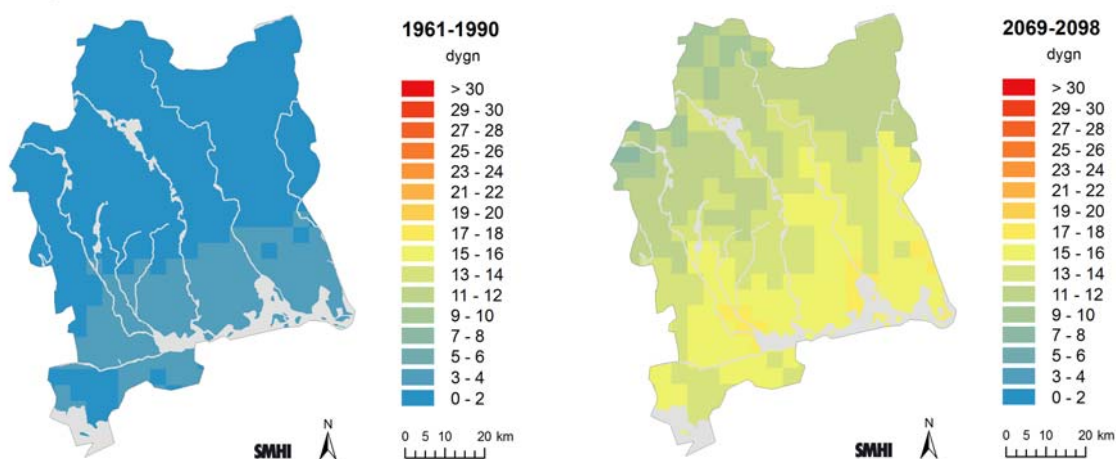
Figur 5.1-5. Utvecklingen av årets högsta dygnsmedeltemperatur för Västmanlands län i relation till medelvärdet för 1961-1990 (20,7°C). Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje.

Varma perioder kan definieras på olika sätt, utifrån dygnsmedeltemperatur eller dygnets högsta temperatur. Ofta används begreppet värmebölja, som är ett vagt begrepp för en längre period med, för aktuell plats, varma förhållanden. Det finns ingen allmänt vedertagen gemensam definition för värmebölja. I kapitel 3.2.1 nämndes ett faktablad som SMHI sammanställt över värmeböljor där även olika definitioner omnämns (SMHI, 2011a). WMO (World Meteorological Organization) definierar värmebölja som ”över fem dagar i sträck med högsta dagstemperatur mer än 5°C över den för årstiden normala under perioden 1961-1990.” I Sverige definierar SMHI värmebölja som ”en sammanhängande period då dygnets högsta temperatur överstiger 25°C minst fem dagar i sträck.” Enligt denna definition råder alltså inte värmebölja under vintrar med ovanligt höga vintertemperaturer. Yrkes- och miljömedicin vid Umeå universitet anger värmebölja som då dygnsmedeltemperaturer på 22-23°C eller däröver råder i minst 2 dygn. Socialstyrelsen har i en

redovisning till regeringen angett värmebölja som ”veckor med en observerad medeltemperatur över den förväntade medeltemperaturen.” Det finns alltså olika definitioner och de är, ur ett klimatologiskt perspektiv, mer eller mindre diffusa. Flera länder har olika värmeindex som även används i väderrapporteringen. Sverige har ännu inget sådant system men det pågår arbete för att SMHI även ska kunna utfärda värmevarningar vid behov i framtiden.

I ett internationellt perspektiv uppfattas värmeböljor väldigt olika, till viss del beroende på fysionomi men också på inlärt beteende. Sverige är ett förhållandevis kallt land och mer anpassat för kalla förhållanden än för varma förhållanden. Hur stora konsekvenser värmeböljor får beror på samhällets förmåga till fysiska anpassningsåtgärder men också på människors beteenden. Forskare på Umeå universitet har vid hälsostudier funnit effekter av värme redan vid så pass låg medeltemperatur som 22°C i Sverige.

I denna analys används antal varma dagar per år som ett mått på varma perioder för att analysera hur framtidens klimat ter sig i jämförelse med dagens klimat avseende värme. Varma perioder, definierade som antal dagar då dygnsmedeltemperaturen överstiger 22°C varje år, presenteras i kartform som 30-årsmedelvärden (bilaga 7). Här presenteras de observerade värdena för perioderna 1961-1990 och beräknade för 2069-2098 (figur 5.1-6). I dagens klimat förekommer endast ett fåtal varma dagar varje år. Perioden 2021-2050 visar upp mot 10 dagar i länets södra del (bilaga 7). Detta förstärks för perioden 2069-2098, då de höglänta områdena i nordväst får ca 10 varma dagar och Mälarens kustremsa upp mot 18 dagar.



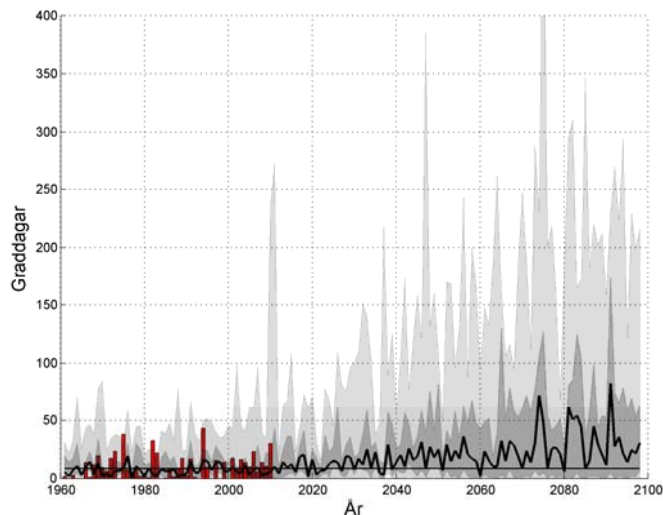
Figur 5.1-6. Antal varma dagar per år med dygnsmedeltemperatur >22°C, observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

5.1.3 Behov av kylning och uppvärmning

I bilaga 8 presenteras kartor över graddagar för kylning (°C × dygn) med tröskelvärdet 20°C. Beräkningen görs så att för de dagar då dygnsmedeltemperaturen är större än 20°C bidrar den dagen med överskottet (dygnsmedeltemperaturen minus 20°C) till antalet graddagar. Dessa summeras sedan över året.

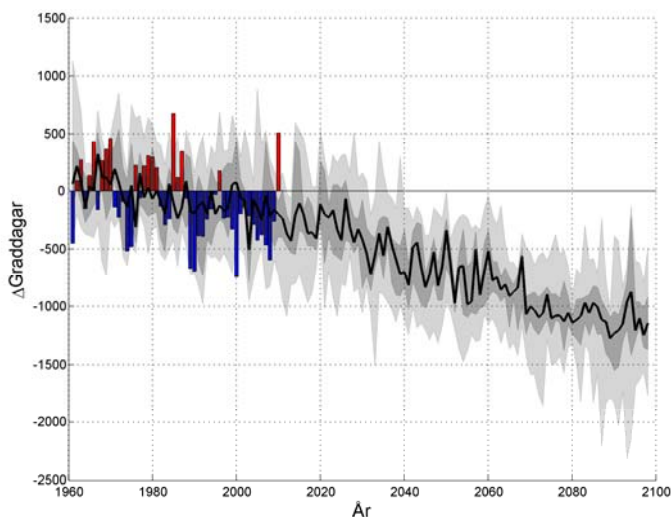
Behovet av kylning är i dagens klimat vanligtvis litet i Sverige, vilket också syns i kartorna för 1961-1990 (bilaga 8) både för observerade och beräknade värden. Det framtida klimatet uppvisar en ökning av antalet graddagar för kylning över länet på mellan 40 och 100 graddagar vid slutet på seklet (bilaga 8). Variationen är stor inom länet och området i närheten av Mälaren visar på flest graddagar.

I figur 5.1-7 visas den beräknade utvecklingen för länet som helhet. Under referensperioden 1961-1990 var medelvärdet 8 graddagar per år. Mot slutet av seklet är spridningen av resultaten stor men medianvärdena visar en ökning på 20-30 graddagar. Kartorna i bilaga 8 antyder dock att för Mälardalen är förändringen större än för länets nordvästra del.



Figur 5.1-7. Beräknat antal graddagar för kylning överstigande 20°C, 1961-2098. Observerade värden visas som röda staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Medelvärde för referensperioden 1961-1990 är 4 graddagar och finns inlagd som en svart linje.

I bilaga 9 presenteras kartor över graddagar för uppvärmning med tröskelvärdet 17°C. Måttet baseras på att byggnaders värmesystem ska värma upp byggnader till 17°C. Resterande energibehov antas tillkomma från solinstrålning samt från värme alstrad av personer och elektrisk utrustning i byggnaderna. Beräkningen av graddagar görs så att för de dagar då dygnsmedeltemperaturen underskrider 17°C beräknas skillnaden mellan dagens temperatur och 17°C. Dessa skillnader summeras sedan över året. En dag då medeltemperaturen t.ex. varit 6°C bidrar med 11 graddagar till årssumman. Under vår, sommar och höst har solinstrålningen särskilt stor betydelse och för dessa säsonger väljs därför andra tröskelvärden; april 12°C, maj-juli 10°C, augusti 11°C, september 12°C, oktober 13°C.



Figur 5.1-8. Utvecklingen av beräknat antal graddagar för uppvärmning under året för perioden 1961-2098 relativt referensperiodens medelvärde. För referensperioden 1961-1990 är antalet graddagar 2970. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Diagrammet avser Västmanlands län.

I figur 5.1-8 visas den beräknade utvecklingen för länet som helhet. Perioden 1991-2009 visar en tydlig minskning av uppvärmningsbehovet, som också stämmer väl med beräkningarna.

Referensperiodens medelvärde var $3550^{\circ}\text{C} \times \text{dygn}$ och i slutet av seklet sker en minskning med drygt 1000 graddagar. Behovet av uppvärmning minskar alltså med ungefär en tredjedel av dagens behov.

Antalet graddagar för uppvärmning varierar över länet och följer ganska väl topografin med störst behov på höglänta områden (bilaga 9). En minskning kan ses med tiden i framtidsberäkningarna, från ca 3200-3700 graddagar 1961-1990 till ca 2300-2700 graddagar mot slutet av seklet.

5.2 Nederbörd

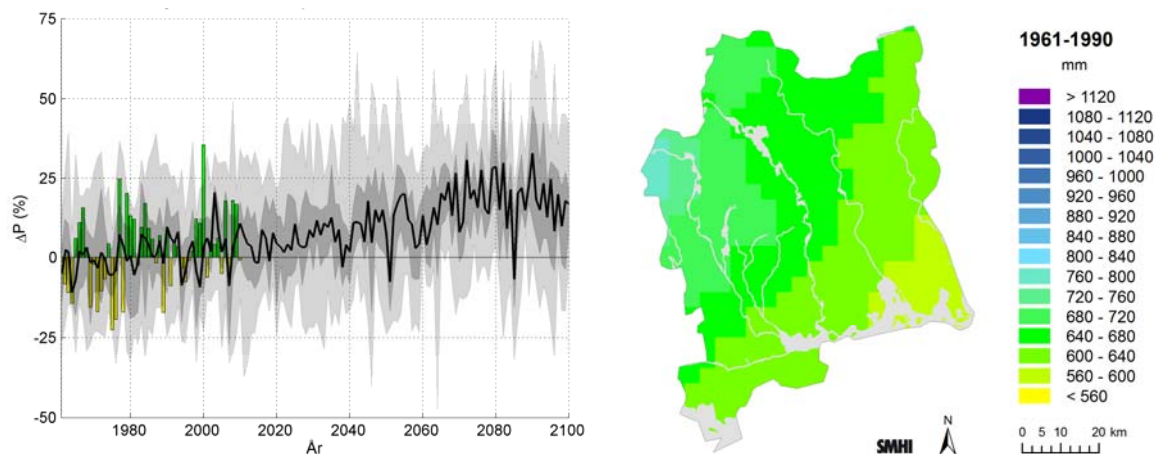
Statistik över dagens klimat för Västmanlands län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ och med data från 1961.

5.2.1 Medelnederbörd för år och säsong

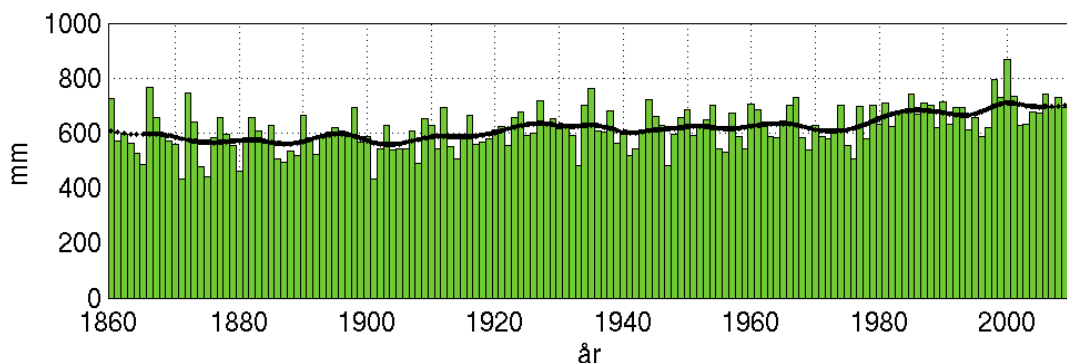
Årsmedelnederbörden i Västmanlands län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 650 mm. För perioden 1991-2010 (20 år) var årsmedelnederbörden för länet 683 mm vilket är en ökning med 5%. För landet som helhet syns en ökning på ca 10% för samma period.

Den beräknade utvecklingen för årsnederbörd i Västmanlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.2-1. Årsmedelnederbörden ökar successivt om än med stor variation mellan åren. I slutet av seklet ligger medianvärdet för årsmedelnederbörden på ca +20 %, i relation till referensperioden.

Kartan (figur 5.2-1) visar hur den observerade årsmedelnederbörden varierade över länet under referensperioden. Nederbördsfördelningen följer det nederbördsmönster som beskrevs i avsnitt 3.2, med störst mängder i nordväst och torrare i Mälardalen.



Figur 5.2-1. Beräknad utveckling av årsmedelnederbörden i Västmanlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 och uttryckt som avvikelse (%) från medelvärdet för 1961-1990. Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdena. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Kartan visar den observerade årsmedelnederbörden 1961-1990 (mm).

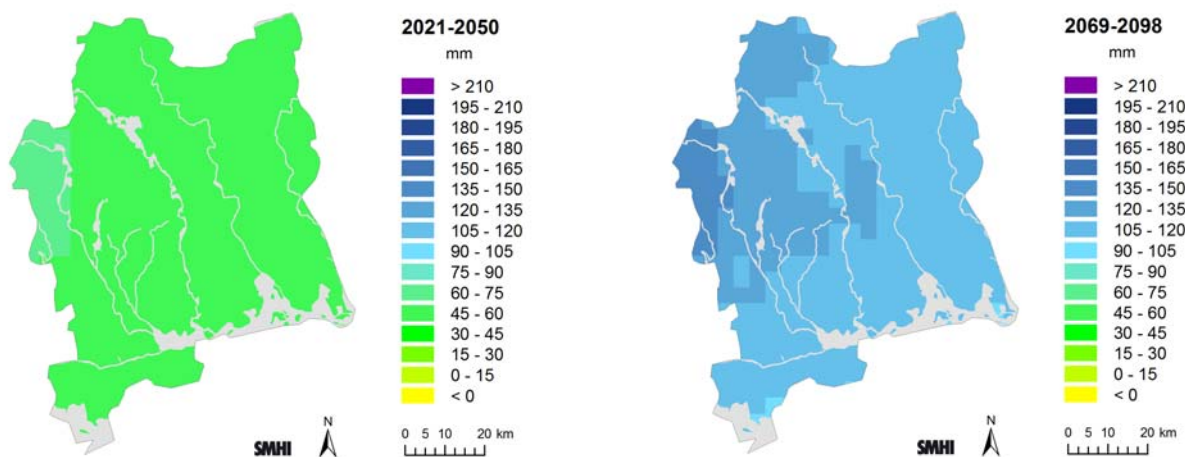


Figur 5.2-2. Årsmedelnederbörd för Sverige 1860-2010, baserad på 87 stationer. Den svarta kurvan visar ungefär ett tio-årigt löpande medelvärde. Källa: www.smhi.se/klimatdata

Det finns inte tillgängliga nederbördsdata för Västmanlands län för att kunna beskriva tidigare 30-årsperioder före 1960. Som jämförelse över nederbördens utveckling visas här istället, i figur 5.2-2, årsmedelnederbörden för Sverige som helhet. Beräkningarna är baserade på 87 stationer spridda i landet. De utjämnade värdena (svarta linjen i diagrammet) visar att medelnederbörden var lägre än 600 mm fram till omkring 1920. Under perioden 1920 fram till ungefär 1980 låg nederbörden i genomsnitt på 600 mm. Därefter har nederbörden ökat och det är sällsynt med värden under 600 mm. För perioden referensperioden 1961-1990 var årsnederbörden knappt 4% större jämfört med perioden 1931-1960.

I bilagorna 10-14 visas kartor över årsmedelnederbörd och säsongmedelnederbörd beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade värdena 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Observerade och beräknade värden 1961-1990 visar mycket god överensstämmelse för länet.

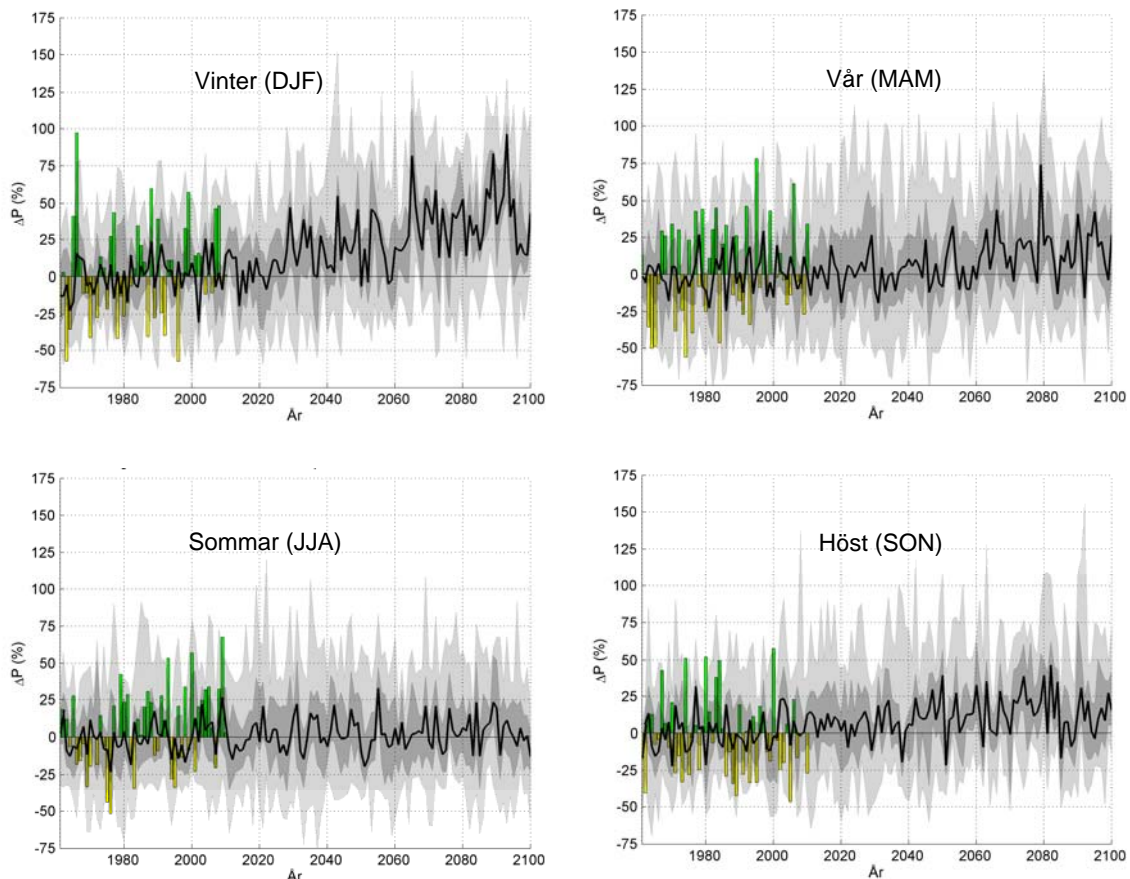
I figur 5.2-1 visas förändringen i nederbörd jämfört med referensperioden fram till mitten (2021-2050) och slutet (2069-2098) av seklet. Ökningen är störst i länets nordvästra del och beräknas i slutet av seklet till upp mot 150 mm.



Figur 5.2-3. Förändring i årsmedelnederbörd (mm) jämfört med 1961-1990 beräknat för 2021-2050 (vänster) och 2069-2098 (höger).

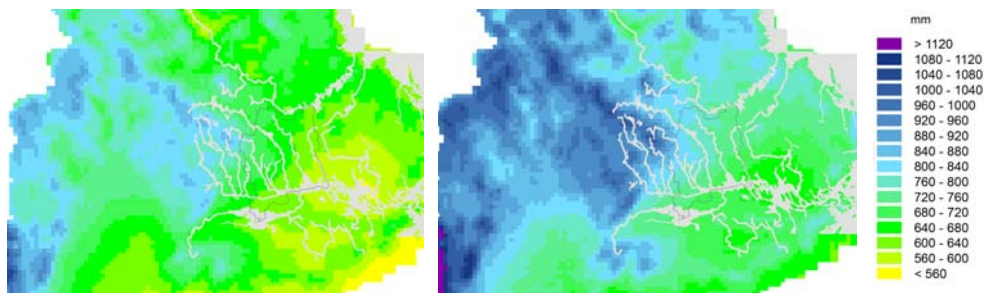
Nederbördsutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.2-4. Medelnederbörd för referensperioden 1961-1990 är 129 mm för vintern, 118 mm för våren, 210 mm för sommaren och 194 mm för hösten.

Vintern visar den tydligaste framtida nederbördsökningen men även för höst och vår syns en ökning (ser även kartorna i bilaga 11-14). För vintern pekar medianvärdena på en ökning med över 30% i slutet av århundradet jämfört med referensperioden. För sommaren pekar inte klimatscenarierna på någon generell framtida ökning av nederbörden.



Figur 5.2-4. Beräknad nederbördsutveckling för de fyra årstiderna i Västmanlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdena. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje.

Perioden 1991-2010 har varit blötare än referensperioden, vilket syns framförallt i sommarmedelnederbörden, men också i vårmedelnederbörden (bilaga 12 och 13). Medelnederbörden för hösten har dock varit mindre den senaste 20-årsperioden (bilaga 14). Observeras bör dock att perioden enbart är 20 år dvs. kortare än referensperioden. Det är också ett exempel på den mycket stora variation som finns i klimatet och då speciellt vad gäller nederbörden i denna del av världen. Variationen mellan år kommer fortsatt att vara stor men för sommarens del pekar klimatscenarierna inte på en generell framtida ökning medelnederbörden.



Figur 5.2-5. Årsmedelnederbörd (mm) enligt observationer perioden 1961-1990 (vänster karta) och beräknad enligt medianvärden av klimatscenarier för 2069-2078 (höger karta).

Västmanland ligger i ett område där de nederbördsfattiga sydöstra delarna av Sverige möter de mer nederbördsrika västra delarna. Även i beräkningarna av det framtida nederbörds-klimatet uppträder

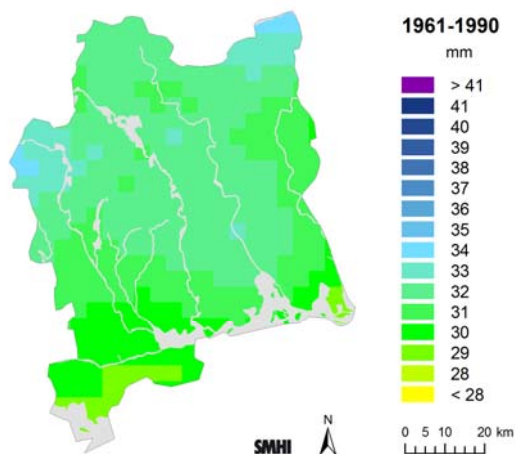
detta mönster (figur 5.2-5). De nederbördsrika områdena väster om länet påverkar flödena i speciellt Arbogaån och Köpingsån.

5.2.2 Kraftig nederbörd

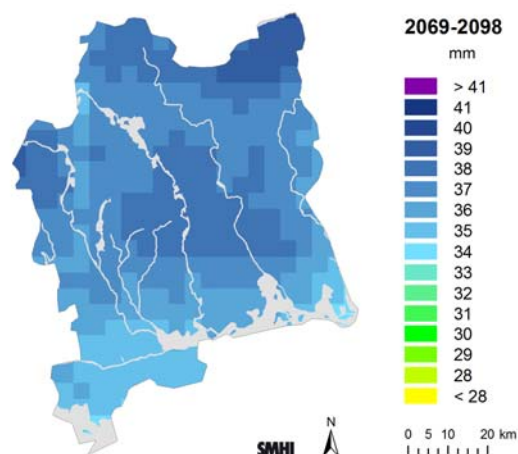
I bilaga 15 och 16 visas två klimatindex av kraftig nederbörd; största 1-dygnsnederbörd och största 7-dygnsnederbörd. Medelvärden för de årshögsta värdena över 30-årsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 visas tillsammans med observationer för perioderna 1961-1990 och 1991-2010.

Perioden 1991-2010 har varit lite torrare jämfört med referensperioden vad gäller största 1-dygnsnederbörd. Det bör dock observeras att denna period enbart är 20 år, alltså kortare än referensperioden. I figur 5.2-6 visas de observerade respektive beräknade medianvärdena för 1961-1990 och 2069-2098 för de två indexen.

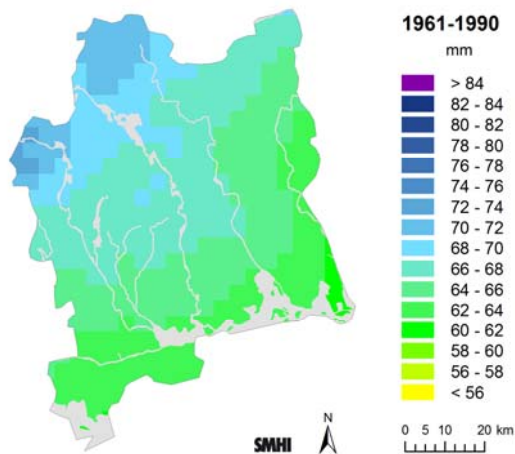
1-d nederbörd, observerade värden 1961-1990



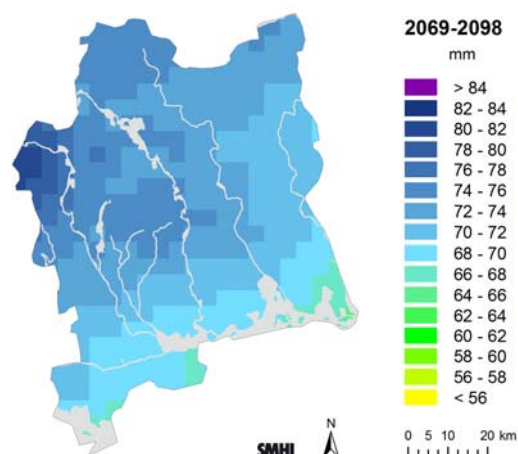
1-d nederbörd, beräknade medianvärden 2069-2098



7-d nederbörd, observerade värden 1961-1990



7-d nederbörd, beräknade medianvärden 2069-2098



Figur 5.2-6. 30-årsmedelvärden av största 1-dygnsnederbörd (mm) (ovan) och 7-dygnsnederbörd (mm) (nedan). Vänster kolumn visar observerade värden för perioden 1961-1990 och höger kolumn beräknade medianvärden för perioden 2069-2098.

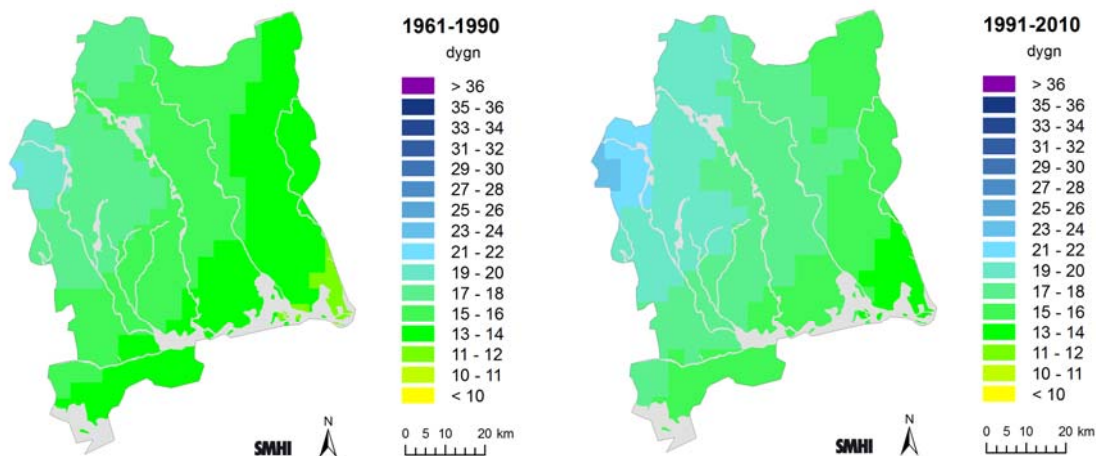
Största 1-dygnsnederbörden och 7-dygnsnederbörden uppvisar lite olika fördelningar över länet. 7-dygnsnederbörden visar en fördelning som är mycket lik årsmedelnederbörden. Vädersituationen som ger detta mönster är huvudsakligen lågtryckssystem som härrör från Atlanten och som ofta ger nederbörd flera dagar i följd. Största 1-dygnsnederbörden påverkas i första hand av lokala åskväder och då ser nederbördsfördelningen lite annorlunda ut. I framtidsberäkningarna kvarstår det geografiska mönstret men den kraftiga nederbörden ökar. 1-dygnsnederbörden når upp mot 40 mm i några områden och 7-dygnsnederbörden ca 80 mm (observera att legenderna är olika för de två indexen). Det bör påpekas att siffrorna gäller för hela gridrutor (4 km × 4 km) och för medelvärden över 30 år och innefattar alltså inte extrema skurar.

I bilaga 17 visas antal dagar per år med nederbörd över 10 mm. Kartor finns som medelvärden för 30-årsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 tillsammans med differenskartor för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Observerade värden för 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Här visas tre av kartorna från bilaga 17 samt de observerade värdena för 1991-2010 (figur 5.2-7).

Dygnsmedelnederbörd på 10 mm i beräkningsrutorna betyder ett kraftigt regn över området. Beräkningarna visar en successiv ökning av antalet dygn och i slutet av seklet ligger medianvärden mellan 5 och 7 dygn per år (se differenskarta i bilaga 17).

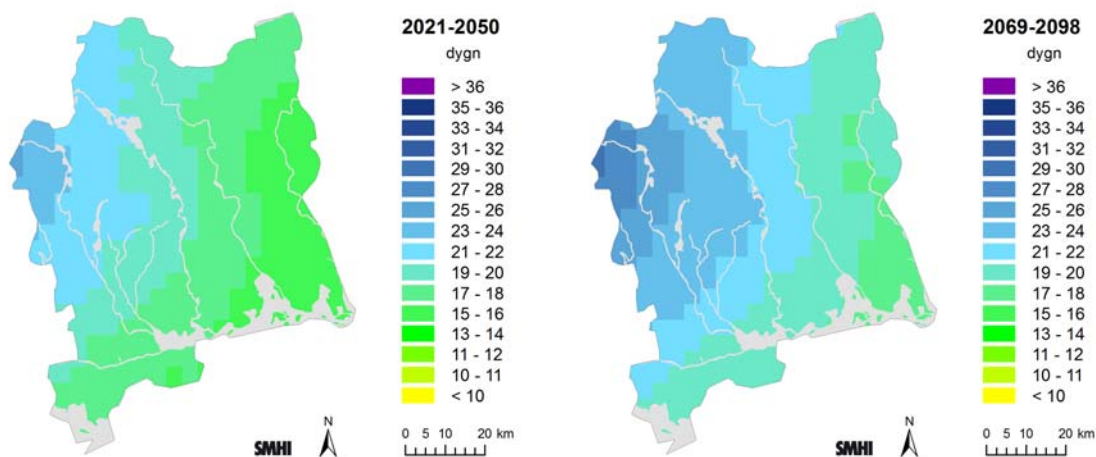
Observerade värden 1961-1990

Observerade värden 1991-2010

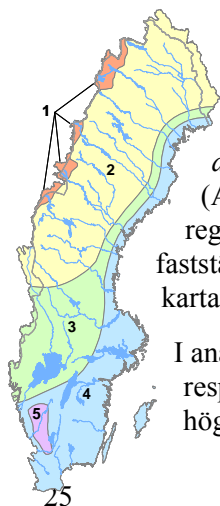


Beräknade median värden 2021-2050

Beräknade median värden 2069-2098



Figur 5.2-7. 30-årsmedelvärden av antal dygn per år med nederbörd över 10 mm. Observerade värden för perioderna 1961-1990 och 1991-2010 (övre raden) och beräknade medianvärden för 2021-2050 respektive 2069-2098 (nedre raden).



Den mest extrema nederbördens framtida utveckling har analyserats med den metodik som utvecklats inom projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv* (Andréasson m.fl., 2011). Det innebär att nederbörd med en viss återkomsttid beräknats regionvis för de 5 regioner som används vid flödesdimensionering enligt riktlinjer fastställda av Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Indelningen illustreras i kartan och Västmanlands län ligger på gränsen mellan region 3 och 4.

I analysen har såväl regionala 20-årsregn som regionala 100-årsregn beräknats för respektive region och avser *regionens* högsta värden. 100-årsvärdet avser i detta fall det högsta värdet under 100 år för hela regionen. Analysen ger dock en bild av utvecklingen

av extrema regn i allmänhet. Beräkningarna är baserade på de 12 scenarierna som sträcker sig till slutet av århundradet och resultaten sammanfattas i tabell 5-1 och tabell 5-2.

Tabell 5-1. Den beräknade utvecklingen av den mest extrema dygnsnederbörden uttryckt som regionala 20-årsregn i de regioner som definierats i de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Förändringarna avser mellan perioderna 1961-1990 respektive 2068-2097.

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

Tabell 5-2. Den beräknade utvecklingen av den mest extrema dygnsnederbörden uttryckt som regionala 100-årsregn i de regioner som definierats i de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Förändringarna avser mellan perioderna 1961-1990 respektive 2068-2097.

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

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

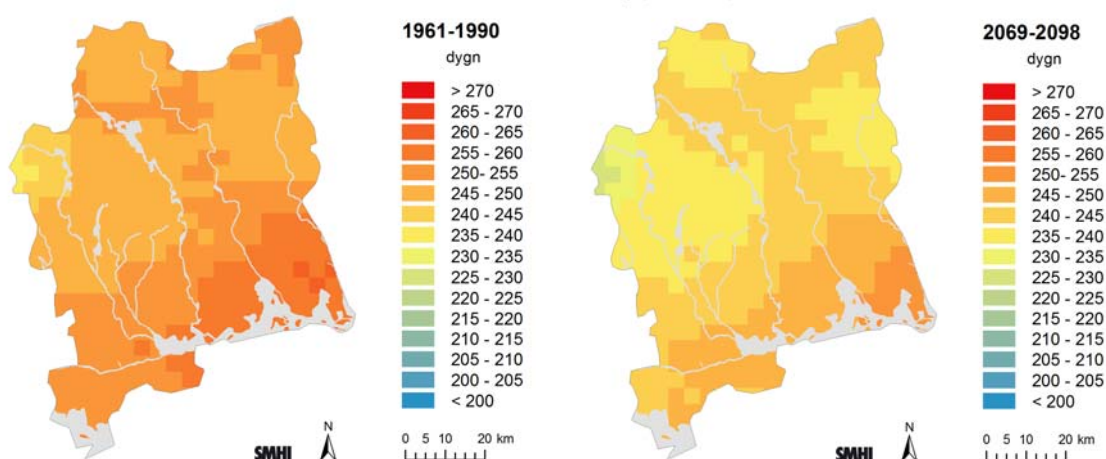
I en studie över framtida extremväder i Europa (Nikulín et al., 2011) framkommer att nederbördsmönstren förändras. För extrem nederbörd (skyfall) går utvecklingen mot högre intensitet och ökad frekvens. I Skandinavien kan extrem nederbörd som inträffat vart 20:e år i framtiden ske vart 8:e år. Beräkningarna, som ligger till grund för slutsatserna, är gjorda med en svensk regional klimatmodell med indata från sex globala modeller och med ett utsläppsscenario (A1B)(se tabell 4-1).

5.2.3 Perioder utan nederbörd

I bilaga 18 presenteras kartor med 30-årsmedelvärden över maximala antalet sammanhängande dygn per år utan nederbörd. Tröskelvärdet är dygn med mindre än 1 mm nederbörd. Perioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 visas tillsammans med observerade värden för 1961-1990 och 1991-2010. Figur 5.2-8 visar beräknade värden för referensperioden och slutet av seklet.

Antalet torra dagar är minst i de områden som är blötast i dagens klimat, dvs den nordvästra delen av länet. Flest torra dygn har Mälardalen och fördelningen är ungefär lika under de två observationsperioderna. Mönstret kvarstår även i framtiden. Klimatscenierna överskattar antalet torra dygn något (jämför observerade och beräknade värden 1961-1990). Trenden i framtidsberäkningarna är att antalet torra dagar minskar något, i takt med att nederbörden ökar.

Det ska poängteras att detta index inte är det samma som torka. I ett framtida varmare klimat kan markfuktigheten minska på grund av ökad avdunstning, även om antalet torra dagar blir färre.



Figur 5.2-8. Perioder utan nederbörd, definierad med tröskelvärdet mindre än 1 mm nederbörd. Beräknade 30-årsmedelvärden för perioderna 1961-1990 (vänster) och 2069-2098 (höger).

5.3 Vattenföring

Vattenföring är benämningen för den mängd vatten som rinner fram i ett vattendrag och mäts ofta i kubikmeter per sekund (m^3/s). Områdets avrinningsområde definieras som hela det område som kan bidra till flödet i områdets vattendrag. Vattenföringen på en plats i ett vattendrag är densamma som den totala tillrinningen från hela uppströms avrinningsområdet. Varje vattendrag har sin egen rytm och storleken på flödet varierar under året främst med klimatet i avrinningsområdet men också till följd av eventuella regleringar (se ex. fig. 3-7). Sjöar har en utjämnande effekt på vattenföringen i ett vattendrag, vilket beror på att en sjös utlopp på ett naturligt sätt begränsar utflödet. Under perioder med hög tillrinning kommer således vatten att magasineras i en sjö, sjöns nivå stiger, och flödet ur sjön blir mindre än det totala tillflödet. Den dämpande effekten styrs framförallt av sjöns areal och utloppets avbördningsförmåga, dvs. utformningen av utloppet och förhållandena nedströms sjön. Vattendragen har en tydlig årstidsvariation med låga flöden under sommaren (se även kapitel 3.2.4).

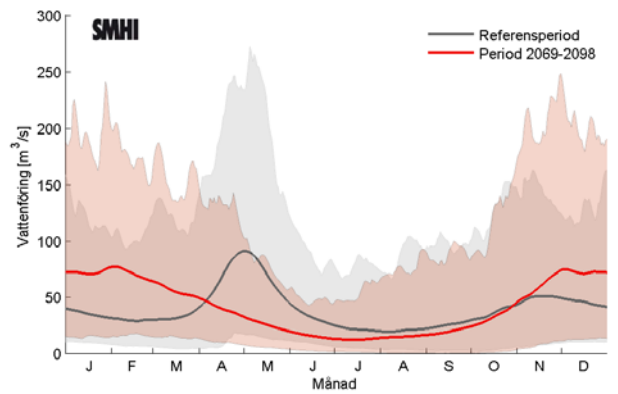
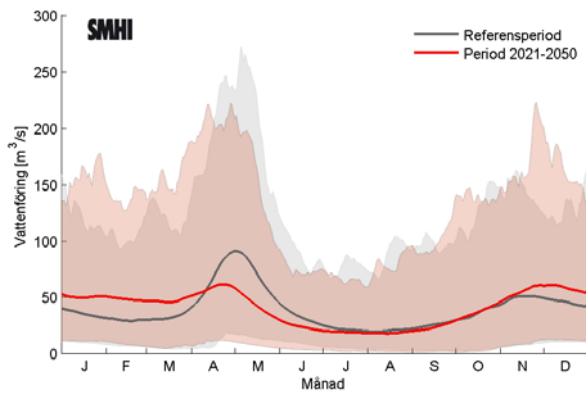
I följande kapitel presenteras framtida förändringar av vattenföringens säsongsvariation, medelvattenföringen samt lokal och total vattenföring med en återkomsttid på 100 år.

5.3.1 Vattenföringens säsongsvariation

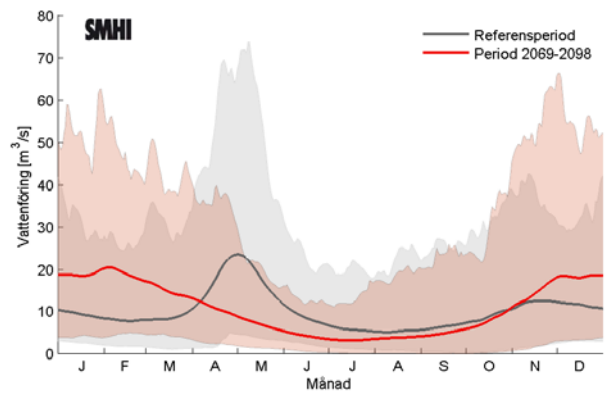
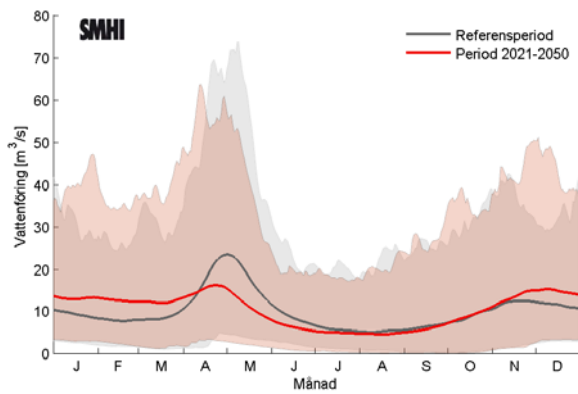
Med en ökande temperatur kommer i framtiden en ökande vinternederbörd att falla mer som regn. Mindre vatten magasineras som snö vilket leder till förändrad säsongsdynamik i våra vattendrag. Den idag vanliga vårfloden, flödestoppen under våren då snön smälter undan, kommer i framtiden att ersättas med högre flöden under längre perioder vintertid i Arbogaåns, Hedströmmens, Kolbäcksåns, Svartåns, Sagåns och Köpingsåns totala vattenföring (figur 5.3-1 och 5.3-2). För samtliga vattendrag ökar vattenföringen i början och slutet på året och minskar under våren och vanligen också under sommaren. Förändringarna av den ökade vinternederbörden och temperaturökningen som ger en längre växtsäsong. Växterna kommer igång tidigare på våren och är aktiva längre in på hösten vilket leder till ökad avdunstning och mindre mängd av nederbörden når vattendragen. Perioderna med låga vattenföringar ser ut att bli längre.

För varje vattendrag visas beräkningar för perioden 2021-2050 och 2069-2098 tillsammans med referensperioden 1963-1992. Notera att även referensperioden 1963-1992 har beskrivits med drivdata från klimatsimuleringarna.

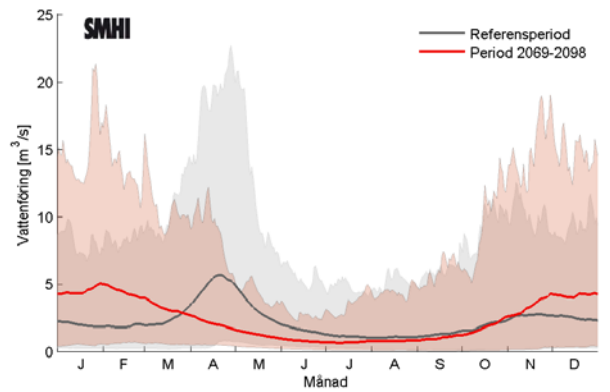
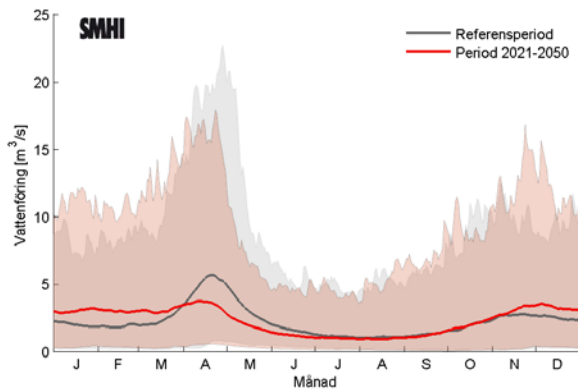
Arbogaån



Hedströmmen

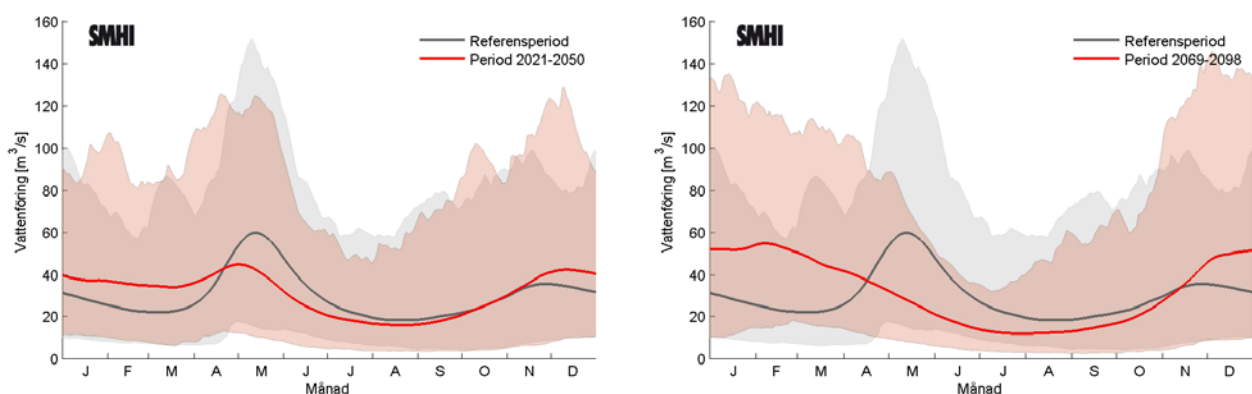


Köpingsån

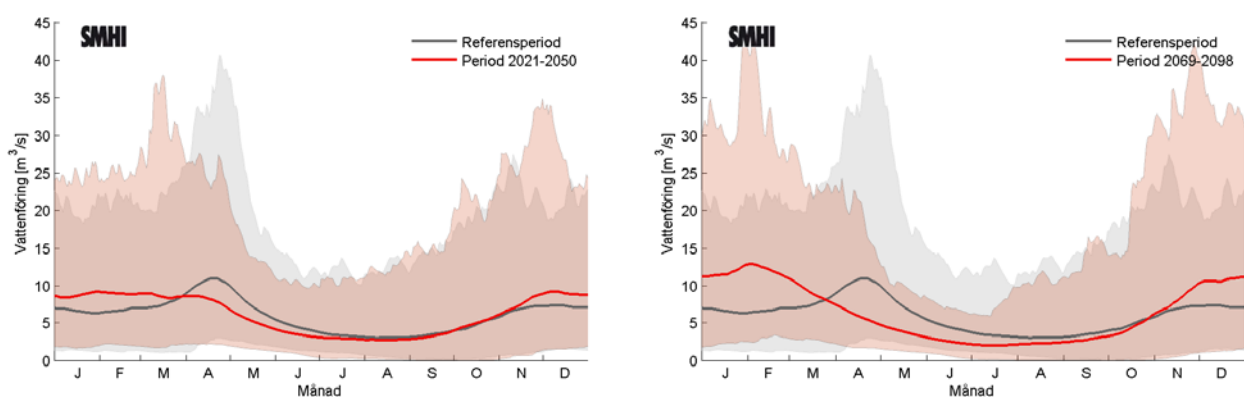


Figur 5.3-1. Den vänstra figuren visar medeldygnsvattenföring för perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Helledragen svart linje visar medelvattenföring för referensperioden och helledragen röd linje visar medelvattenföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Översta figurerna avser Arbogasåns mynning, därunder Hedströmmens mynning och nederst Köpingsåns mynning i Mälaren.

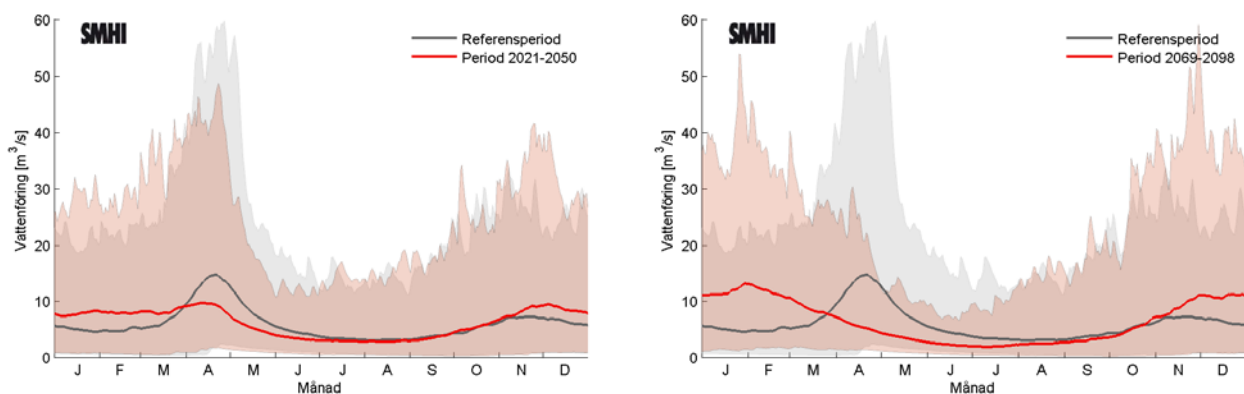
Kolbäcksån



Svartån



Sagån



Figur 5.3-2. Den vänstra figuren visar medeldygnsvattentföring för perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Helledragen svart linje visar medelvattentföring för referensperioden och helledragen röd linje visar medelvattentföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Översta figurerna avser Kolbäcksåns mynning, därunder Svartåns mynning och nederst Sagåns mynning i Mälaren.

5.3.2 Medelvattenföring

En förändrad säsongsdynamik med ökade flöden vintertid som inträffar under längre tidperioder leder i framtiden generellt till ökad medelvattenföring. Dagen vårflöden är generellt sett högre men sker under kortare perioder. Analysen av hur den av klimatet påverkade framtida medelvattenföringen kan bli för vattendrag i Västmanlands län presenteras i detta avsnitt. Även den lokala tillrinningen kommenteras.

Medelvattenföringen har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. Medelvattenföringen beräknad för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet mot vilket beräknad medelvattenföring för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen uttrycks i procent.

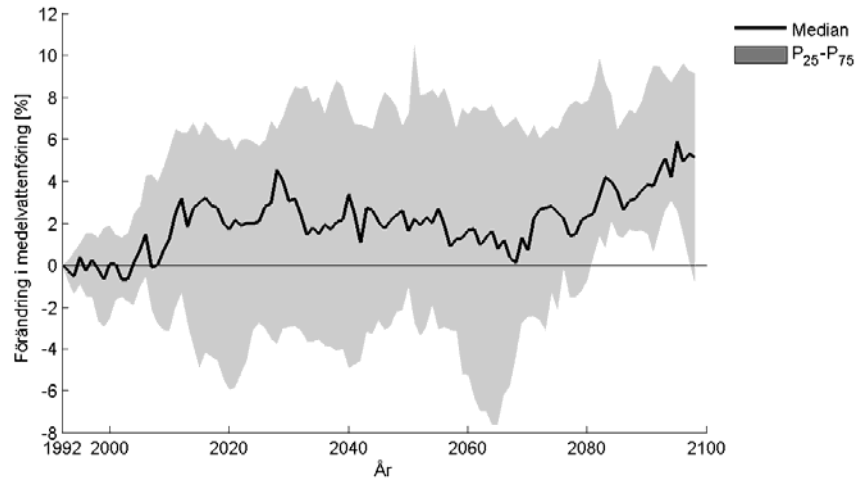
För samtliga vattendrag kan medelvattenföringen komma att öka med 5 % fram emot slutet av seklet (figur 5.3-3 och 5.3-4) för respektive vattendrag (tabell 5-1).

Tabell 5-1. Medelvattenföring enligt SMHIs flödesstatistik samt en förenklad sammanfattande tabell av figur 5.3-3– 5.3-4. Pilarna anger en förändringsriktning och tre symboler används. Ökande medeltillrinning under perioden visas som uppåtgående pil och minskande som nedåtgående pil. Då ingen tydlig förändring kan ses eller förändring varierar periodvis upp och ned utan tydlig riktning mot slutet av perioden anges detta med horisontell pil. Observera att tolkningen är grovt schematisk och anger inte storleken i förändringen.

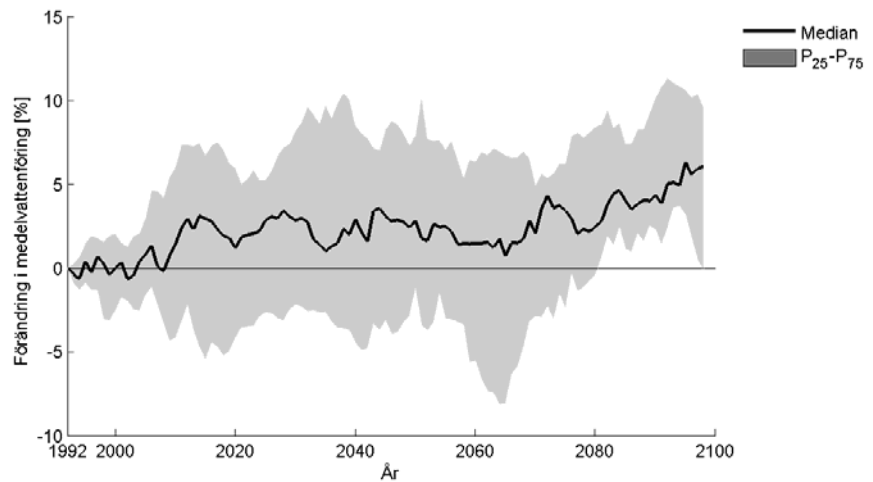
	Plats i vattendrag	Medelvattenföring (m ³ /s)	År
1	Arbogaåns mynning	44 42 är naturlig medelvattenföring dvs. exklusive överledning via Hjälmare kanal	→
2	Hedströmmens mynning	12	→
3	Köpingsåns mynning	7	→
4	Kolbäcksåns mynning	3	→
5	Svartåns mynning	29	→
6	Sagåns mynning	6	→

I bilaga 19 visas den beräknade förändringen av säsongsmedelvattenföringen för de sex vattendragen. Samtliga visar ökning under vintern (december-februari) på mellan 70% och 120% vid seklets slut. För sommaren (juni-augusti) ses en lika tydlig minskning på runt 40% för samtliga sex vattendrag. För hösten (september-november) ser förändringen ut att vara mindre och är mer otydlig avseende ökning-minskning. Under våren ser medelvattenföringen ut att vara minskande, med 20-30% vid seklets slut, för alla vattendrag utom Kolbäcksån. Ingen tydlig förändring kan ses för medelvattenföringen i Kolbäcksån. Förklaringen ges av figur 5.3-2 där det framgår att vårfloden visserligen minskar kraftigt i framtidsscenarierna även för Kolbäcksån men då medelvattenföringen för mars-maj beräknas uppvägs den minskningen av ökande vattenföring under mars. För de övriga fem vattendragen är minskningen av vårfloden under april-maj större än den ökade vattenföringen i mars (se även figur 5.3-1).

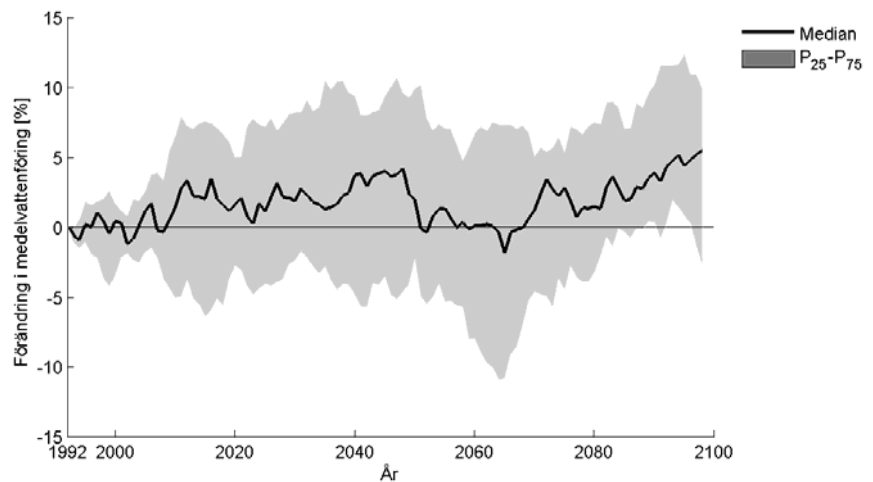
Arbogaåns mynning



Hedströmmens mynning

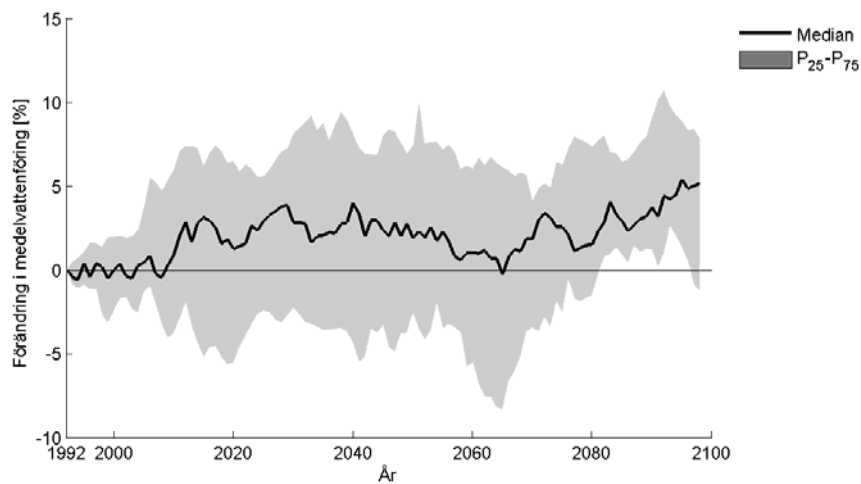


Köpingsåns mynning

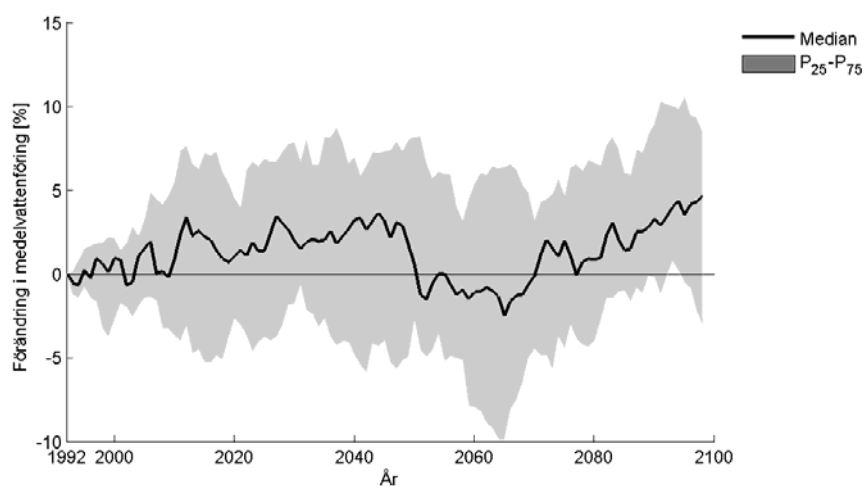


Figur 5.3-3. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring i **Arbogaåns mynning** (överst), **Hedströmmens mynning** (mitten) och **Köpingsåns mynning** (nederst) enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Observera att skalorna skiljer sig åt. Varje års medianvärde (svart linje) är beräknat över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

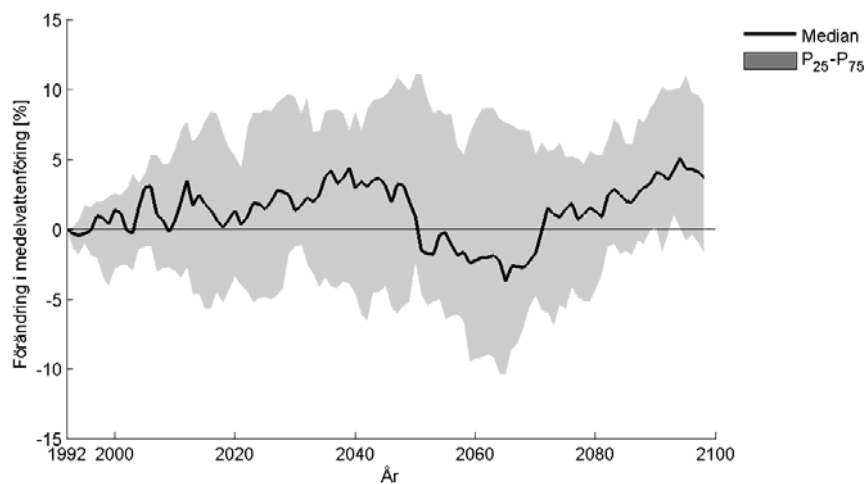
Kolbäcksåns mynning



Svartåns mynning

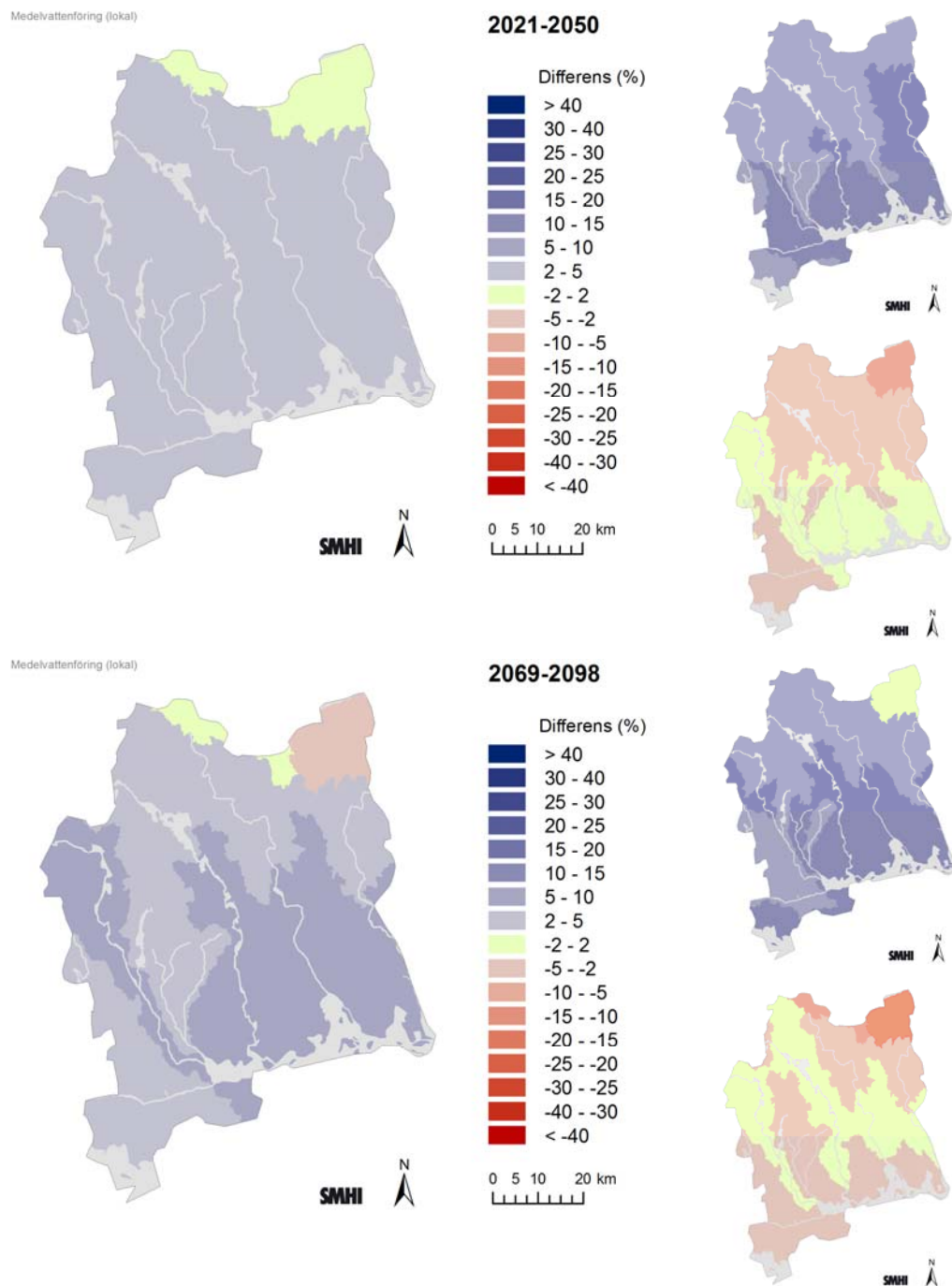


Sagåns mynning



Figur 5.3-4. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring i **Kolbäcksåns mynning** (överst), **Svartåns mynning** (mitten) och **Sagåns mynning** (nederst) enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Observera att skalorna skiljer sig åt. Varje års medianvärde (svart linje) är beräknat över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

I figur 5.3-5 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den lokala årsmedeltillrinningen i länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers lokala årsmedeltillrinningen för samma perioder.



Figur 5.3-5. Förändring av **lokal årsmedeltillrinning** i Västmanlands län för perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992 (%). De stora kartorna visar medianvärdena medan den övre högra kartan för respektive period visar 75:e percentilen och den nedre högra kartan för respektive period visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

I kartbilderna visas den lokala medeltillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt delavrinningsområde. Det ger en bild av hur mindre vattendrag påverkas eftersom deras vattenföring endast beror av lokala förhållanden.

Den lokala årsmedeltillrinningen enligt klimatscenariomedianen visar en svag ökning i nästan hela länet för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden. Mot slutet av seklet syns en ökning av

den lokala årsmedeltillrinningen i klimatscenariomedianen på 5 - 10 % för stora delar av länet. Percentilkartorna pekar åt bägge håll för perioden 2021-2050 dvs. ökning respektive minskning vilket även kan sägas om perioden 2069-2098 men spridningen är då mindre.

5.3.3 100-årsflöden

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

Tabell 5-2 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten under 100 år. Beräkningen av 100-årsflödets storlek görs med en statistisk beräkning, s.k. frekvensanalys, baserad på vattenföringens årliga maxvärden utifrån en tidsserie. Genomgående har Gumbel-fördelningen använts vid flödesanalysen, även kallad Extreme Value Type I. Resultat från en frekvensanalys måste tolkas med försiktighet. Dessa är i högsta grad beroende på mätseriens längd vilket gör att exempelvis ett 100-årsflöde ofta ändras i takt med att nya data flyter in. Beräkningarna försvåras speciellt om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendraget. För att underlätta tolkningen i ett klimatperspektiv används i denna utredning samma längd på tidsseriens längd som en standardperiod, dvs. 30 år.

Tabell 5-2. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent. Värden lägre än 1 % redovisas inte.

Åter-komst-tid (år)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	39	92	99	100	100	100
5	18	63	86	98	100	100
10	10	39	63	86	99	100
50	2	10	18	33	63	86
100	1	5	10	18	39	63
1000			1	2	5	10
10 000						1

I tabell 5-3 visas 100-årsvattenföringen för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Svartån, Sagån och Köpingsån beräknad enligt SMHIs flödesstatistik som avser att spegla 1900-talets förhållanden. I tabellen anges också den beräknade 100-årsvattenföringen vid 2000-talets slut som 25-75 percentilerna.

Tabell 5-3. Beräknad 100-årsvattenföring för utvalda vattendrag i Västmanlands län enligt SMHIs flödesstatistik (HQ 100) för 1900-talet. Den beräknade 100-årsvattenföringen vid århundradets slut är angiven enligt 25:e och 75:e percentilen av klimatscenerierna.

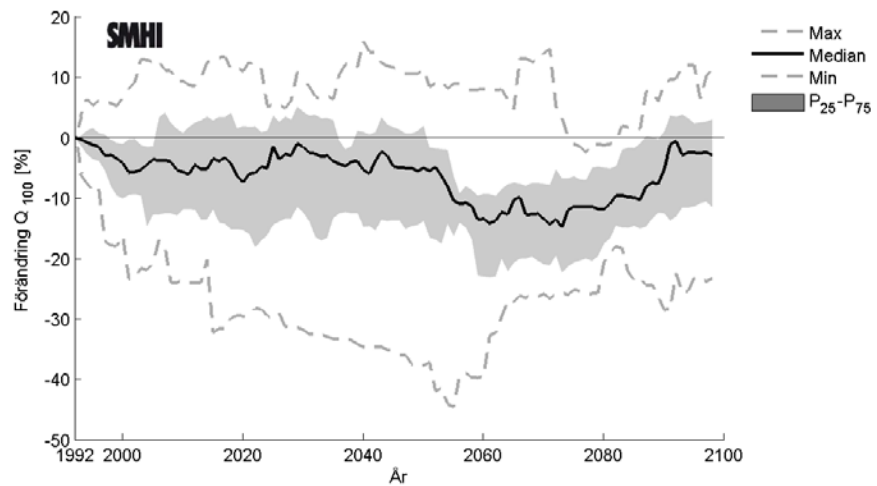
Vattendrag	Plats	100-års vattenföring (m ³ /s)	
		I dagens klimat enligt flödesstatistik	Vid seklets slut enligt beräknade 25-75 percentiler
Arbogaån	Mynning i Mälaren	290	257-299
Hedströmmen	Mynning i Mälaren	110	100-115
Köpingsån	Mynning i Mälaren	41	38-44
Kolbäcksån	Mynning i Mälaren	226	225-254
Svartån	Mynning i Mälaren	77	81-90
Sagån	Mynning i Mälaren	125	110-133

Generellt tyder beräkningarna av förändrade 100-årsflöden på att en minskning kan vara att förvänta under kommande sekel för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Sagån och Köpingsån i jämförelse med referensperioden 1963-1992 (figur 5.3-6 – 5.3-7). Svartåns 100-årsflöde verkar enligt medianvärdena i stort sett bli oförändrad under stora delar av seklet. Beräkningarna är gjorda för oreglerade förhållanden och avser vattenföringen dvs. den totala tillrinningen. Att beräkningarna inte tar hänsyn till eventuella regleringar har liten betydelse i detta sammanhang eftersom det rör sig om så pass stora flöden att effekterna inte kan regleras bort.

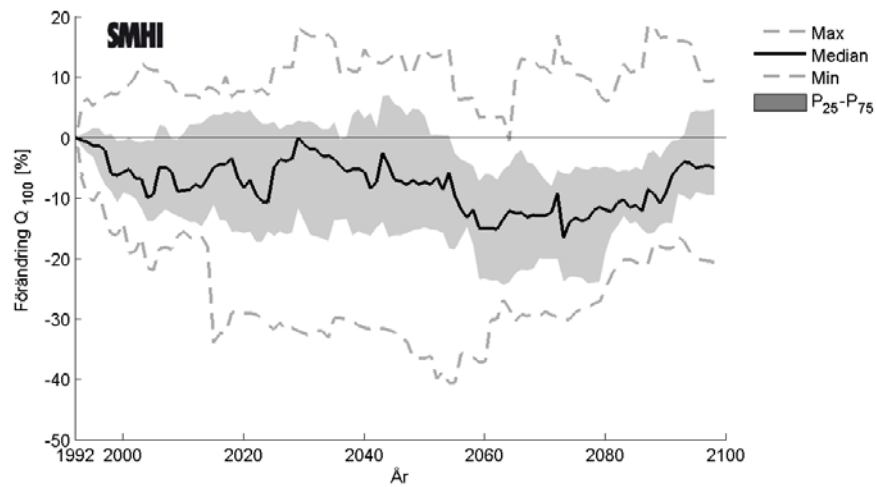
100-årsflödena har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenerier. 100-årsflödet beräknad för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknade 100-årsflöden för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på 100-årsflödet uttrycks i procent. Diagram med de enskilda scenarieberäkningarna finns i bilaga 20.



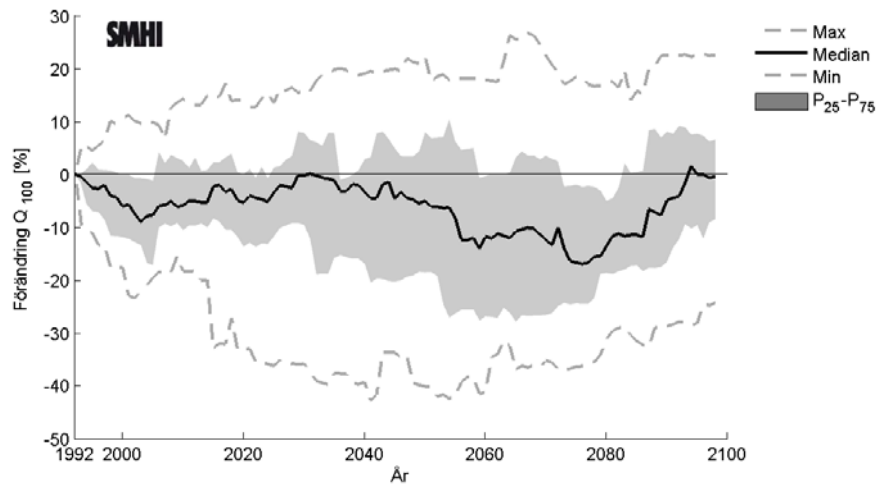
Arbogaåns mynning



Hedströmmens mynning

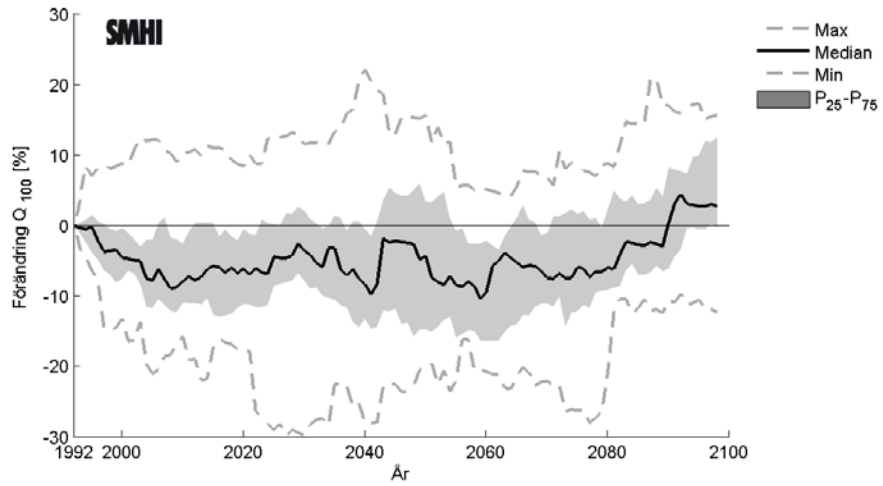


Köpingsåns mynning

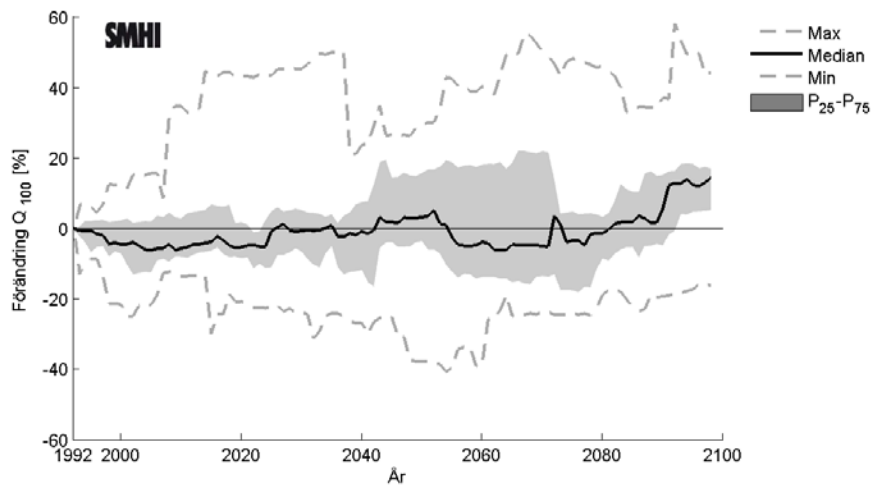


Figur 5.3-6 Procentuell förändring av 100-årsvattenföringen i **Arbogaåns mynning** (överst), **Hedströmmens mynning** (mitten) och **Köpingsåns mynning** (nederst) enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknat för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats utifrån de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.

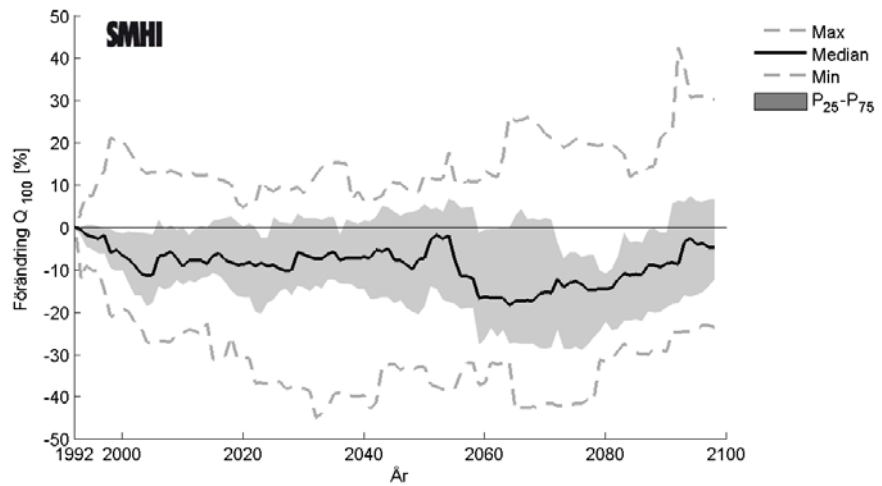
Kolbäcksåns mynning



Svartåns mynning



Sagåns mynning



Figur 5.3-7 Procentuell förändring av 100-årsvattenföringen i **Kolbäcksåns mynning** (överst), **Svartåns mynning** (mitten) och **Sagåns mynning** (nederst) enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknat för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats utifrån de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.

I figur 5.3-8 visas medianvärdet av förändringen av den lokala 100-årstillrinning i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers lokala 100-årstillrinning för samma perioder.

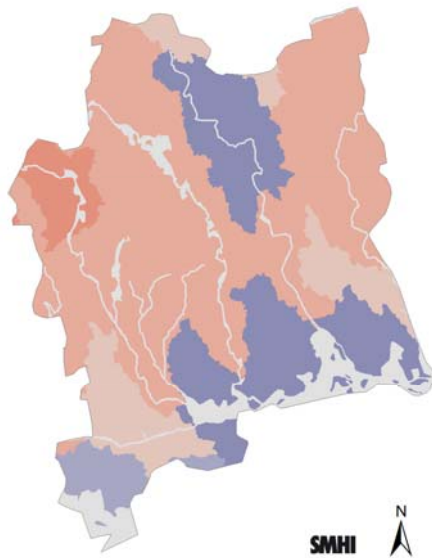
I kartbilderna visas den lokala 100-årstillrinningen, på samma sätt som för den lokala medeltillrinningen i figur 5.3-5, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt delavrinningsområde visas. Det ger en bild av hur mindre vattendrag, vars vattenföring endast beror av lokala förhållanden, påverkas.

Medianvärdena för den lokala 100-årstillrinningen uppvisar en ganska spretig bild för länet (figur 5.3-8). För perioden 2021-2050 ses en svag minskning för större delen av länet men med ökning runt de stora sjöarna och för övre delen av Svartån. Percentilkartorna pekar i princip åt varsitt håll men för områdena runt de stora sjöarna är signalen samstämmig dvs. en ökning av den lokala 100-årsvattenföringen. Detta förstärks mot slutet av seklet enligt både median och percentilkartorna för 2069-2098. Även ökningen för Svartån framstår tydligare. För övriga delar av länet framträder bilden av ingen eller mycket liten förändring.

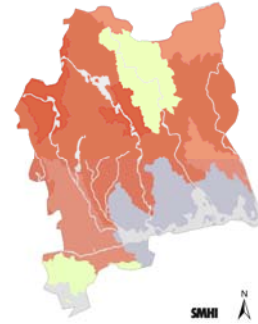
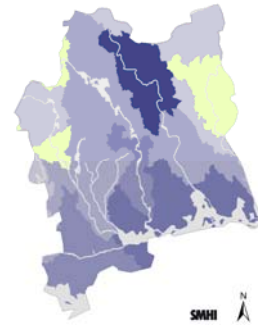
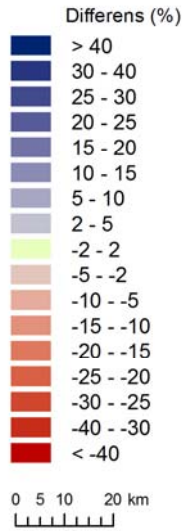
I figur 5.3-9 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den totala 100-årsvattenföringen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers totala 100-årsvattenföring för samma perioder. I dessa kartbilder visas alltså det ackumulerade flödesbidraget från alla uppströms avrinningsområden.

I kartorna syns ett mönster som liknar det för den lokala 100-årstillrinningen med smärre variationer. För de delar av länet som ingår i Dalälvens avrinningsområde syns en ökad lokal 100-årstillrinning mot slutet av seklet men för den totala 100-årsvattenföringen blir signalen den motsatta. Den totala 100-årsvattenföringen är mest beroende av förhållandena utanför länet.

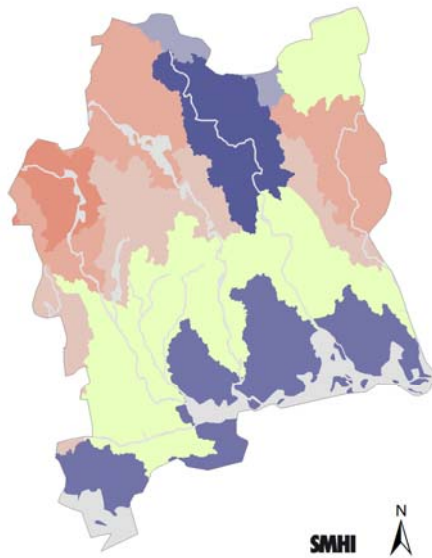
Q100 vattenföring (lokal)



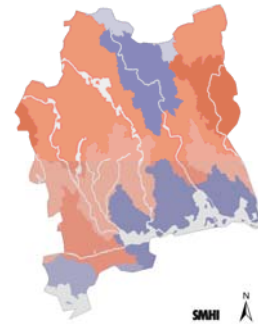
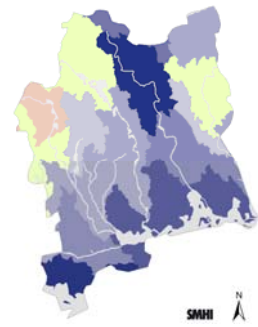
2021-2050



Q100 vattenföring (lokal)

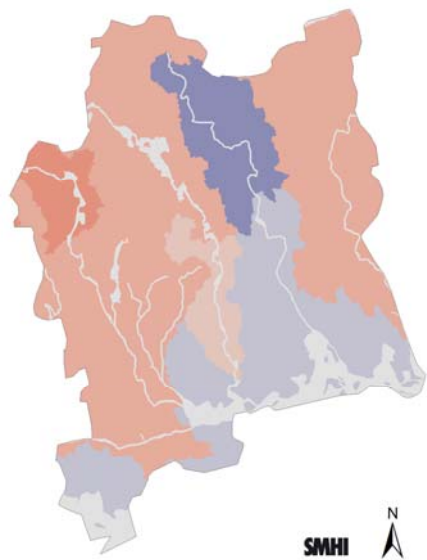


2069-2098

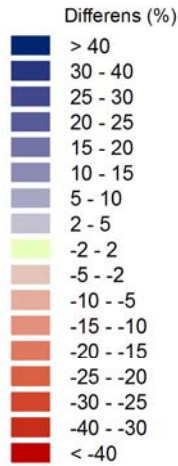


Figur 5.3-8. Förändring av **lokal 100-årstillrinning** i Västmanlands län för perioderna 2021-2050 (överst) och 2069-2098 (nederst) jämfört med referensperioden 1963-1992. De stora kartorna visar medianvärdena för respektive tidsperiod. De övre högra kartorna för respektive tidsperiod visar 75:e percentilen och de nedre högra kartorna för respektive tidsperiod visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

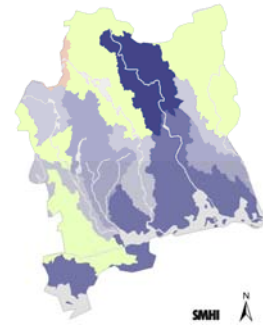
Q100 vattenföring (ackumulerad)



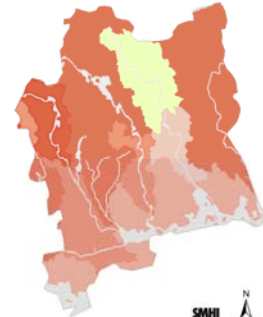
2021-2050



0 5 10 20 km

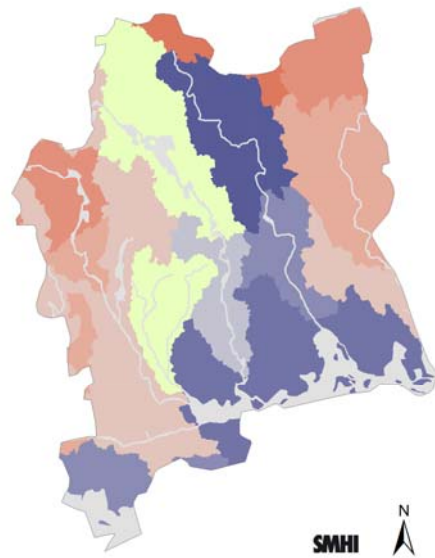


SMHI

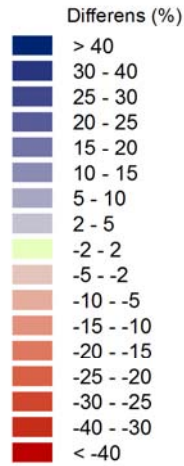


SMHI

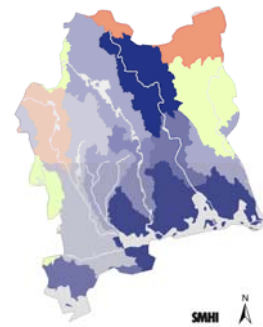
Q100 vattenföring (ackumulerad)



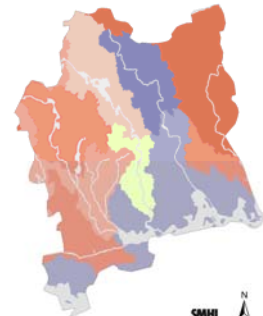
2069-2098



0 5 10 20 km



SMHI



SMHI

Figur 5.3-9. Förändring av **total 100-årsvattenföring** i Västmanlands län för perioderna 2021-2050 (överst) och 2069-2098 (nederst) jämfört med referensperioden 1963-1992. De stora kartorna visar medianvärdena för respektive period. De övre högra kartorna för respektive period visar 75:e percentilen och de nedre högra kartorna för respektive period visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

5.4 Grundvatten

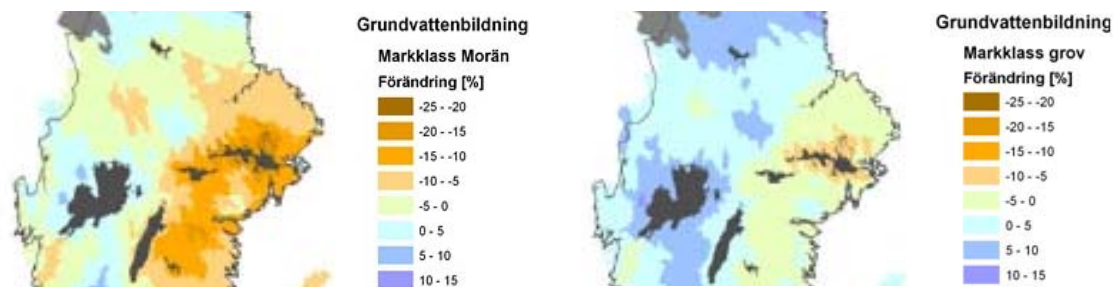
Högre temperaturer och ökad nederbörd påverkar det hydrologiska kretsloppet och därmed också grundvattenförhållandena. Grundvattenbildningen är även beroende av vilken typ av jordart som förekommer och markens olika zoner. Ett förändrat klimat kan få stor betydelse för tillgången på grundvatten. I en studie av Rodhe m.fl. (2009) redovisas beräknad grundvattenbildning och grundvattennivåer i Sverige för typjordarna grov jord och morän, för perioden 1961-1990 och 2071-2100. Som grund för slutsatserna kring grundvattnet har en särskild beräkningsmodell utvecklats. Modellen baseras bland annat på dagliga värden för temperatur och nederbörd. För att beräkna framtida grundvattennivåer har i grundvattenmodellen använts data från tioalet klimatscenarier.

I en rapport framtagen av SGU och SMHI (Sundén m.fl., 2010) diskuteras grundvattennivåer och vattenförsörjning i framtida klimat baserat på de beräkningar som gjorts med ovan nämnda modell.

Grundvattenbildningen 1961-1990 är beräknad för att jämföras med framtida grundvattenbildning och bygger därför på temperatur och nederbörd enligt klimatmodellen. Det regionala mönstret i förändringen i grundvattenbildning stämmer överens med Sverigekartor över förväntad förändring i avrinning (ex. Andréasson m.fl., 2007). Den modellerade grundvattenbildningen har anpassats till att stämma överens med uppmätt avrinning, men med skillnaden att grundvattenbildningen i olika jordarter har uppskattats.

Grundvattenbildningen i grov jord i Västmanland varierar i dagens klimat mellan 200 och 400 mm/år. I morän bedöms variationen något större, 150-400 mm/år.

I beräkningarna över förändrad grundvattenbildning syns för Västmanland en minskning för markklassen morän som är särskilt tydlig i områdena vid de stora sjöarna med ned mot -15%. Även för markklassen grov ses en minskning, men svagare (figur 5.4-1).



Figur 5.4-1. Beräknad förändring av årsmedelvärden för grundvattenbildning, fram till 2071-2100 jämfört med 1961-1990, för markklassen morän och grov. Källa: Rodhe m.fl., 2009.

I studien (Rodhe m.fl., 2009) redovisas beräkningar för några av SGUs grundvattenstationer. För att representera Västmanland har Hallsberg och Herrljunga valts. Hallsberg representerar grov jord med grund grundvattennivå och Herrljunga morän. Grundvattennivåns uppskattade variationsvidd 1961-1990 och 2071-2100 var för Hallsberg 0,95 m respektive 1,13 m och för Herrljunga 2,50 m respektive 3,07 m, dvs. större variation i framtidsklimatet. Den relativa förändringen var 15,6% för Hallsberg och 18,6 % för Herrljunga.

Grundvattennivåns medelvariation över året uppvisar likartade mönster för de bägge typjordarna. I dagens klimat ökar grundvattennivån på våren för att därefter sjunka till lägsta nivå i september och därefter stiga till december och sedan plana ut. Skillnaden i framtidsklimatet är framförallt högre nivåer i början på året dvs. under vintern, orsakat av minskad snöbildning och därmed påfyllnad av regnnederbörd. En längre vegetationsperiod kan också ses i form av lägre nivåer under större del av året, framförallt för den grova jorden.

Grundvattennivåns årliga variationsvidd ökar alltså enligt Rodhe m.fl. (2009) på de flesta av de i rapporten studerade stationerna i mellersta Sverige på grund av de högre grundvattennivåerna vintertid och lägre eller oförändrade nivåer sommartid.

I de varaktighetsdiagram över grundvattennivåer som presenteras i Sundén m.fl. (2010) kan ses att för två grundvattenstationer i Herrljunga (i morän med liten magasinstorlek) ökar frekvensen av ytligare

grundvattennivåer. Samma tendens syns även för station Hallsberg (i sand med liten magasinstorlek). Studien omfattar 10 klimatscenarier.

6 Mälaren

Mälaren är Sveriges till ytan tredje största sjö. Den är en slättlandssjö med flacka stränder och ett litet djup, i medel ca 13 m. Mälaren är en viktig resurs som flera intressen samsas kring, t.ex. sjöfart, jordbruk och naturmiljö. Mälaren är dessutom dricksvattentäkt för ca 2 miljoner människor.

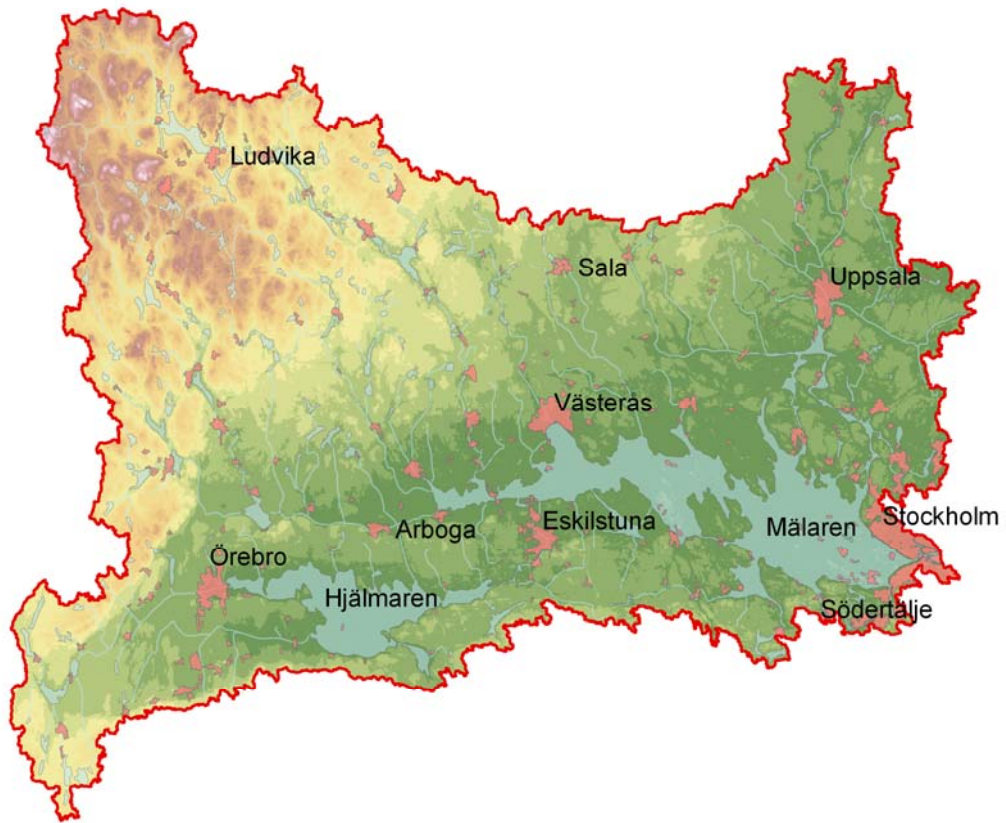
I detta kapitel sammanfattas problematiken kring Mälaren. Beskrivningen innehåller en bakgrund om Mälarens hydrologi och de översvämningsrisker som finns idag. Eftersom Stockholms stad planerar att bygga ut Mälarens tappningskapacitet i samband med ombyggnaden av Slussen är det inte relevant att bedöma framtidens översvämningsrisker med nuvarande utformning av tappningskapacitet och reglering. Därför beskrivs framtidens översvämningsrisker tillsammans med slutsatserna från arbetet med förslaget till ny reglering av Mälaren. Beskrivningen av framtidens översvämningsrisker utgörs till stora delar av underlag hämtat från rapporten "Projekt Slussen – Förslag till ny reglering av Mälaren (Andréasson, Gustavsson och Bergström, 2011).

6.1 Mälarens hydrologi

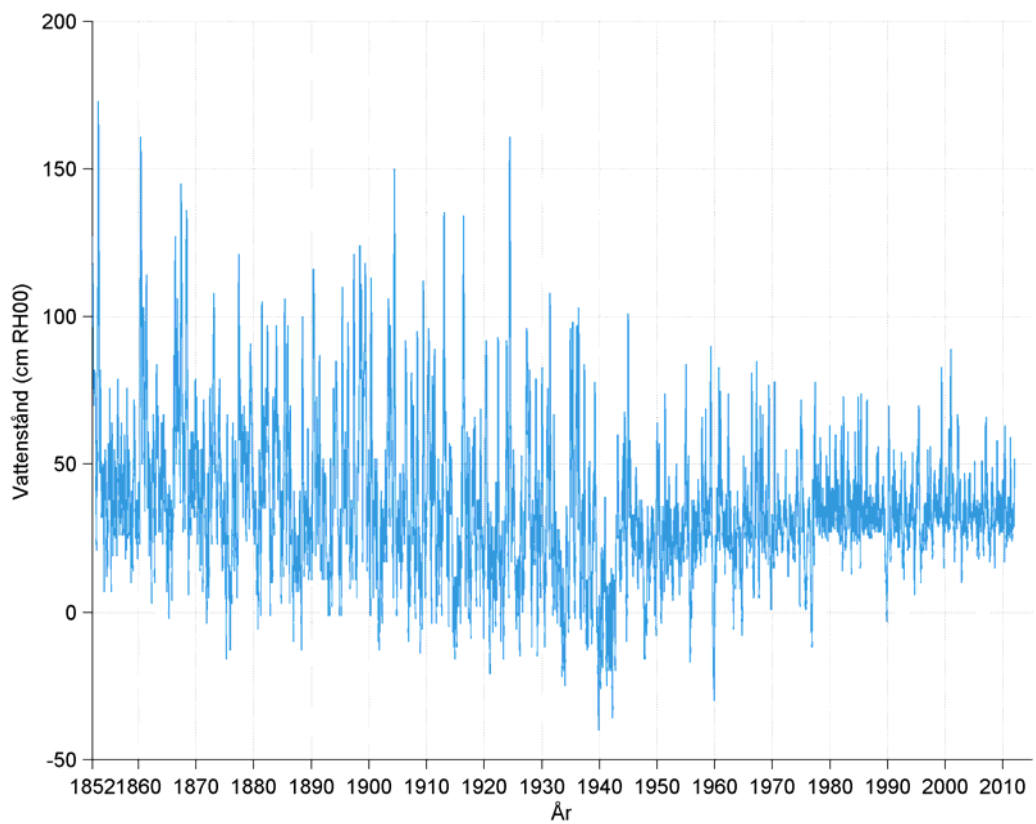
Mälaren är Sveriges tredje största sjö. Dess avrinningsområde är 22 650 km² och sträcker sig från Bergslagen i väster till Norrström i centrala Stockholm (figur 6-1). Via Mälaren avvattnas större delarna av Uppland, Västmanland, Närke samt de södra delarna av Dalarna och de norra delarna av Södermanland (Ehlert, 1970). Hjälmarens avrinningsområde är 4 045 km². Avrinningen sker via Eskilstunaån, som är det näst största enskilda biflödet till Mälaren efter Arbogaån. Övriga viktiga vattendrag som rinner till Mälaren är Fyrisån och bergslagsåarna, Hedströmmen och Kolbäcksån. Det finns två åar som benämns Svartån, den ena mynnar i Hjälmarens i Örebro (Närkes Svartå), den andra i Mälaren i Västerås.

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

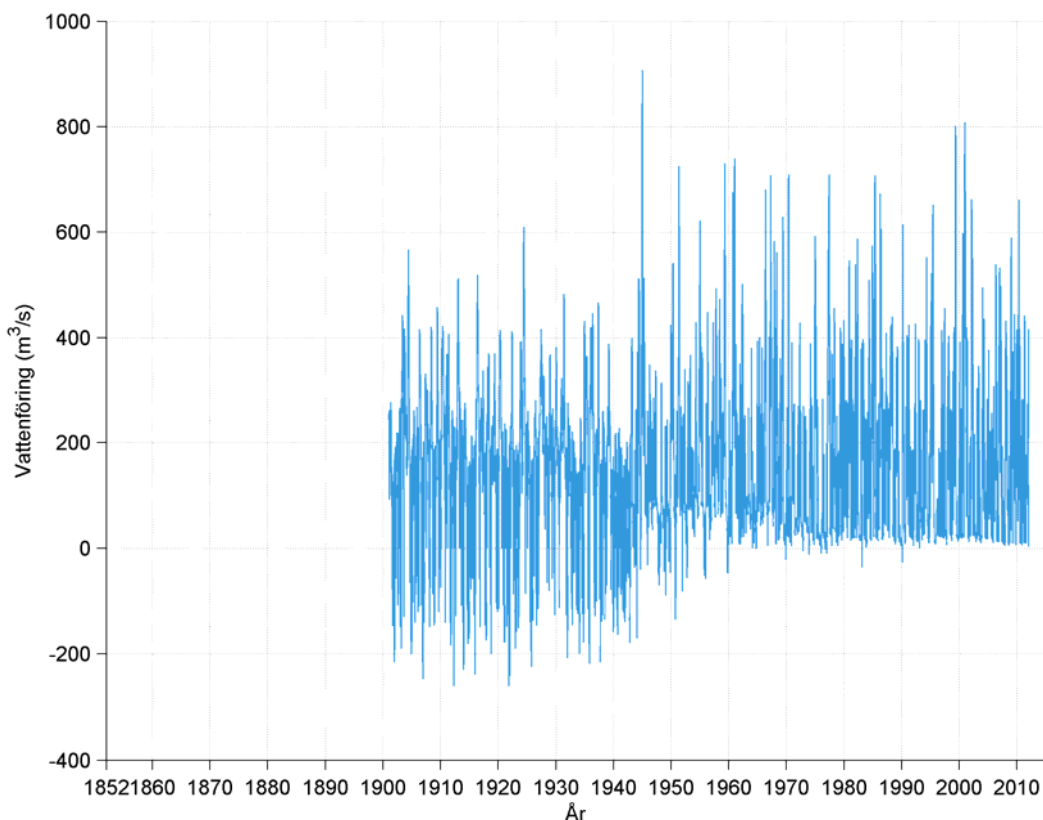
För att motverka översvämmingar av jordbruksmark, men även för att gynna sjöfarten, genomfördes en reglering av Mälaren enligt en dom från 1941. Denna reglering togs i bruk 1943. Effekten av regleringen blev inte riktigt vad man tänkt sig. Avsänkning av högvattenstånden blev ungefär de avsedda, men lågvattenstånden blev betydligt lägre än väntat. Regleringsbestämmelserna justerades något i mars 1966. Driften av regleringen sköts av Stockholms Hamnar, men i Södertälje kanal öppnar Sjöfartsverket luckan på uppdrag av Stockholms Hamnar. SMHI är kontrollant av regleringen. I figur 6-2 visas observerade vattennivåer i Mälaren från mitten av 1800-talet till 2011. Motsvarande data över vattenföringen vid Mälarens utlopp, sedan SMHI började lagra dessa data, redovisas i figur 6-3. Observera att mätserien i figur 6-2 uppvisar en trend före 1943, som beror på att landhöjningen påverkat referenspunkten.



Figur 6-1. Mälarens avrinningsområde.



Figur 6-2. Vattenstånd för Mälaren (centimeter i höjdsystem RH00) i Mälaren vid Stockholm under perioden 1852-2011.



Figur 6-3 Vattenföring i m^3/s (dygnsmedelvärden) i Mälarens utlopp under perioden 1901-2011.

Effekterna av Mälarens reglering syns tydligt i såväl vattenstånd som vattenföring. Den mest uppenbara effekten är att de högsta vattenstånden minskat och att man lyckats bemästra inflödena från Saltsjön (negativa värden i figur 6-3). Samtidigt har det genom regleringen blivit vanligare med höga flöden från Mälaren till havet.

I den befintliga vattendomen för Mälaren används ett eget höjdsystem ”Mälarens höjdsystem”, som definieras av nivån på Västra slusströskeln vid Karl Johans Torg. Nivån ligger 3,84 m under havsytans nivå enligt Rikets höjdsystem RH00 eller 3,48 m under havsytans nivå enligt Rikets höjdsystem RH70. Det modernaste höjdsystemet är RH2000, vilket är det höjdsystem som är minst påverkat av olikformiga förändringar av jordskorpan och därför lättast kan relateras till olika platser med samma höjd. I den följande texten används huvudsakligen Mälarens höjdsystem kompletterat med RH2000 (Mälarens höjdsystem/RH2000). Relationen mellan olika höjdsystem ses i tabell 6-1.

Tabell 6-1. Väsentliga vattenstånd för Mälarens reglering uttryckta i fyra olika höjdsystem. Höjderna gäller för Stockholm där Mälarens höjdsystem är definierat.

Mälarens höjdsystem (m)	RH00 (m)	RH70 (m)	RH2000 (m)
4,70	0,86	1,22	0,69
4,00	0,16	0,52	1,39

6.2 Översvämningsrisker idag

De kraftiga översvämningarna i Sverige under 2000-2001 påverkade även Mälaren. I Mälaren uppmättes i december 2000 det högsta vattenståndet under reglerad tid (4,73 m/1,42 m) (höjdsystem, se kap 6.1). Betydligt högre nivåer har dock noterats innan regleringen. Ett av de värsta åren var 1924, och fotografier från översvämningen i Västerås hamn ses i figur 6-4.



Figur 6-4. Fotografier från Västerås då Mälaren svämmade över våren 1924. Källa: SMHIs arkiv.

Situationen i Mälaren i december 2000 visade att det finns ett stort säkerhetsproblem orsakat av riskerna för översvämningar av Mälaren. Vägar, tunnlar, ventilationssystem, elektriska installationer och annan infrastruktur kring Mälaren kan komma att påverkas.

År 2005 tillsatte regeringen Klimat- och sårbarhetsutredningen, för att kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar. I november 2006 kom ett delbetänkande angående översvämningshot, risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern (SOU, 2006). Klimatscenarier beräknade för Mälaren visade att både höga och låga vattennivåer kommer att bli vanligare i framtiden, dock inte de allra högsta nivåerna (Bergström m.fl., 2006). Den översiktliga översvämningsskarteringen för Mälaren och Stockholms stad visar att det redan i dagens klimat finns en betydande översvämningsskara kring Mälaren (Räddningsverket, 2001). Med nuvarande vattendom beräknades det dimensionerande tillflödet till Mälaren i flödesdimensionering klass 1 (Svensk Energi, 2007), skapa ett vattenstånd i Mälaren på 2,32 m i RH2000 vilket motsvarar 5,63 m i Mälarens eget höjdsystem.

De höga flödena år 2000 orsakade betydande problem runt Mälaren och tydliggjorde därmed behovet av en ökad tappningskapacitet. Möjligheten att släppa ut vatten från Mälaren beror på Mälarens vattennivå och luckornas utformning. En annan viktig faktor är skillnaden i nivå mellan Mälarens vattenyta och havsnivån. När skillnaden är liten begränsas möjligheten att släppa ut vatten från Mälaren. När havet är i nivå med Mälarens vattenyta eller högre upphör möjligheterna till utflöde. Avtappning av Mälarens vatten sker vid fyra platser, Norrström och Söderström i centrala Stockholm samt via slussarna i Hammarby och Södertälje.

Dagens avtappningskapacitet från Mälaren är vid stor vattenståndsskillnad mellan Mälaren och Saltsjön ca 800 m³/s. Klimat- och sårbarhetsutredningen föreslog en ökning av avtappnings-

kapaciteten från Mälaren till 1800 m³/s (SOU, 2006). Klimat- och sårbarhetsutredningen föreslog även att nu gällande vattendom omprövas i samband med ombyggnaden av Slussen i Stockholm.

Regeringen beslutade i mars 2010 att ge MSB i uppdrag att analysera och bedöma konsekvenserna av en översvämning i Mälaren för olika samhällssektorer. Uppdraget slutredovisades i februari 2012 (MSB, 2012). I rapporten konstateras bland annat:

- Risken för översvämning i Mälaren är idag hög eftersom tillrinningen till Mälaren kan vara högre än den kapacitet som finns att tappa vatten från Mälaren. Fram till dess att en ökad tappningskapacitet eller att förebyggande och beredskapshöjande åtgärder av mycket stor omfattning har genomförts kvarstår den höga risken.
- Vid en översvämning med höga nivåer i Mälaren kommer problemen sannolikt att vara mycket stora även i tillrinnande vattendrag och inom en större region av landet. Det kommer uppstå konkurrens om samhällets samlade resurser med stora utmaningar och begränsad förmåga som följd.

MSBs slutsatser bekräftar således att det redan under dagens förhållanden finns ett stort behov av en utbyggnad av Mälarens tappningskapacitet.

6.3 Översvämningsrisker efter utbyggd tappningskapacitet

Efter de kraftiga tillrinningarna till Mälaren hösten 2000 blev det tydligt att Mälarens avtappningskapacitet är för liten för att kunna garantera säkerheten mot översvämningar i Mälardalen. I samband med ombyggnaden av Slussen planeras därför en ökning av tappningskapaciteten för att minska översvämningsriskerna runt Mälaren. Detta gör det nödvändigt att anpassa regleringen för Mälaren till nya förhållanden.

Den nya regleringen av Mälaren syftar till att:

1. Minska risken för översvämning runt Mälaren
Samhällsintressen: Dricksvattenförsörjning, bebyggelse och infrastruktur, sjöfart, jordbruk
2. Minska risken för låga vattennivåer i Mälaren
Samhällsintressen: Dricksvattenförsörjning och sjöfart
3. Förhindra saltvatteninträngning
Samhällsintressen: Dricksvattenförsörjning

Vid utformningen av den nya regleringen tas särskild hänsyn till värdefulla strandnära naturmiljöer genom att eftersträva årstidsvariationer som gynnar strandnära naturmiljö.

Den följande texten (avsnitt 6.3.1 och 6.3.2) har hämtats från redovisningen från den tredje och sista fasen av arbetet med Mälarens framtida reglering, vilken ligger till grund för Stockholms stads ansökan om ny vattendom för Mälaren (Andréasson, Gustavsson och Bergström, 2011).

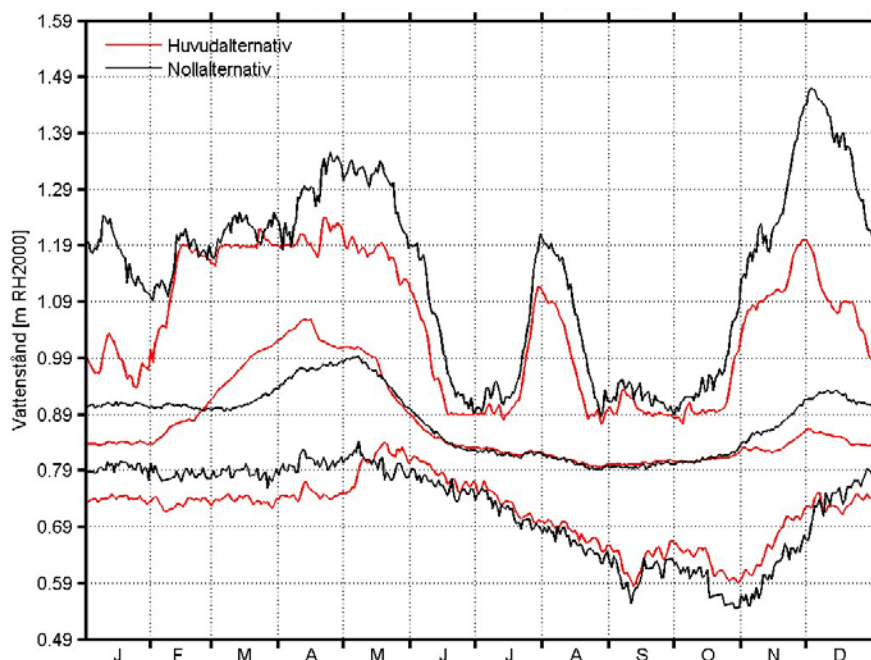
Förslaget innebär en utökad kapacitet i Söderström till ca 1400 m³/s och en utökning av kapaciteten även i Hammarby från dagens 70 m³/s till 140 m³/s. Totalt en utökning från dagens kapacitet på ca 800 m³/s till ca 2000 m³/s.

6.3.1 Dagens reglering och förslag på ny reglering av Mälaren

I det följande jämförs de förhållanden som skapas av dagens respektive den föreslagna framtida regleringsstrategin. Dessa har fått benämningen *Nollalternativet* (dagens reglering) respektive *Huvudalternativet* (föreslagen framtida reglering).

Arbetet med att ta fram förslag till Mälarens framtida reglering (Huvudalternativet) har inneburit hänsynstagande till olika intressenters önskemål och krav på både vattenståndsvariationer och flöden i olika tappningskanaler.

För att illustrera skillnaderna mellan dagens reglering (Nollalternativet) och den framtida föreslagna regleringen (Huvudalternativet) har beräkningar av vattenstånden gjorts för båda alternativen för perioden 1976-2005. Denna period innehåller såväl ett extremt torrår (1976) som ett år med extrema högvatten (2000). Resultatet av jämförelsen mellan Nollalternativet och Huvudalternativet redovisas som medelvärden, maximivärden och minimivärden för varje dag under året i figur 6-5. Ett exempel på avvägningar mellan olika intressen är avvägningen mellan naturmiljö- och jordbruksintressen beträffande återskapandet av förhöjda vattenstånd under våren.



Figur 6-5. Mälarens beräknade medel-, min- och maxvattenstånd under förutsättning av regleringsstrategi enligt Nollalternativet (svarta kurvor) respektive Huvudalternativet (röda kurvor). Den analyserade perioden är åren 1976-2005 och innehåller såväl det extremt torra året 1976 som det extremt blöta året 2000 (från Andréasson, Gustavsson och Bergström, 2011).

Figur 6-5 visar tydligt att Huvudalternativet minskar riskerna för höga vattennivåer i Mälaren. Om denna strategi hade kunnat tillämpas år 2000 hade den högsta nivån sänkts med ca 27 cm. De allra lägsta nivåerna på sommaren hade blivit något högre.

Arbetet med Huvudalternativet leder fram till följande slutsatser där nivåerna är angivna i såväl RH2000 som i Mälarens höjdsystem. Dessa mått skiljs genom ett snedstreck (RH2000/Mälarens höjdsystem). Punkterna är direkt citerade från Andréasson, Gustavsson och Bergström. (2011):

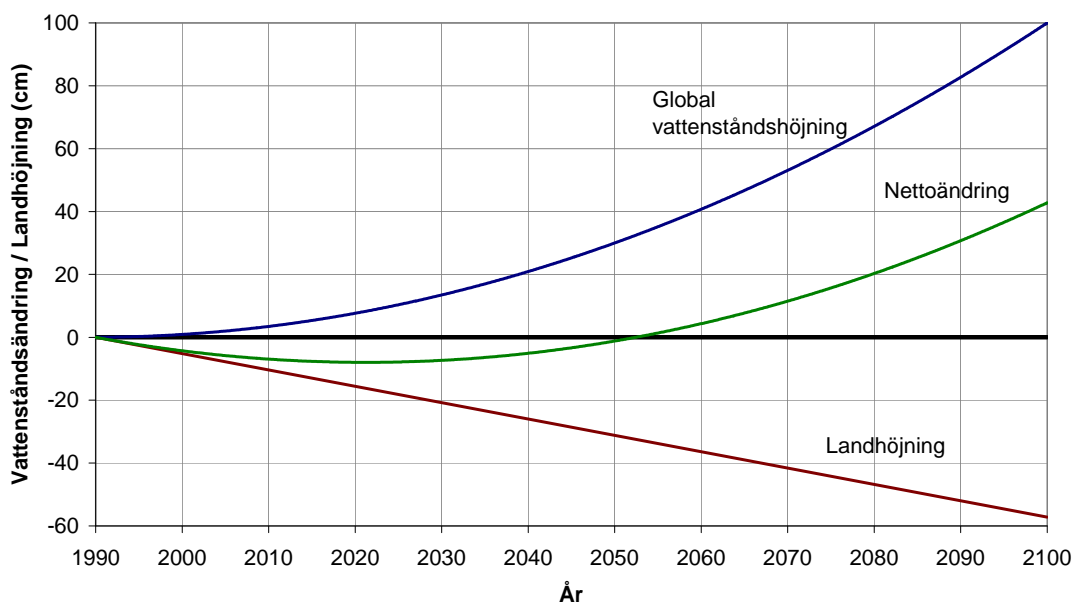
- En utökad tappningskapacitet i Söderström i kombination med tappning enligt Huvudalternativet minskar kraftigt översvämningsriskerna i Stockholm och längs Mälarens stränder.
- Under normaldrift (1976-2005) samt för 100-årstillrinningen klarar regleringen enligt Huvudalternativet att hålla Mälarens nivåer under 1,29 m/4,60 m. Detta innebär att slussarna i Söderström, Hammarby och Södertälje inte används för avtappning under normaldrift.
- För tillflöden med en återkomsttid upp till 1 000 år klarar reglering enligt Huvudalternativet att hålla Mälarens nivåer under 1,39 m/4,70 m. Detta gäller även vid relativt höga saltsjövattenstånd (0,77 m/4,08 m).
- För de allra mest extrema flödena i Flödesdimensioneringskategori I enligt de svenska riktlinjerna för dammar (Svensk Energi m.fl, 2007) uppnås det övergripande målet att hålla Mälarens nivåer under 1,39 m/4,70 m vid normala saltsjövattenstånd. Vid högre saltsjövattenstånd (0,77 m/4,08 m) överskrider målet med 9 cm.

- Under normaldrift under perioden 1976-2005, med reglering enligt Huvudalternativet, minskar risken för låga vattennivåer i Mälaren. Det betyder att Mälarens nivå understiger 0,69 m/4,00 m mer sällan och under kortare perioder än i Nollalternativet.
- Huvudalternativet förutsätter att samtliga tappningspunkter med förbindelse mellan Mälaren och Saltsjön görs stängningsbara. Genom att stänga samtliga tappningspunkter mellan Mälaren och Saltsjön då Mälarens nivå understiger 0,69 m/4,00 m förhindras saltvatteninträngning och risken för låga vattennivåer minskar. På sikt bör även kulverten i Vetersgatan, vilken inte regleras men ingår indirekt i beräkningen av Mälarens vattenstånd, kunna stängas för att undvika saltvatteninträngning.
- Huvudalternativet ger ökad variation under året av Mälarens vattennivåer jämfört med Nollalternativet. Mellanårsvariationen minskar dock, eftersom de högsta nivåerna har sänkts och de lägsta har höjts.
- Möjligheten att styra flödet i Söderström och Norrström ger ökad kontroll av vilka flöden som tappas genom kanalerna. På så sätt begränsas antalet dagar med höga flöden under normaldrift.

6.3.2 Regleringens känslighet för klimatförändringar

För att studera regleringens känslighet för klimatförändringar har resultat från tolv regionala klimatscenarier som sträcker sig till slutet av 2100 använts. För analys av tappningskapacitetens känslighet för klimatförändringar har ytterligare fyra klimatscenarier använts, vilka sträcker sig till 2050 (se tabell 4.1).

Förändringen av tillrinningen till Mälaren har beräknats med den så kallade HBV-modellen, som är den mest använda hydrologiska modellen för denna typ av beräkningar i Sverige. Dessutom har effekten på Mälarens nivåer av havets motdämmande effekt studerats under olika antaganden om framtida havsnivåer. Därvid har den globala havsnivån antagits stiga med en meter från 1990 fram till 2100. På grund av landhöjningen motsvarar detta en nettohöjning av ca 50 cm i Stockholm. Figur 6-6 visar utvecklingen av den antagna havsnivåförändringen för Stockholm under perioden 1990-2100.



Figur 6-6. Den globala vattenståndshöjningen, landhöjningen och nettohöjning av Saltsjöns nivå. En landhöjning med 5.2 mm/år har antagits och en höjning av det globala medelvattenståndet med 30 cm år 2050 och 100 cm år 2100. Under dessa antaganden är nettoeffekten ± 0 år 2050 och drygt +40 cm år 2100 (från Andréasson, Gustavsson och Bergström., 2011).

Beräkningarna av regleringens känslighet för klimatförändringar leder till följande huvudsakliga slutsatser. Punkterna är direkt citerade från Andréasson, Gustavsson och Bergström (2011):

- Känslighetsanalysen av klimatförändringarnas effekt visar att regleringen kommer att fungera väl för de beräknade förändringarna i tillrinningsmönster fram till mitten av seklet, om havets nivå i Stockholm är oförändrad eller fortsätter att sjunka på grund av landhöjningen. Detta gäller både Mälarens höga vattenstånd och medelnivåer. Klimatförändringar kan dock komma att leda till ökad risk för låga vattennivåer i Mälaren under sommar och höst.
- På grund av risken för successivt allt lägre nivåer under sommar och höst har den föreslagna regleringen enligt Huvudalternativet en kortare livslängd än den planerade tappningskapaciteten. Regleringen kan därför behöva ses över vid mitten på seklet för att klara att hålla uppe de lägsta vattenstånden i Mälaren.
- I slutet av innevarande sekel klarar en reglering enligt Huvudalternativet att hantera de beräknade tillrinningarna under för perioden 2069-2098 i kombination med ett förhöjt nettohavsvattenstånd på + 30 cm (ca 0,8 m globalt). Om havsvattenståndet i Stockholm stiger till + 50 cm netto (ca 1 m globalt) klarar inte den föreslagna regleringsstrategin att hålla Mälarens vattenstånd under målnivån 1,39 m/4,70 m. Utvärderingen av klimatensemblen för Mälarens maxnivå pekar då på att målnivån 1,39 m/4,70 m överstigs med 3 cm (medianvärde) till 9 cm (75% percentil).
- Om havsnivån stiger mer än ca 30 cm netto (landhöjning borträknat) kan regleringen behöva ses över för att undvika att de högsta vattenstånden överstiger målnivån 1,39/4,70 m. Reglering enligt Huvudalternativet har framtagits för nuvarande klimatvariationer. En justerad reglering för framtida förhöjda havsvattenstånd behöver då fokusera mer på att hålla nere de högsta nivåerna och kommer inte längre kunna tillåta ett lika varierat vattenstånd i Mälaren.
- Om de allra mest extrema flödena i Flödesdimensioneringskategori I, enligt de svenska riktlinjerna för dammar, mot slutet av seklet kombineras med ett förhöjt nettohavsvattenstånd på + 50 cm (ca 1 m globalt) överskrids målnivån 1,39 m/4,70 m med i medeltal 14 cm om den dimensionerande tillrinningen sammanfaller med ett högt saltsjövattenstånd.
- I ovanstående beräkningar har inte hänsyn tagits till tillfälliga vindeffekter på Mälarens vattennivåer. För Stockholms del kan detta i extrema fall röra sig om ca 30 cm. Sannolikheten för att en sådan händelse skall inträffa samtidigt som Mälaren ligger på sina allra mest extrema nivåer är dock mycket lägre än sannolikheten för var och en av dessa händelser individuellt.

Sammanfattningsvis innebär den befintliga situationen, med begränsad förmåga att avtappa vatten från Mälaren, oacceptabla översvämningsrisker för såväl Stockholm som Mälardalen. Sannolikheten för att Mälaren under den kommande 10-årsperioden drabbas av en händelse liknande den år 2000, eller värre, är i storleksordningen 10%. Situationen riskerar att förvärras i ett framtida förändrat klimat, framförallt på grund av stigande havsnivåer. Den utökade kapaciteten ger goda möjligheter att hantera såväl dagens som framtidens extrema tillrinningar. Det innebär att riskerna för översvämningsar i stort sett elimineras i tidsperspektivet 2050-2100.



Bostadshus vid Mälaren. Foto: Gunn Persson, SMHI.

7 Slutsatser

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

För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett antal klimatscenarier utnyttjats i arbetet. Detta urval är baserat på vad som varit tillgängligt vid SMHIs forskningsavdelning när rapporten skrevs. Scenarierna representerar en god bredd av den internationella forskningens resultat och är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007. Den stora spridningen mellan olika klimatmodeller ger en mer nyanserad bild än vad som tidigare varit fallet.

Klimatforskningen kommer ständigt med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare, vilket läsaren bör vara medveten om. Följande resultat framgår av klimatanalyserna i denna rapport:

- Klimatberäkningarna visar en successiv och tydlig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Spridningen mellan beräkningarna avseende förändringens storlek är stor, men i medeltal ses en ökning med ca 4°C.
- För alla säsonger syns en temperaturuppgång under seklet men den är mest framträdande för vintern.
- Det regionala temperaturmönstret över länet, med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare på de mer höglänta områdena, kvarstår även i framtiden.
- Årsmedelnederbörden ökar och vid slutet av seklet är den ca 20% större än för referensperioden 1961-1990.
- Den tydligaste nederbördsökningen ses i beräkningarna för vintern
- Västmanland ligger i en gränsszon med relativt stora klimatvariationer i förhållande till länets storlek. Även i framtiden kommer störst nederbörds mängder att falla i nordväst och mindre mängder tillfaller områdena runt Mälaren.
- De kraftiga regnen beräknas öka.

- Årsmedelnederbörden för 1991-2010 var 5% större än för 1961-1990.
- Vattenföringen variation under året förändras mot högre höst-vinterflöden och lägre vårflood. Lågvattenperioden blir längre och med lägre flöden.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet ser ut att minska något under seklet för Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Sagån och Köpingsån i jämförelse med referensperioden 1963-1992. Svartåns 100-årsflöde ser ut att bli i stort sett oförändrad under stora delar av seklet.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras.

8 Referenser

- Alexandersson H. 2003. Korrektion av nederbörd med enkel klimatologisk metodik. SMHI Meteorologi, nr 111, Norrköping.
- Andréasson J., Hellström S.-S., Rosberg J. och Bergström S. 2007. Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång - Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Hydrologi* nr 106.
- Andréasson J., Bergström S., Gardelin M., German J., Gustavsson H., Hallberg K. och Rosberg J. 2011. Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier. *Elforsk rapport* 11:25.
- Andréasson J., Gustavsson H. och Bergström S. 2011. Projekt Slussen – Förslag till ny reglering av Mälaren. *SMHI-rapport* 2011:64.
- Bergström S., Hellström S.-S. och Andréasson J. 2006. Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology*, No. 20, Norrköping.
- Ehlert K. 1970. Mälarens hydrologi och inverkan på denna av alternativa vattenavledningar från Mälaren. *SMHI Hydrologi* nr 8.
- 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 Johnson, C.A.(eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Johansson, B. 2000. Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Johansson, B. and Chen, D. 2003. The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johansson, B. and Chen, D. 2005. Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61.
- Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. och Bergström S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology*, 201, 272-288.
- MSB 2012. Konsekvenser av en översvämning i Mälaren. Redovisning av regeringsuppdrag Fö2010/560/SSK. ISBN 978-91-7383-198-7. MSB dnr 2010-3498
- 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.
- Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. and Ullerstig A. 2011. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus*, 63A, 41-55.
- Rodhe A., Lindström G. och Dahné J. 2009. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. *Slutrapport från SGU-projekt* 60-1642/2007.

- Räddningsverket 2001. Översiktlig översvämningsskartering för Mälaren. *Räddningsverket Rapport 22*, 2001-10-23.
- SMHI 2002. Län och huvudavrinningsområden i Sverige. *SMHI faktablad* nr 10.
- SMHI 2006. Is på sjöar och älvar. *SMHI faktablad* nr 30.
- SMHI 2007. Avrinningens variation 1961-2005. *SMHI faktablad* nr 36.
- SMHI 2009. Sveriges landskapsklimat. *SMHI faktablad* nr 42.
- SMHI 2011a. Värmeböljor i Sverige. *SMHI faktablad* nr 49.
- SMHI 2011b. Vind och storm i Sverige 1901-2010. *SMHI faktablad* nr 51.
- SOU 2006. Översvämningsshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen, *SOU 2006:94*. Stockholm.
- SOU 2007a. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SOU 2007:60*, Stockholm.
- SOU 2007b. Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat. Klimat- och sårbarhetsutredningen *SOU 2007:60*, bilaga B14.
- Sundén G, Maxe L. och Dahné J. 2010. Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *SGU-rapport 2010:12*
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin* 2007. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6.
- van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.) 2009. *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Wern L. och Barring L. 2009. Sveriges vindklimat 1901-2008. Analys av förändring i geostrofisk vind. *SMHI Meteorologi* nr 138/2009.
- 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.

Övriga referenser

Länsstyrelsernas GIS-tjänster, <http://www.gis.lst.se/lanskartor/>

www.lansstyrelsen.se/vastmanland

SMHI's Klimatarkiv

SMHI vattenweb, vattenweb.smhi.se

9 Bilagor

Analysen av Västmanlands läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.8.1. Dessa klimatscenarier har, som framgår av tabell 4-1, en horisontell upplösning av 25-50 km. Efter justering av temperatur och nederbörd, med hjälp av observationer såsom beskrivs i kap. 4.6, har klimatscenarierna lagrats med samma upplösning som den observerade databasen, dvs. 4 km × 4 km. I bilagorna 1-18 finns kartor för temperatur- och nederbördsvariabler och olika index baserade på desamma. Värdena som visas i kartorna beräknas utifrån de sexton klimatscenarierna för respektive ruta och representerar 30-årsmedelvärden.

De bearbetade klimatscenarierna gör det möjligt att presentera analyser och kartor med motsvarande upplösning i rummet. Det är dock mycket viktigt att poängtera att *klimatsignalen från klimatmodellerna inte har denna höga upplösning*.

Bilaga 1. Årsmedeltemperatur (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 2. Vintermedeltemperatur (december-februari) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 3. Vårmedeltemperatur (mars-maj) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 4. Sommarmedeltemperatur (juni-augusti) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 5. Höstmedeltemperatur (september-november) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 6. Högsta dygnsmedeltemperatur (°C). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 7. Antal dagar per år med dygnsmedeltemperatur > 20°C. Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 8. Graddagar för kylning (°C × dygn). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 9. Graddagar för uppvärmning (°C × dygn). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 10. Årsmedelnederbörd (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 11. Vintermedelnederbörd (december-februari) (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 12. Vårmedelnederbörd (mars-maj)(mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 13. Sommarmedelnederbörd (juni-augusti) (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 14. Höstmedelnederbörd (september-november) (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 15. Största nederbördsmängd för 1-dygn (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. För perioden 1991-2010 även 75-percentilen och maximala beräknade värden.

Bilaga 16. Största nederbördsmängd för 7-dygn (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. För perioden 1991-2010 även 75-percentilen och maximala beräknade värden.

Bilaga 17. Antal dygn med > 10 mm nederbörd (dygn). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 18. Maximalt antal dygn i följd per år utan nederbörd (<1 mm/dygn) (dygn). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 19. Procentuell förändring av medelvattenföring per säsong 1992-2100 i relation till referensperioden 1963-1992. Varje års värde är baserat på de föregående 30 åren (exempelvis är värdet för år 2050 beräknat för perioden 2021-2050 jämfört med 1963-1992). Svarta linjer anger medianvärden och det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

Bilaga 20. Förändring av 100-årstillrinning enligt 16 klimatscenarier (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 senaste åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat för perioden 2021-2050 jämfört med värdet för 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

Bilagorna 1-5 kommenteras i kap.5.1.1

Bilagorna 6-7 kommenteras i kap.5.1.2

Bilagorna 8-9 kommenteras i kap. 5.1.3

Bilagorna 10-14 kommenteras i kap. 5.2.1

Bilagorna 15-17 kommenteras i kap. 5.2.2

Bilaga 18 kommenteras i kap. 5.2.3

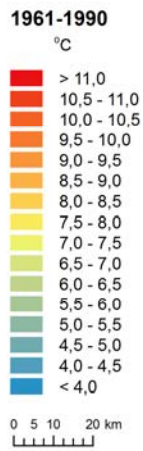
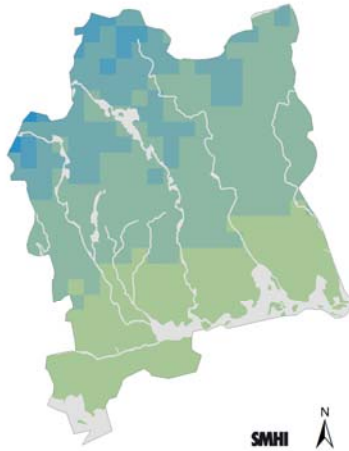
Bilaga 19 kommenteras i kap. 5.3.2

Bilaga 20 kommenteras i kap. 5.3.3

Bilaga 1 – Årsmedeltemperatur (se kap. 5.1.1)

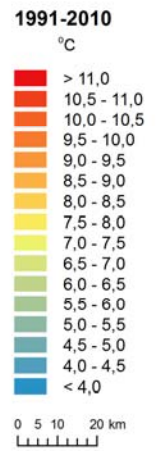
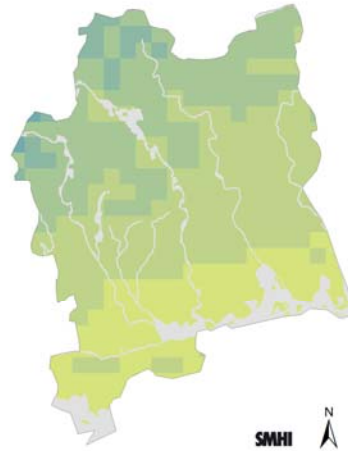
Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_tav_1961to1990_Ref - Mean Medeltemperatur



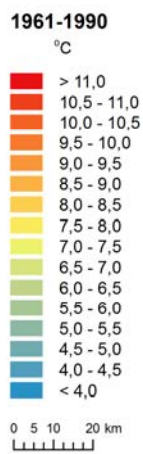
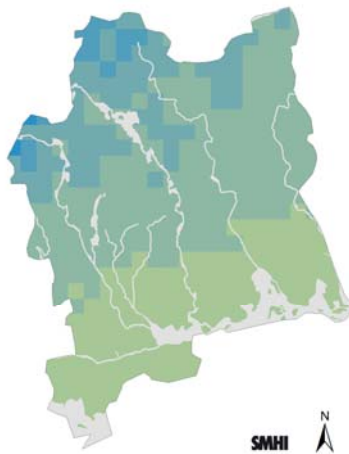
Observerat 1991-2010 (°C)

OBS_tav_1991to2010_Comp - Mean Medeltemperatur



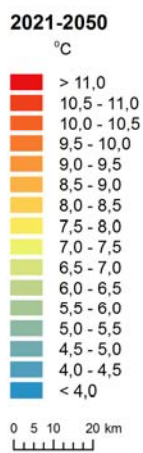
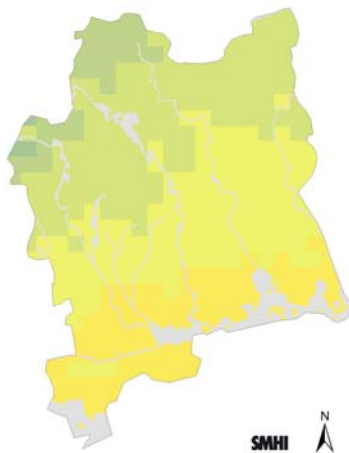
Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_tav_1961to1990_Ref - Mean Medeltemperatur



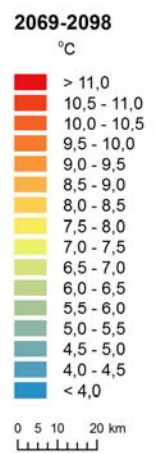
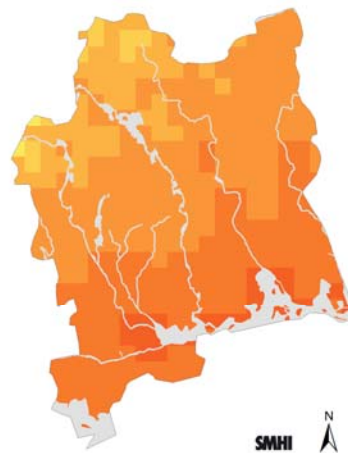
Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_tav_2021to2050_Comp - Mean Medeltemperatur



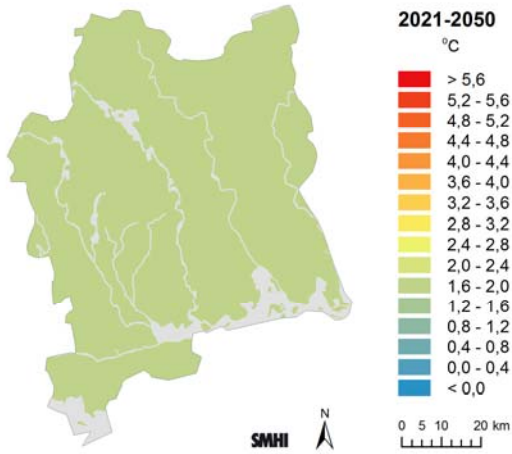
Beräknat 2069-2098 (°C)

Ensemble_tav_2069to2098_Comp - Mean Medeltemperatur



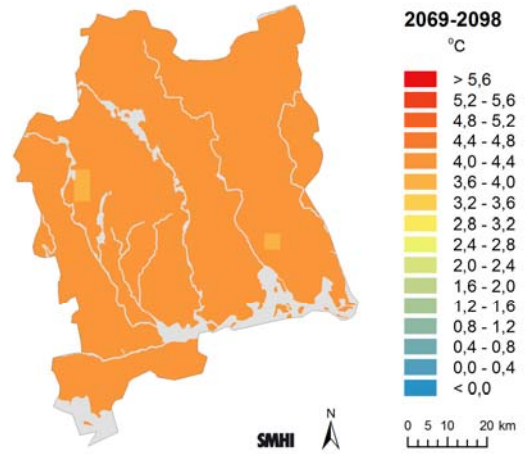
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

Ensemble_tav_2021to2050_DiffUnit : Mean Medeltemperatur



Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

Ensemble_tav_2069to2098_DiffUnit : Mean Medeltemperatur



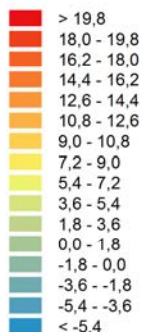
Bilaga 2 – Vintermedeltemperatur (december-februari) (se kap. 5.1.1)

Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_tav_DJF_1961to1990_Ref - Mean Medeltemperatur



1961-1990
°C



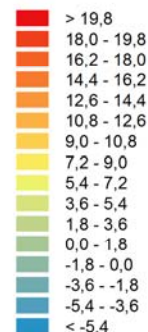
0 5 10 20 km

Observerat 1991-2010 (°C)

OBS_tav_DJF_1991to2010_Comp - Mean Medeltemperatur



1991-2010
°C



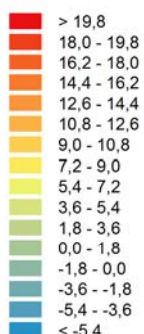
0 5 10 20 km

Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_tav_DJF_1961to1990_Ref - Mean Medeltemperatur



1961-1990
°C



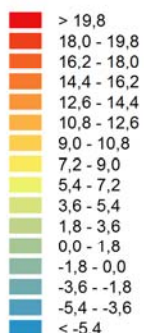
0 5 10 20 km

Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_tav_DJF_2021to2050_Comp - Mean Medeltemperatur



2021-2050
°C



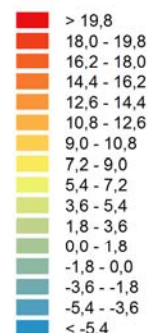
0 5 10 20 km

Beräknat 2069-2098 (°C)

Ensemble_tav_DJF_2069to2098_Comp - Mean Medeltemperatur



2069-2098
°C

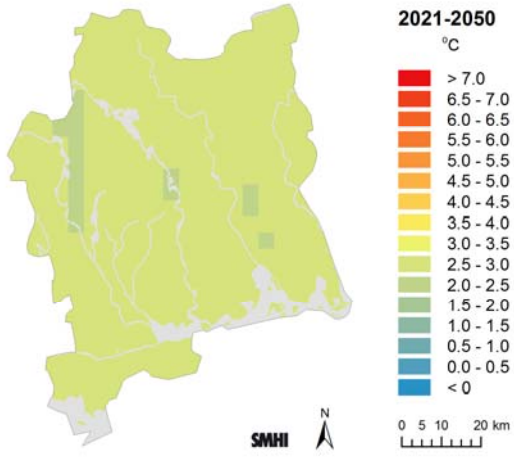


0 5 10 20 km

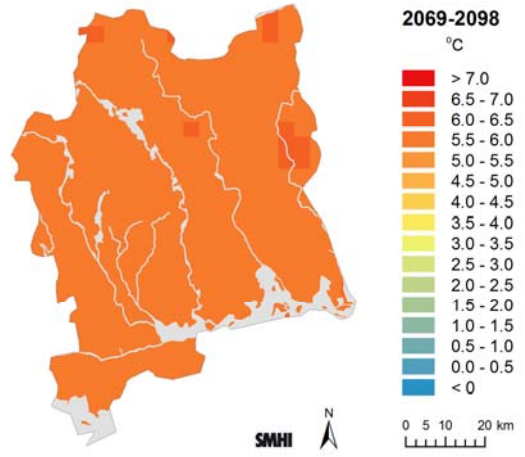
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Ensemble_avg_DJF_2021to2050_DiffUnit : Mean Medetemperatur



Ensemble_avg_DJF_2069to2098_DiffUnit : Mean Medetemperatur



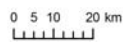
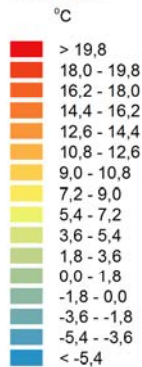
Bilaga 3 – Vårmedeltemperatur (mars-maj) (se kap. 5.1.1)

Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_tav_MAM_1961to1990_Ref_Mean
Medeltemperatur

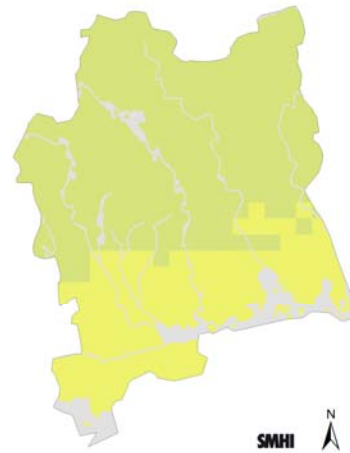


1961-1990

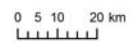
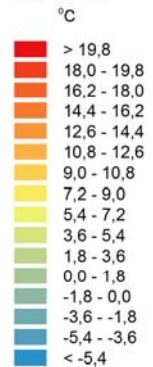


Observerat 1991-2010 (°C)

OBS_tav_MAM_1991to2010_Comp_Mean
Medeltemperatur

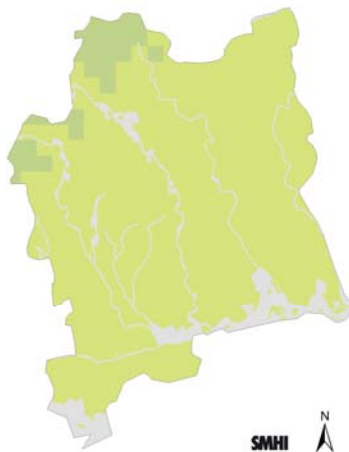


1991-2010

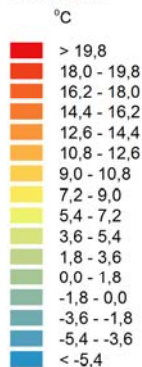


Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_tav_MAM_1961to1990_Ref_Mean
Medeltemperatur



1961-1990

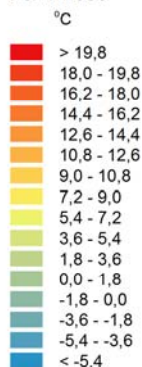


Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_tav_MAM_2021to2050_Comp_Mean
Medeltemperatur

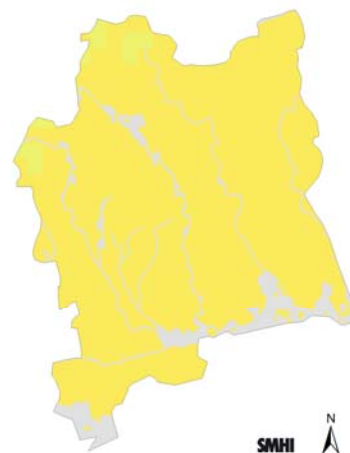


2021-2050

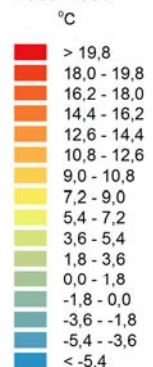


Beräknat 2069-2098 (°C)

Ensemble_tav_MAM_2069to2098_Comp_Mean
Medeltemperatur



2069-2098



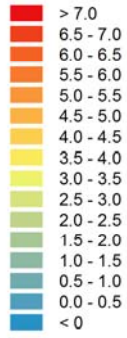
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Ensemble, by_MAM_2021to2050_DiffUnit : Mean Medetemperatur

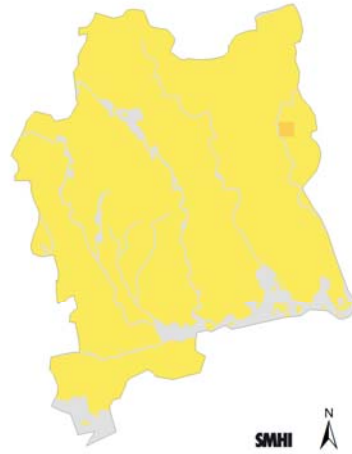


2021-2050
°C

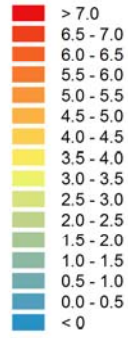


0 5 10 20 km

Ensemble, by_MAM_2069to2098_DiffUnit : Mean Medetemperatur



2069-2098
°C

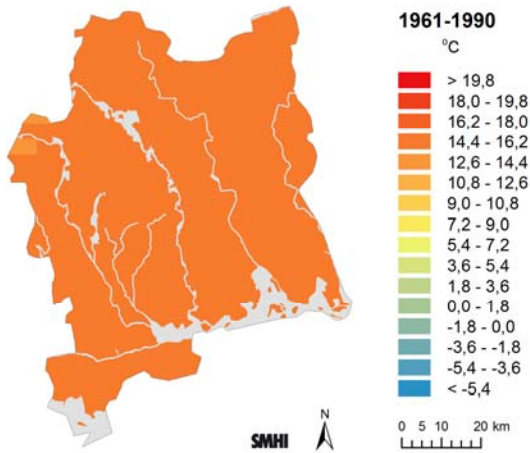


0 5 10 20 km

Bilaga 4 – Sommarmedeltemperatur (juni-augusti) (se kap. 5.1.1)

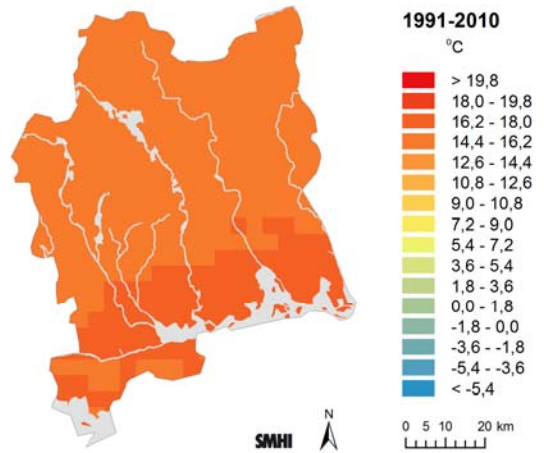
Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_tav_JJA_1961to1990_Ref : Mean Medeltemperatur



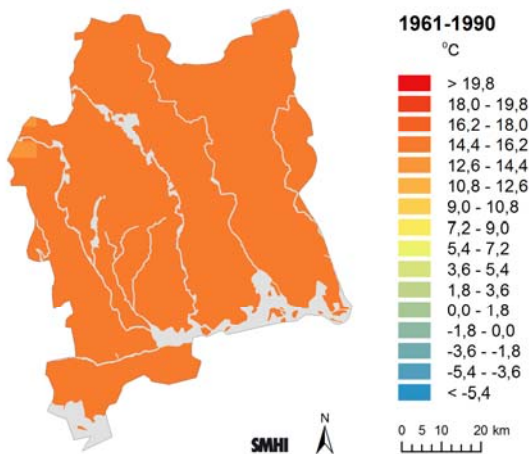
Observerat 1991-2010 (°C)

OBS_tav_JJA_1991to2010_Comp : Mean Medeltemperatur



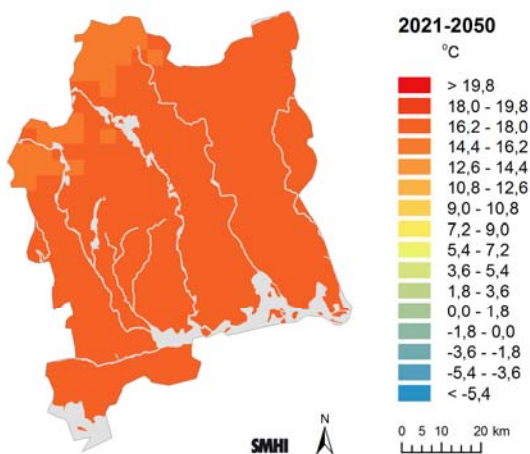
Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_tav_JJA_1961to1990_Ref : Mean Medeltemperatur



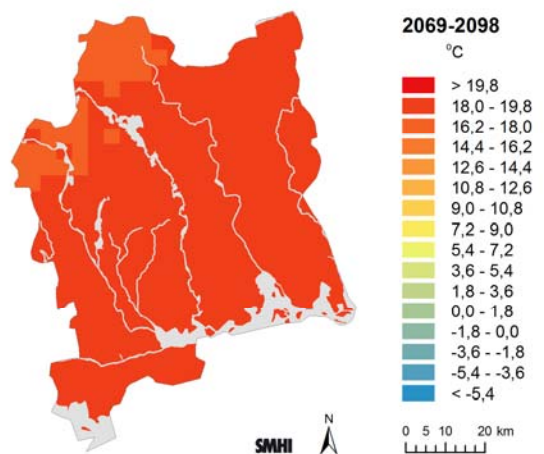
Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_tav_JJA_2021to2050_Comp : Mean Medeltemperatur



Beräknat 2069-2098 (°C)

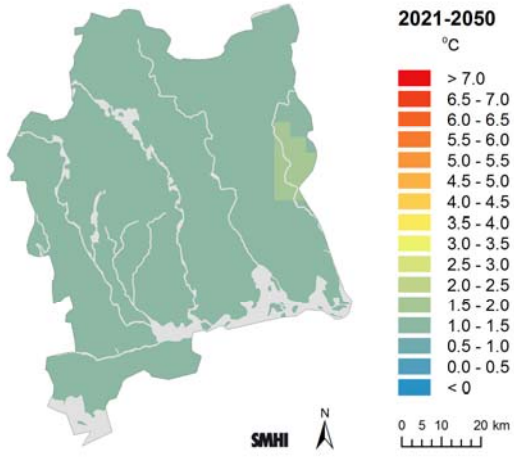
Ensemble_tav_JJA_2069to2098_Comp : Mean Medeltemperatur



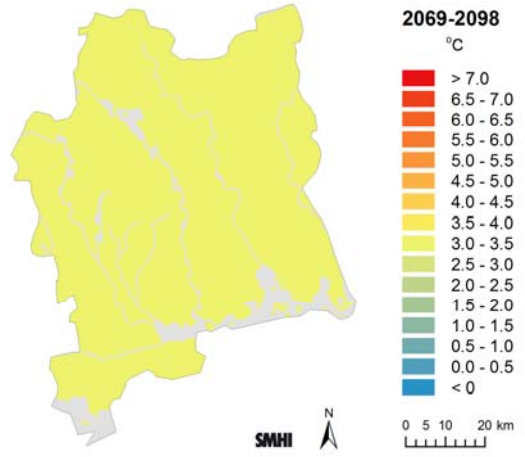
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Ensemble_avg_JJA_2021to2050_DiffUnit - Mean Medetemperatur

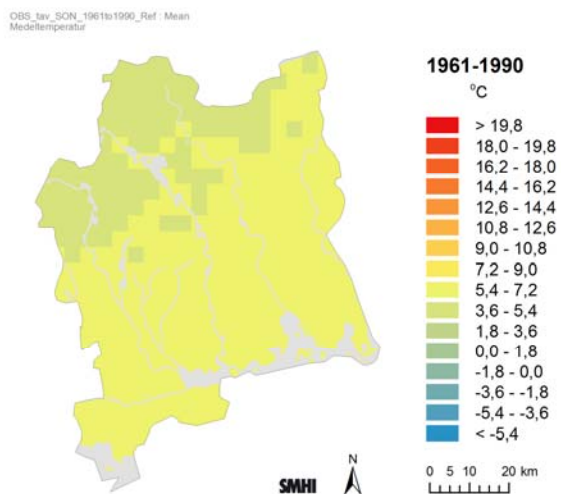


Ensemble_avg_JJA_2069to2098_DiffUnit - Mean Medetemperatur

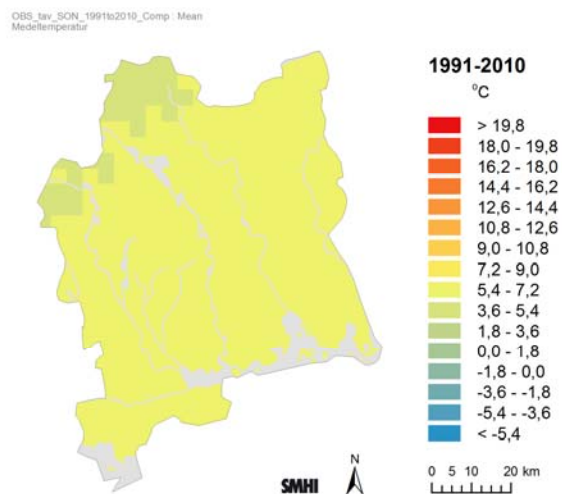


Bilaga 5 – Höstmedeltemperatur (september-november) (se kap. 5.1.1)

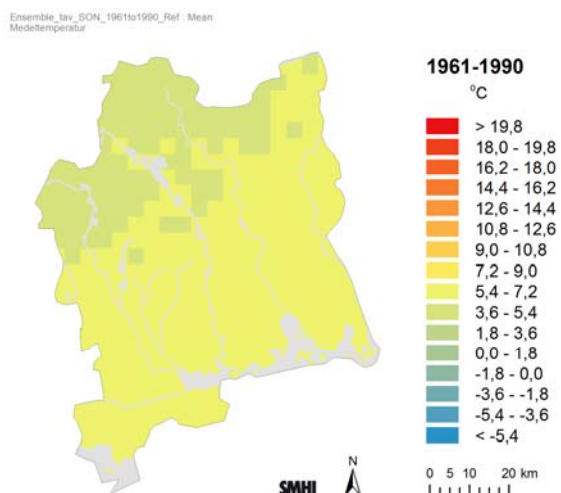
Observerat 1961-1990 (°C)



Observerat 1991-2010 (°C)



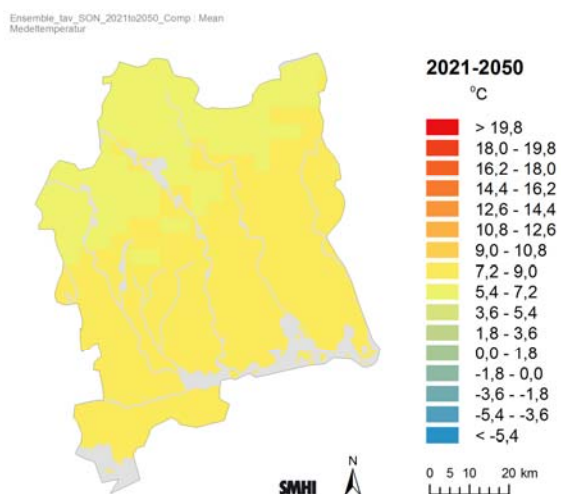
Beräknat 1961-1990 (°C)



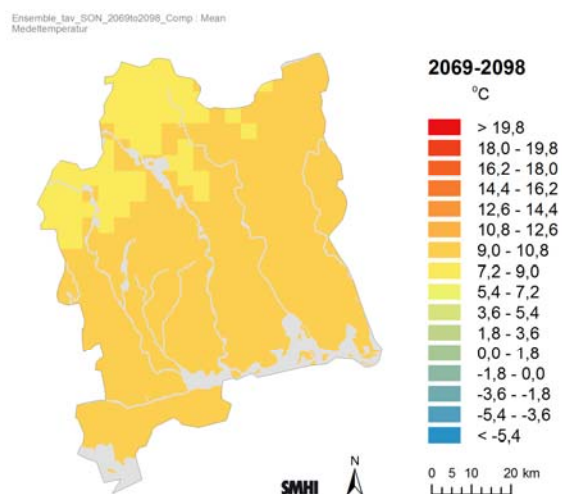
Beräknat 1991-2010 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)



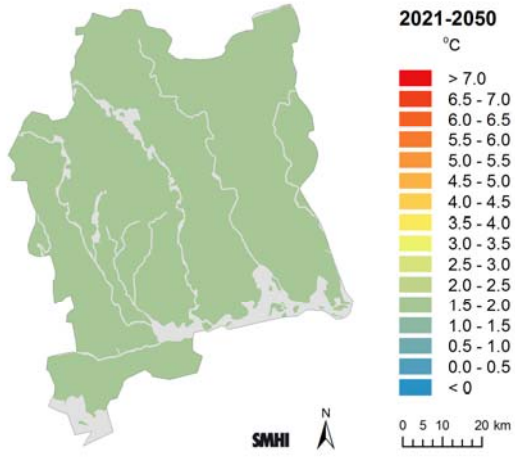
Beräknat 2069-2098 (°C)



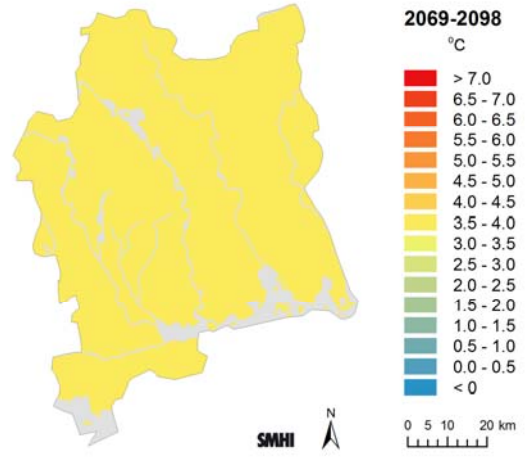
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Ensemble_av_SON_2021to2050_DiffUnit : Mean Medetemperatur



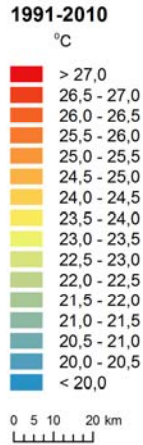
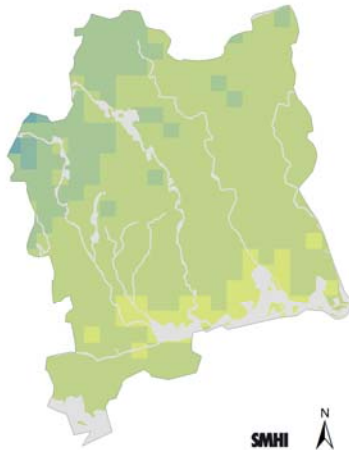
Ensemble_av_SON_2069to2098_DiffUnit : Mean Medetemperatur



Bilaga 6 – Högsta årliga dygnsmedeltemperatur (se kap. 5.1.2)

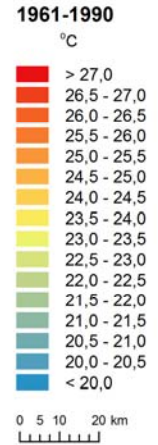
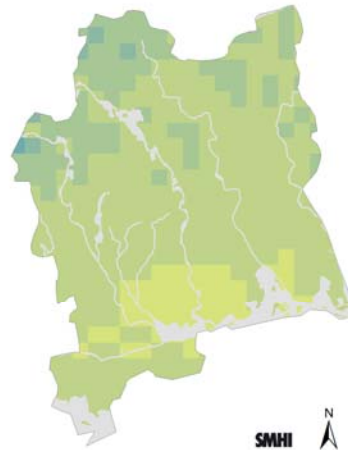
Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_max_1991to2010_Comp_Mean
Maximal dygnsmedeltemperatur



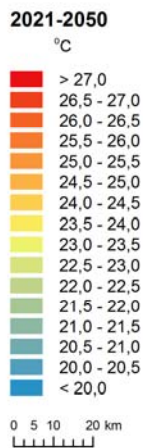
Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_max_1961to1990_Ref_Mean
Maximal dygnsmedeltemperatur



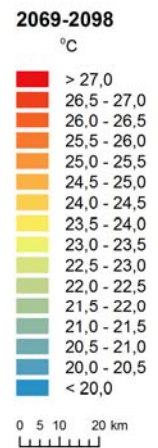
Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_max_2021to2050_Comp_Mean
Maximal dygnsmedeltemperatur



Beräknat 2069-2098 (°C)

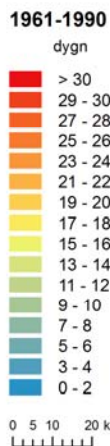
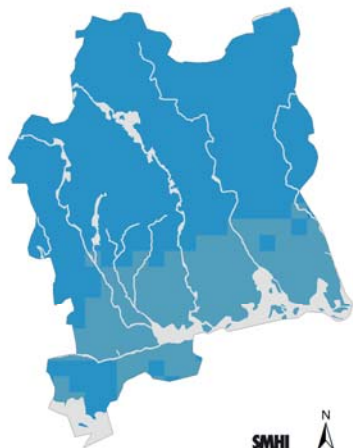
Ensemble_max_2069to2098_Comp_Mean
Maximal dygnsmedeltemperatur



Bilaga 7 – Antal dagar per år med dygnsmedeltemperatur > 22°C (se kap. 5.1.2)

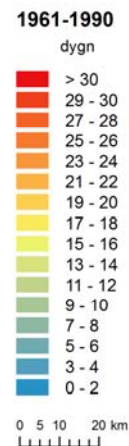
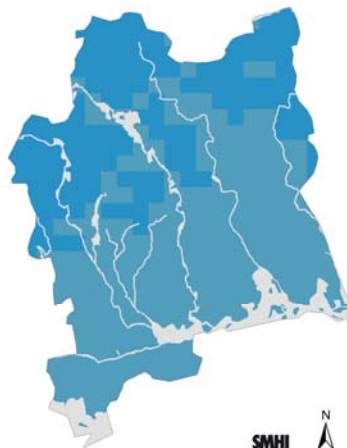
Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_thot22_1961to1990_Ref_Mean
Antal varma dagar > 22 C



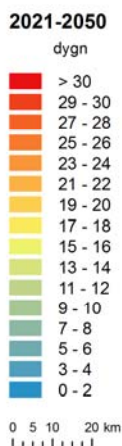
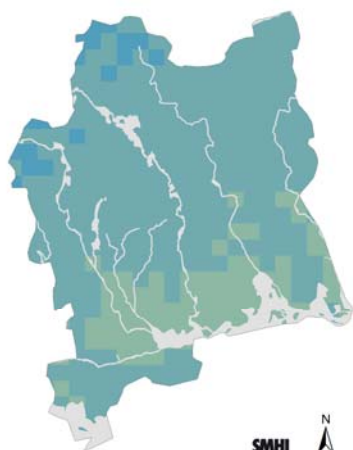
Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_thot22_1961to1990_Ref_Mean
Antal varma dagar > 22 C



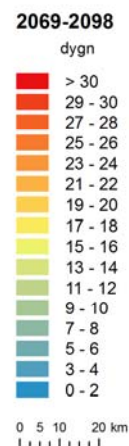
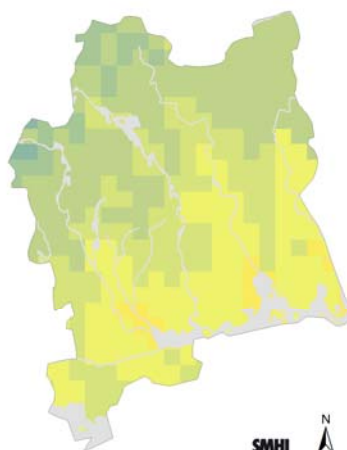
Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_thot22_2021to2050_Comp_Mean
Antal varma dagar > 22 C



Beräknat 2069-2098 (°C)

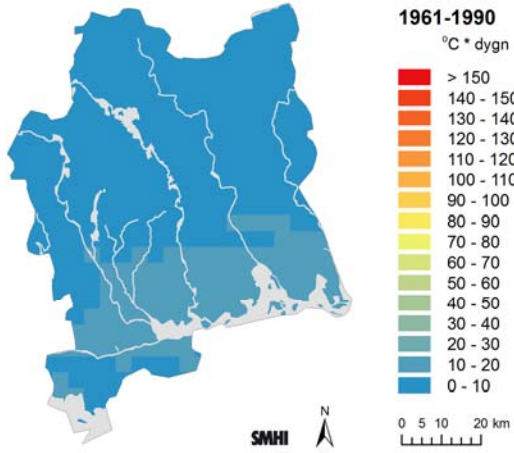
Ensemble_thot22_2069to2098_Comp_Mean
Antal varma dagar > 22 C



Bilaga 8 – Graddagar för kylning (°C × dygn) (se kap. 5.1.3)

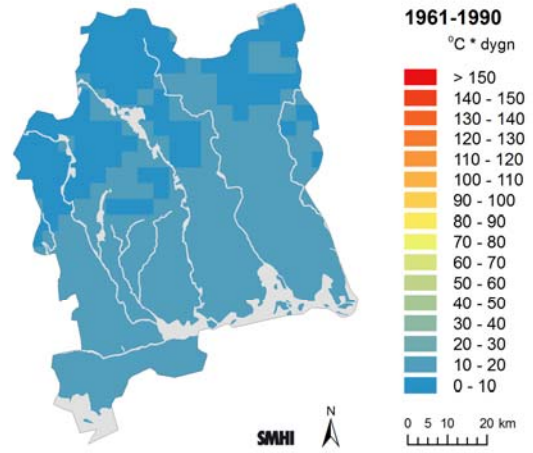
Observerat 1961-1990 (°C x dygn)

OBS_todd_1961to1990_Ref_Mean
Kyla graddagar > tröskelvärde (20°C)



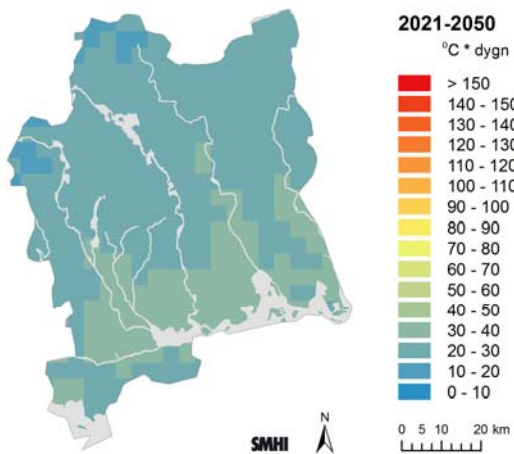
Beräknat 1961-1990 (°C x dygn)

Ensemble_todd_1961to1990_Ref_Mean
Kyla graddagar > tröskelvärde (20°C)



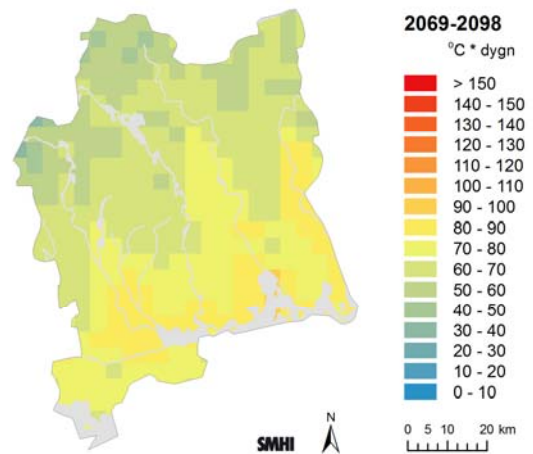
Beräknat 2021-2050 (°C x dygn)

Ensemble_todd_2021to2050_Comp_Mean
Kyla graddagar > tröskelvärde (20°C)



Beräknat 2069-2098 (°C x dygn)

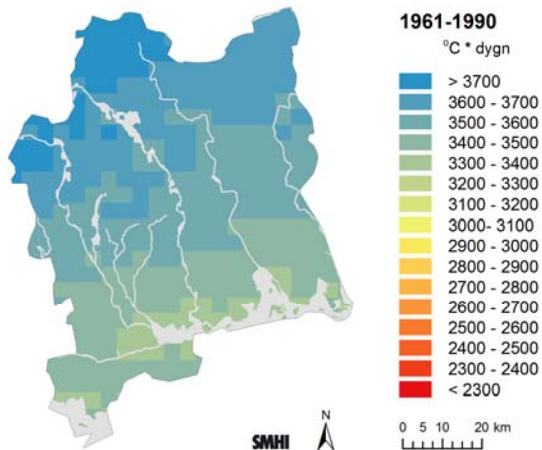
Ensemble_todd_2069to2098_Comp_Mean
Kyla graddagar > tröskelvärde (20°C)



Bilaga 9 – Graddagar för uppvärmning (°C × dygn) (se kap. 5.1.3)

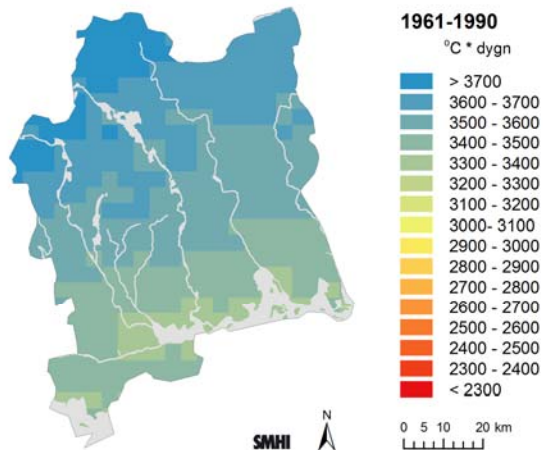
Observervat 1961-1990 (°C × dygn)

OBS_thdd_1961to1990_Ref - Mean
Uppvärmning graddagar < tröskelvärde (vinter 17°C)



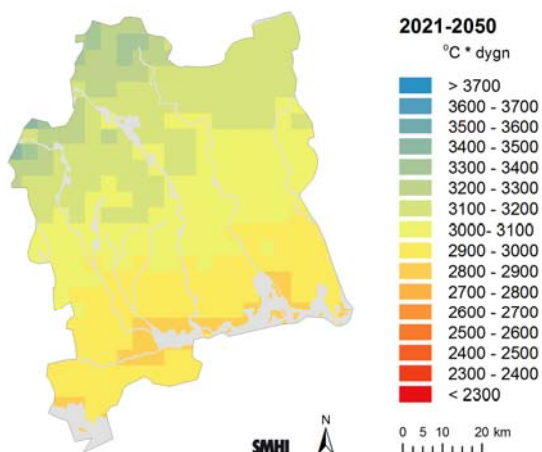
Beräknat 1961-1990 (°C × dygn)

Ensemble_thdd_1961to1990_Ref - Mean
Uppvärmning graddagar < tröskelvärde (vinter 17°C)



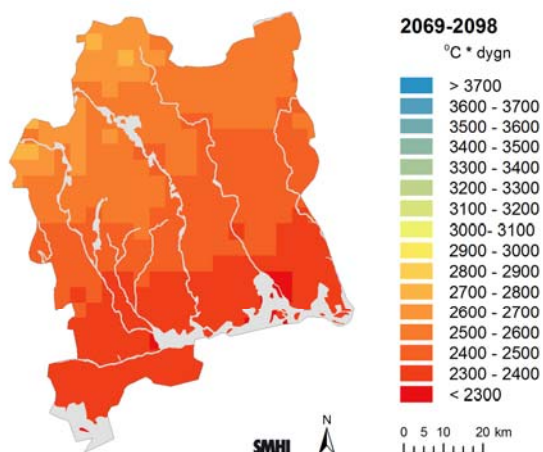
Beräknat 2021-2050 (°C × dygn)

Ensemble_thdd_2021to2050_Comp - Mean
Uppvärmning graddagar < tröskelvärde (vinter 17°C)



Beräknat 2069-2098 (°C × dygn)

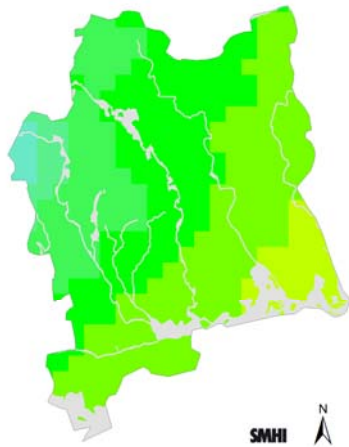
Ensemble_thdd_2069to2098_Comp - Mean
Uppvärmning graddagar < tröskelvärde (vinter 17°C)



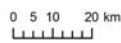
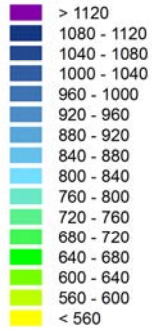
Bilaga 10 – Årsmedelnederbörd (se kap. 5.2.1)

Observerat 1961-1990 (mm/år)

OBS_pav_1961to1990_Ref_Mean
Medelnederbörd

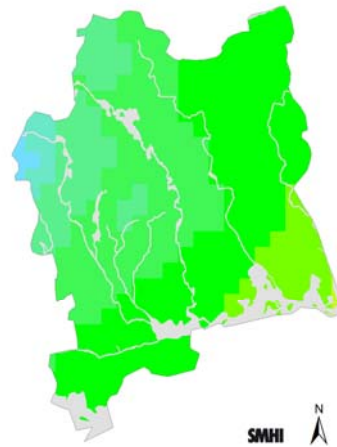


1961-1990
mm

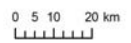
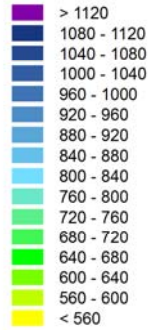


Observerat 1991-2010 (mm/år)

OBS_pav_1991to2010_Comp_Mean
Medelnederbörd

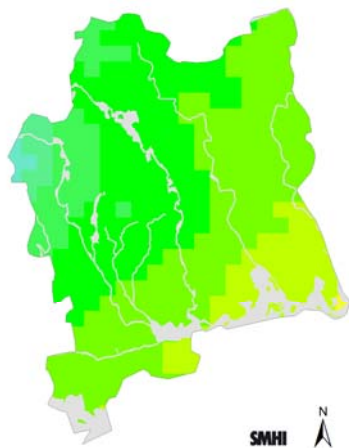


1991-2010
mm

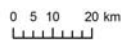
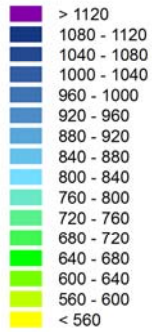


Beräknat 1961-1990 (mm/år)

Ensemble_pav_1961to1990_Ref_Mean
Medelnederbörd

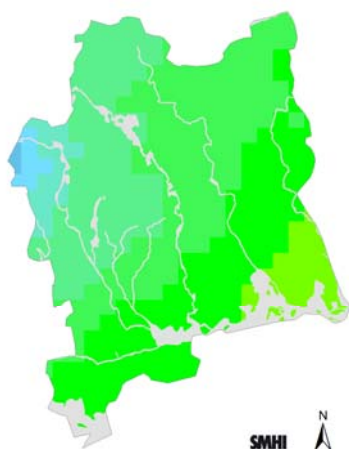


1961-1990
mm



Beräknat 2021-2050 (mm/år)

Ensemble_pav_2021to2050_Comp_Mean
Medelnederbörd

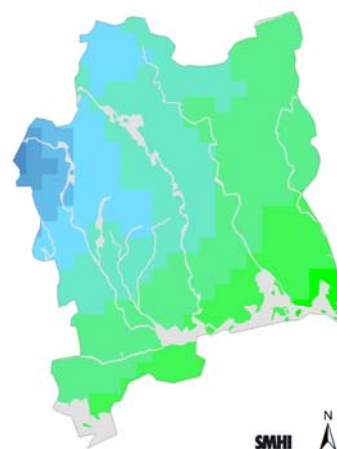


2021-2050
mm

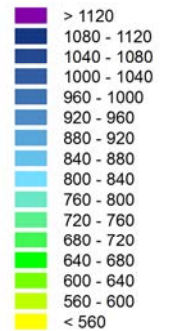


Beräknat 2069-2098 (mm/år)

Ensemble_pav_2069to2098_Comp_Mean
Medelnederbörd

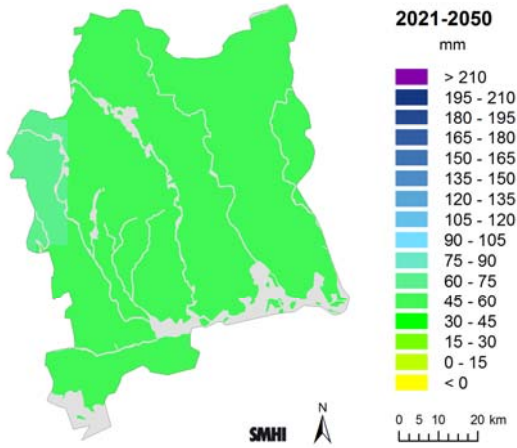


2069-2098
mm



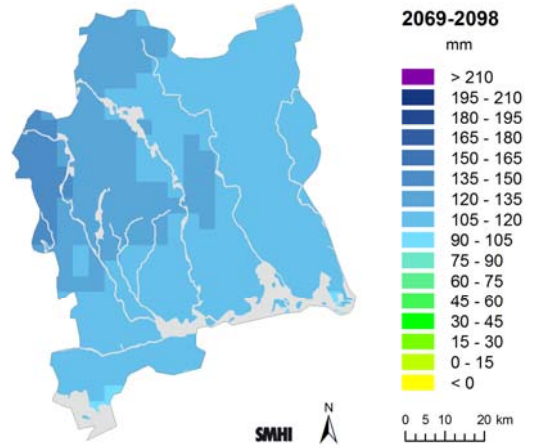
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (mm/år)

Ensemble_pav_2021to2050_DiffUnit: Mean
Medelnederbörd



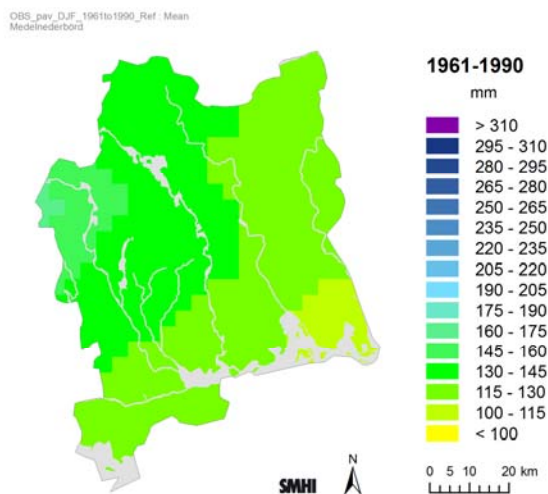
Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (mm/år)

Ensemble_pav_2069to2098_DiffUnit: Mean
Medelnederbörd

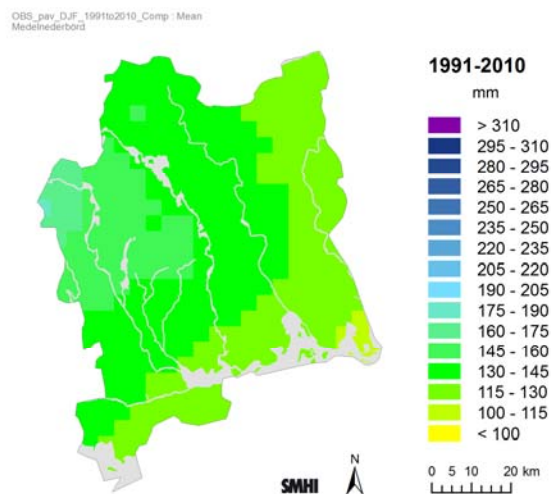


Bilaga 11 – Vintermedelnederbörd (december-februari) (se kap. 5.2.1)

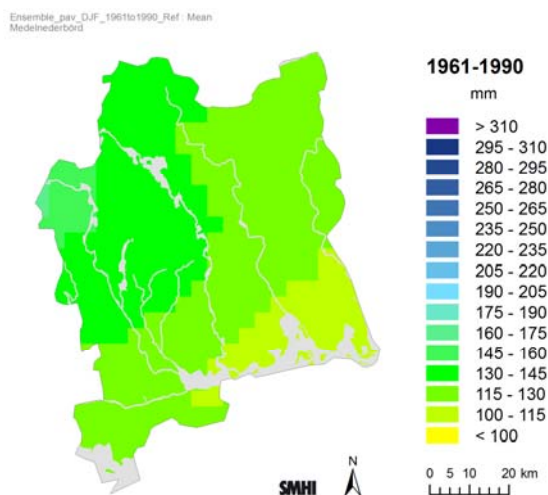
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



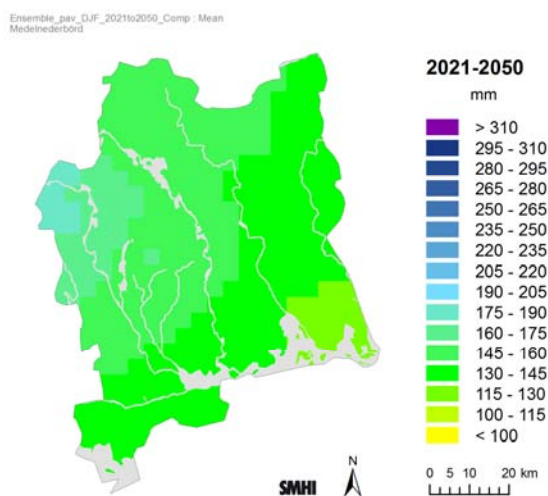
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



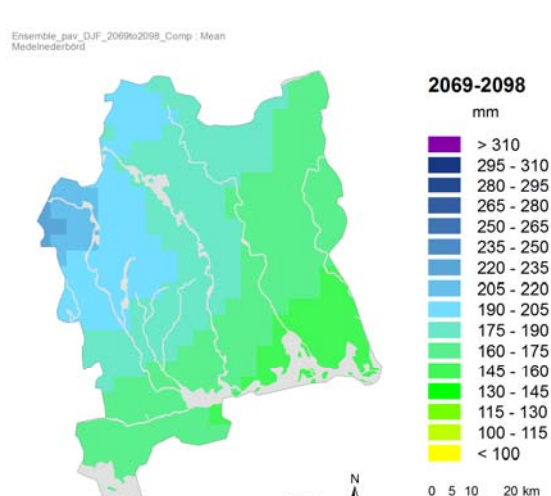
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)

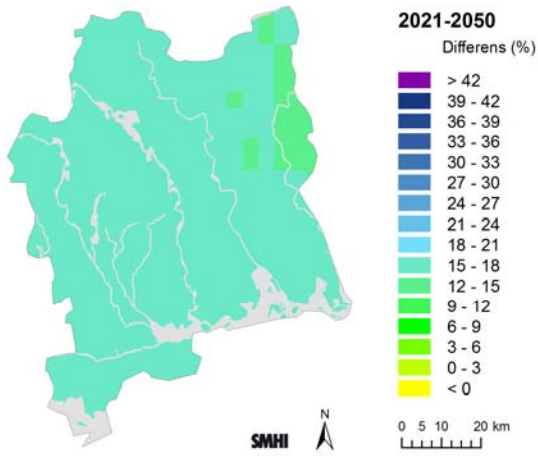


Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



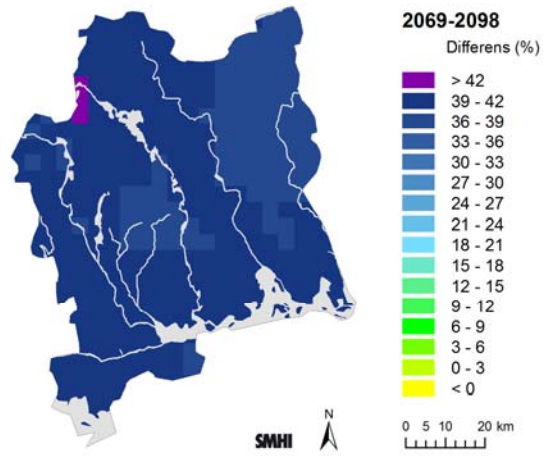
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

Ensemble_pav_DJF_2021to2050_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

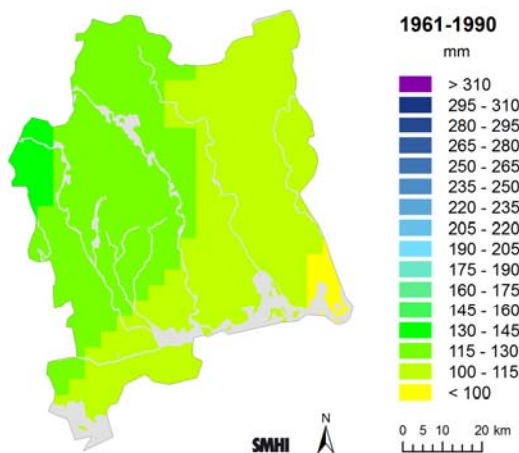
Ensemble_pav_DJF_2069to2098_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



Bilaga 12 – Vårmedelnederbörd (mars-maj) (se kap. 5.2.1)

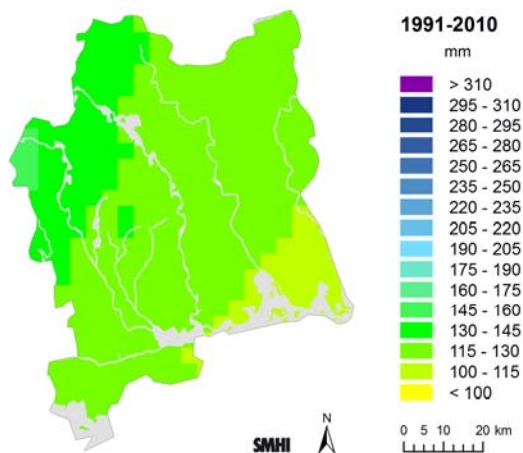
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)

OBS_pav_MAM_1961to1990_Ref: Mean
Medelnederbörd



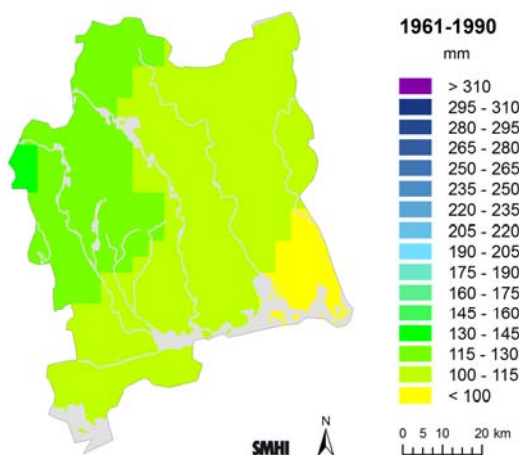
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)

OBS_pav_MAM_1991to2010_Comp: Mean
Medelnederbörd



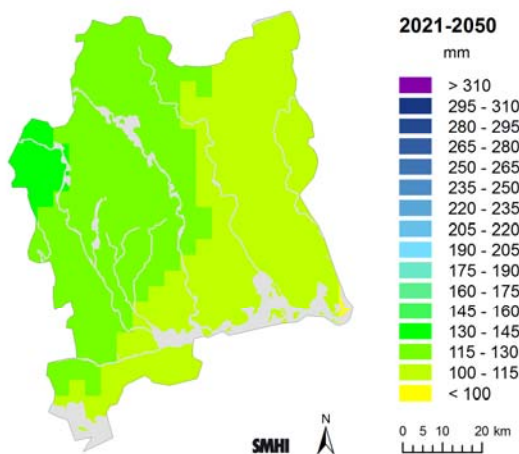
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)

Ensemble_pav_MAM_1961to1990_Ref: Mean
Medelnederbörd



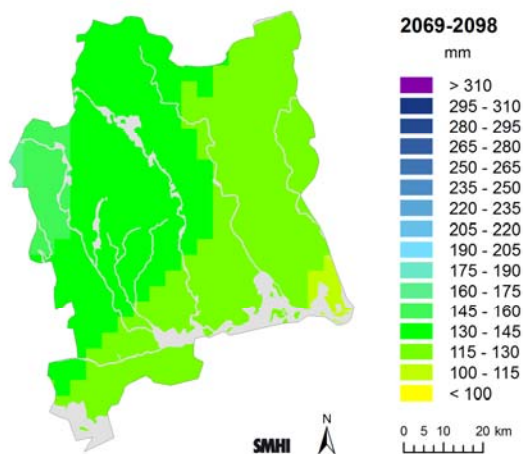
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)

Ensemble_pav_MAM_2021to2050_Comp: Mean
Medelnederbörd



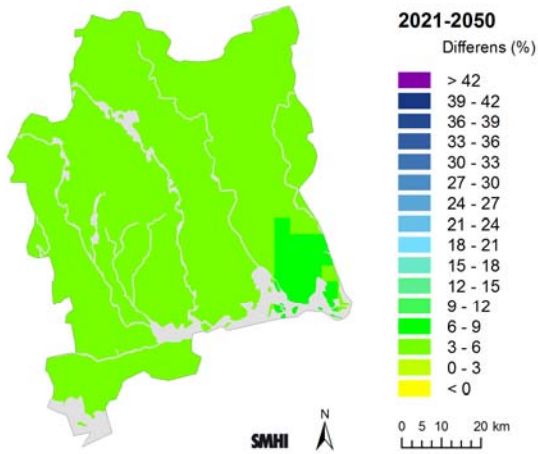
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)

Ensemble_pav_MAM_2069to2098_Comp: Mean
Medelnederbörd



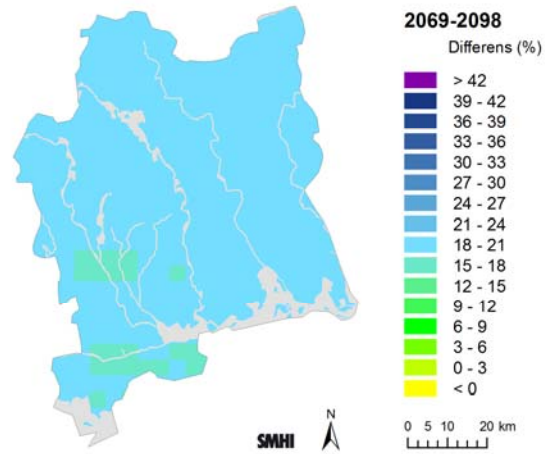
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

Ensemble_pav_MAM_2021to2050_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

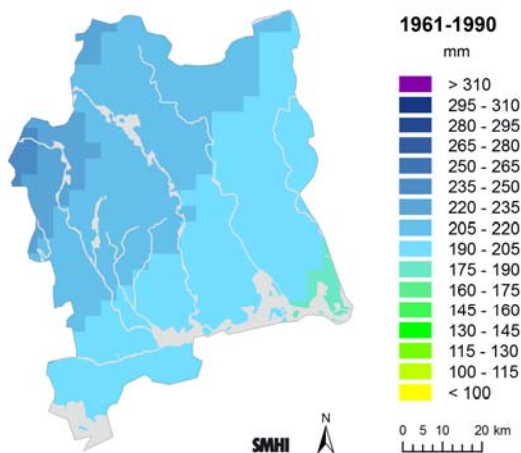
Ensemble_pav_MAM_2069to2098_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



Bilaga 13 – Somarmedelnederbörd (juni-augusti) (se kap. 5.2.1)

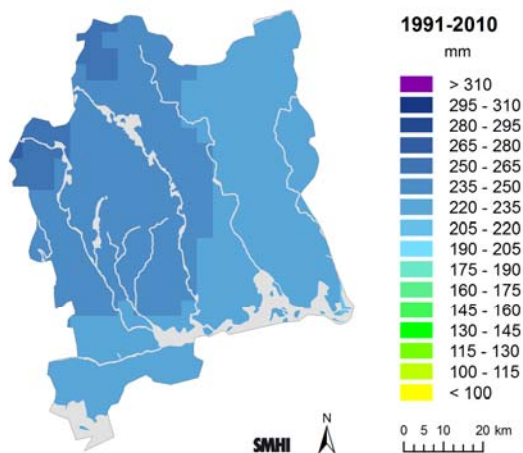
Observervat 1961-1990 (mm/säsong)

OBS_pav_JJA_1961to1990_Ref : Mean
Medelnederbörd



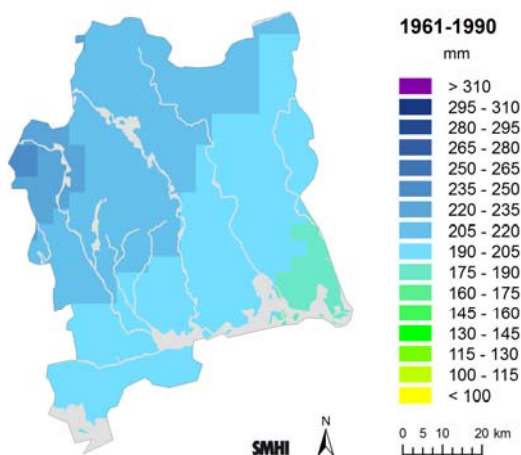
Observervat 1991-2010 (mm/säsong)

OBS_pav_JJA_1991to2010_Comp : Mean
Medelnederbörd



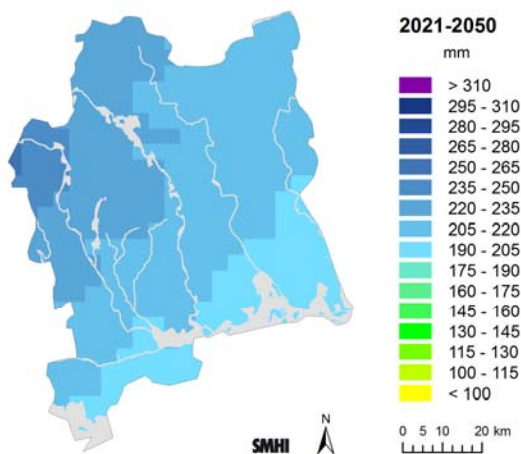
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)

Ensemble_pav_JJA_1961to1990_Ref : Mean
Medelnederbörd



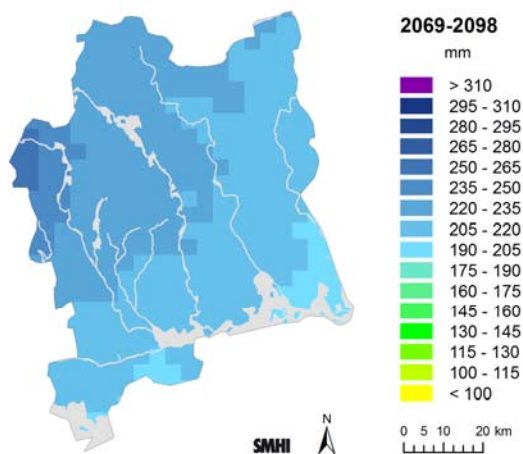
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)

Ensemble_pav_JJA_2021to2050_Comp : Mean
Medelnederbörd



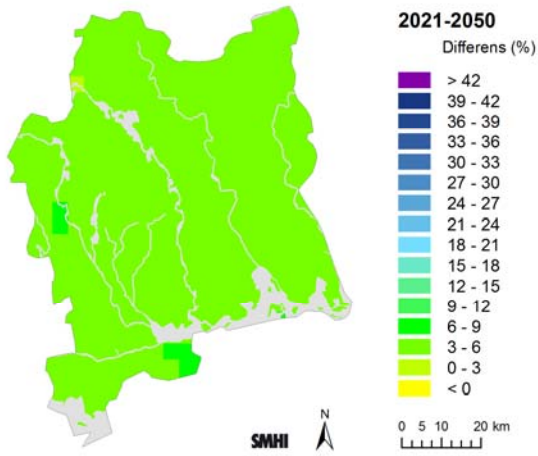
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)

Ensemble_pav_JJA_2069to2098_Comp : Mean
Medelnederbörd



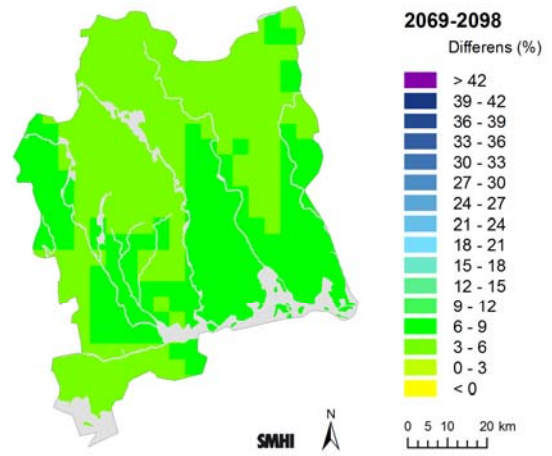
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

Ensemble_pav_JJA_2021to2050_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



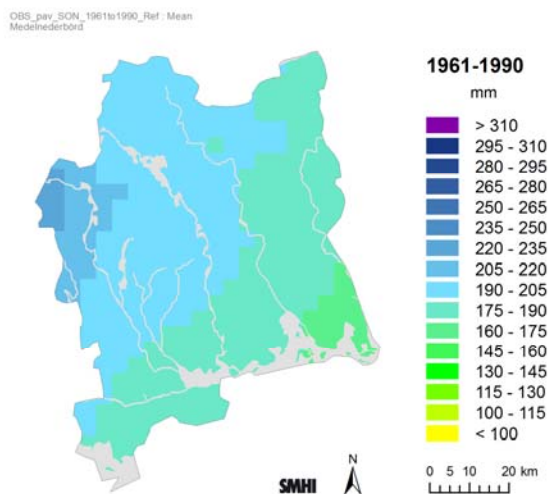
Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

Ensemble_pav_JJA_2069to2098_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd

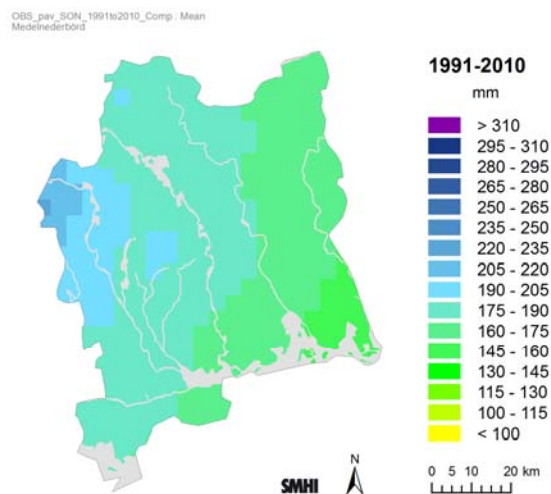


Bilaga 14 – Höstmedelnederbörd (september-november) (se kap. 5.2.1)

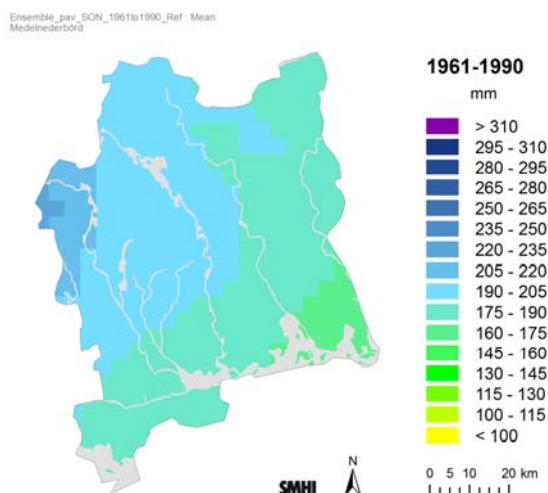
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



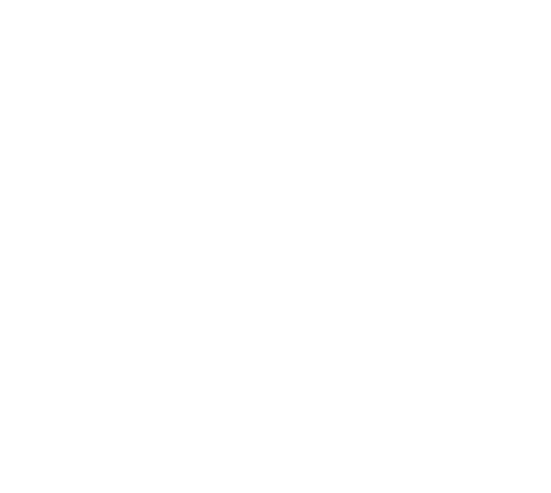
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



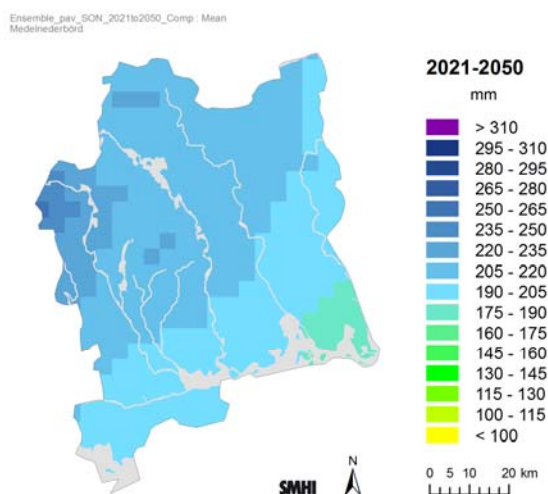
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



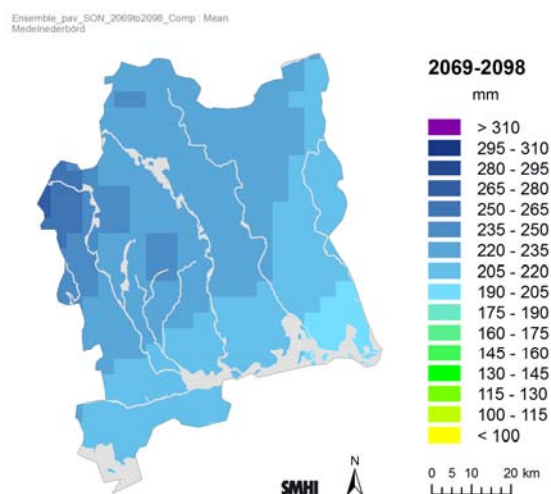
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)

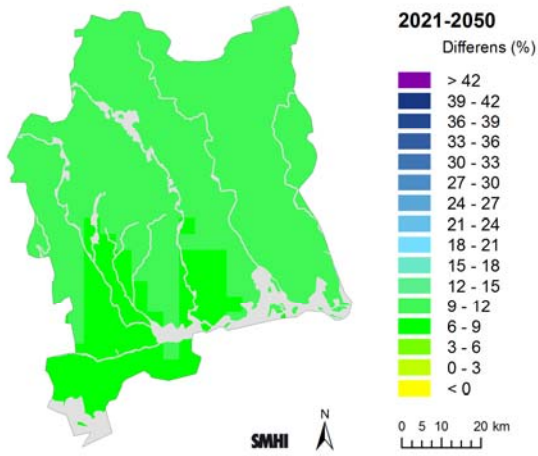


Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



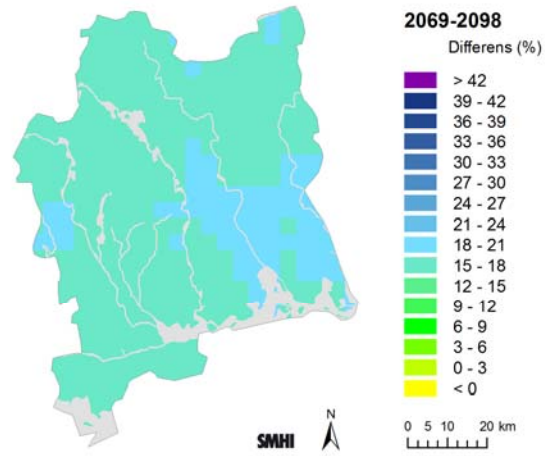
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

Ensemble_gav_SON_2021to2050_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

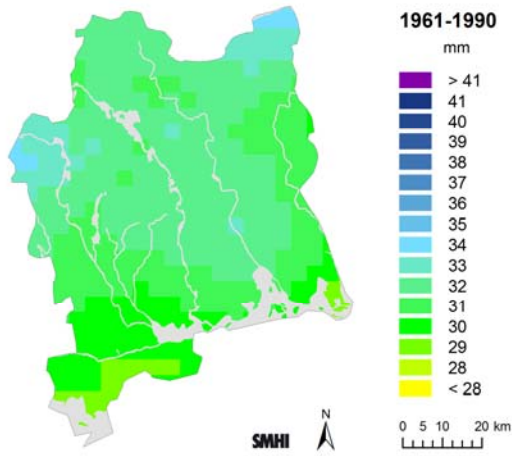
Ensemble_gav_SON_2069to2098_DiffPercent : Mean
Medelnederbörd



Bilaga 15 – Största 1-dygnsnederbörd (se kap. 5.2.2)

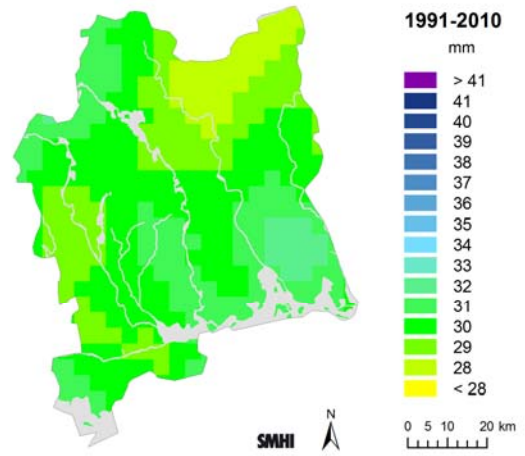
Observerat 1961-1990 (mm)

OBS_px1d_1961to1990_Ref : Mean
Störst 1 dygns nederbörd



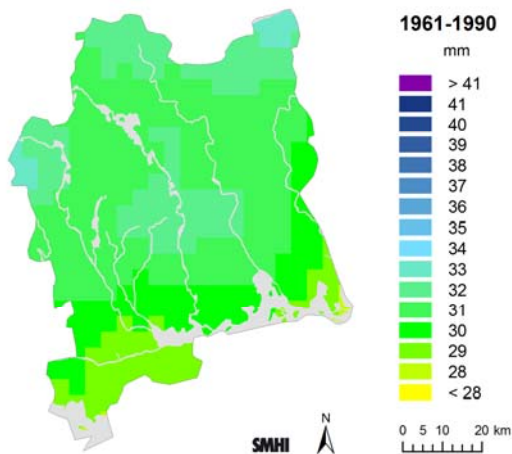
Observerat 1991-2010 (mm)

OBS_px1d_1991to2010_Comp : Mean
Störst 1 dygns nederbörd



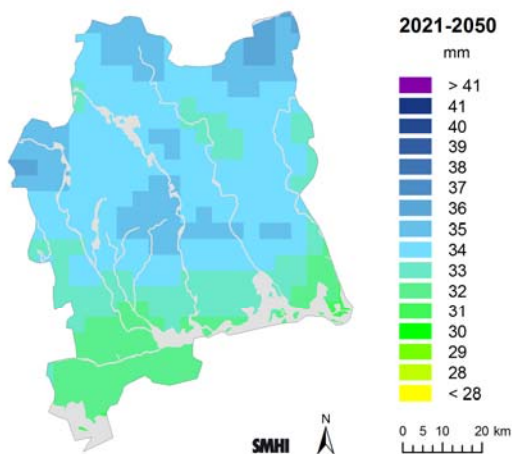
Beräknat 1961-1990 (mm)

Ensemble_px1d_1961to1990_Ref : Mean
Störst 1 dygns nederbörd



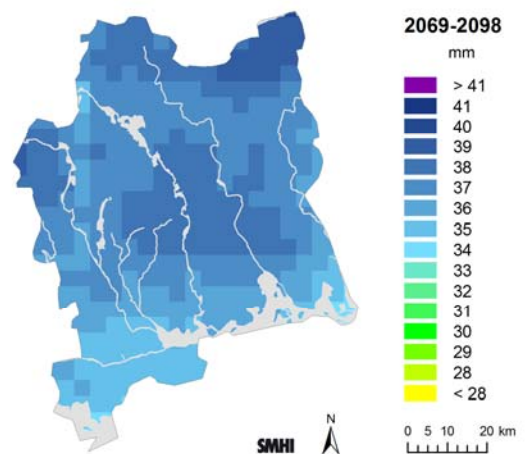
Beräknat 2021-2050 (mm)

Ensemble_px1d_2021to2050_Comp : Mean
Störst 1 dygns nederbörd



Beräknat 2069-2098 (mm)

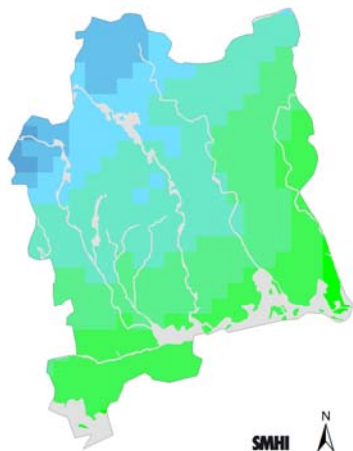
Ensemble_px1d_2069to2098_Comp : Mean
Störst 1 dygns nederbörd



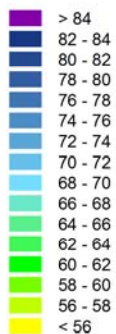
Bilaga 16 – Största 7-dygnsnederbörd (se kap. 5.2.2)

Observerat 1961-1990 (mm)

OBS_px7d_1961to1990_Ref : Mean
Störst 7 dygns nederbörd

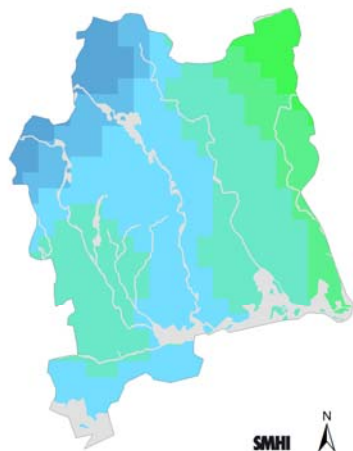


1961-1990
mm

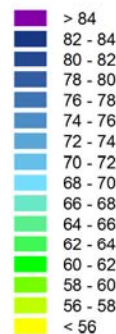


Observerat 1991-2010 (mm)

OBS_px7d_1991to2010_Comp : Mean
Störst 7 dygns nederbörd

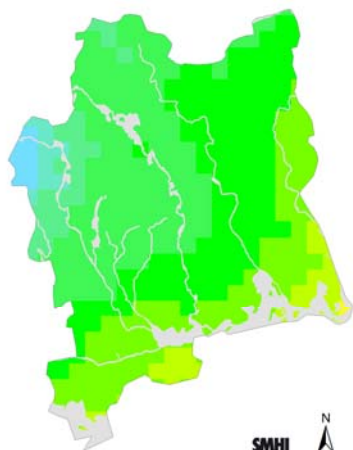


1991-2010
mm

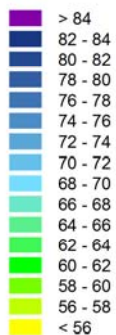


Beräknat 1961-1990 (mm)

Ensemble_px7d_1961to1990_Ref : Mean
Störst 7 dygns nederbörd



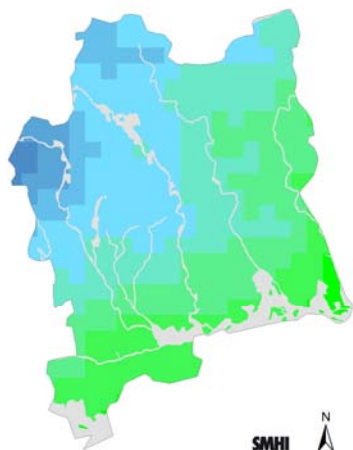
1961-1990
mm



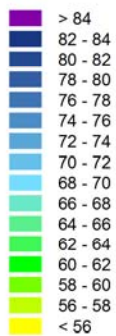
Beräknat 1991-2010 (mm)

Beräknat 2069-2098 (mm)

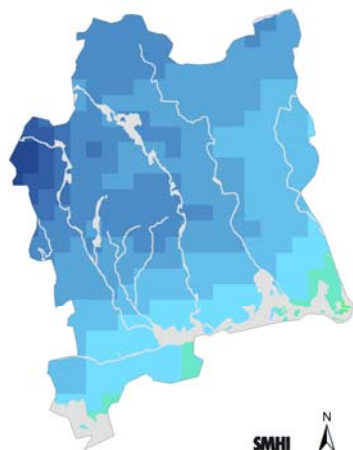
Ensemble_px7d_2021to2050_Comp : Mean
Störst 7 dygns nederbörd



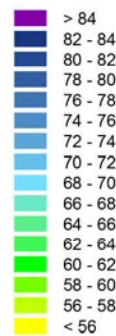
2021-2050
mm



Ensemble_px7d_2069to2098_Comp : Mean
Störst 7 dygns nederbörd



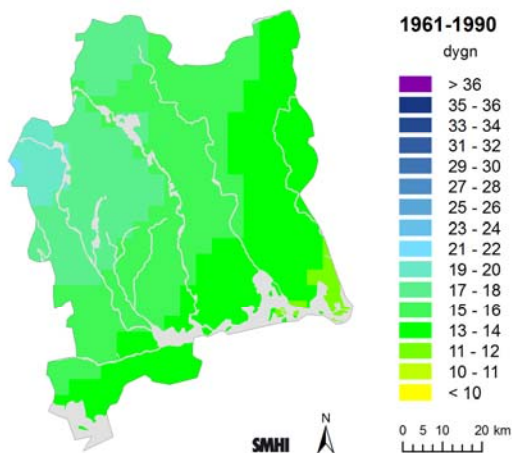
2069-2098
mm



Bilaga 17 – Antal dygn per år med nederbörd > 10 mm (se kap. 5.2.2)

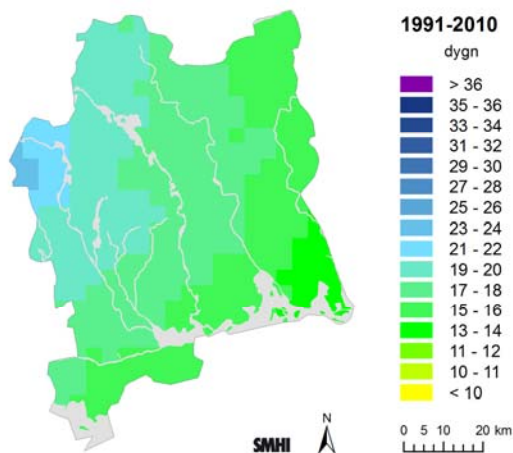
Observerat 1961-1990 (dygn)

OBS_pn10mm_1961to1990_Ref: Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



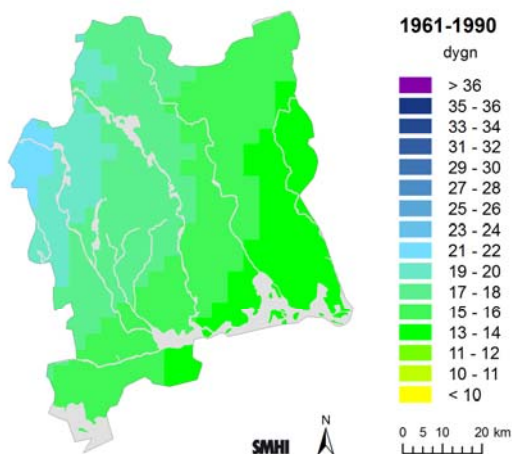
Observerat 1991-2010 (dygn)

OBS_pn10mm_1991to2010_Comp: Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



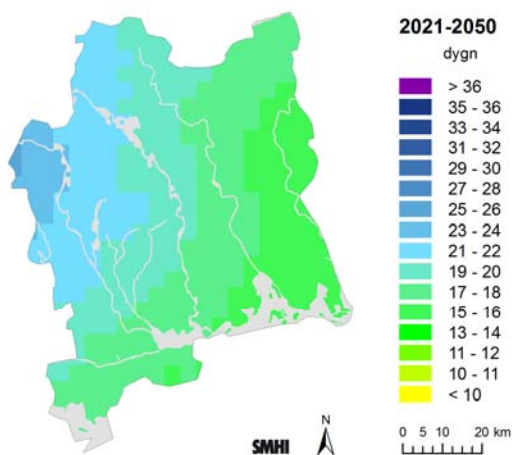
Beräknat 1961-1990 (dygn)

Ensemble_pn10mm_1961to1990_Ref: Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



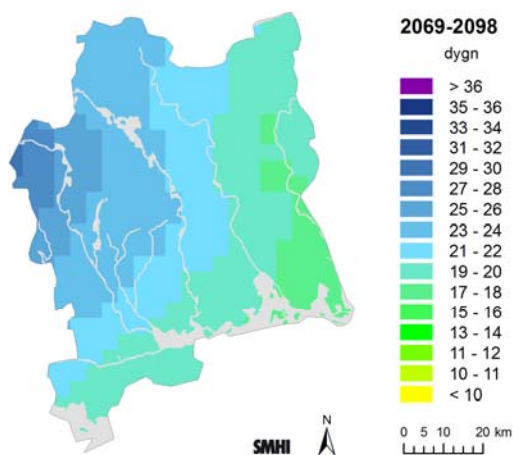
Beräknat 2021-2050 (dygn)

Ensemble_pn10mm_2021to2050_Comp: Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



Beräknat 2069-2098 (dygn)

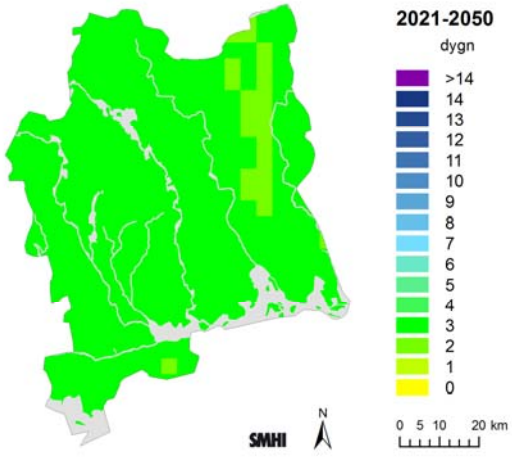
Ensemble_pn10mm_2069to2098_Comp: Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



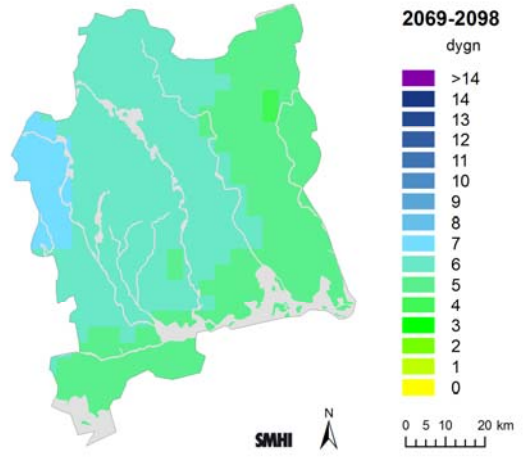
Differens 2021-2050 vs 1961-1990 (dygn)

Differens 2069-2098 vs 1961-1990 (dygn)

Ensemble_pn10mm_2021to2050_DiffUnit : Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



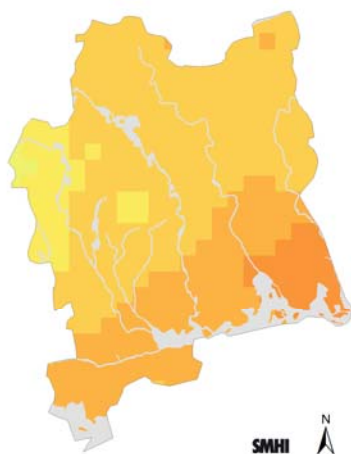
Ensemble_pn10mm_2069to2098_DiffUnit : Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



Bilaga 18 – Antal dygn per år utan nederbörd (<1 mm) (se kap. 5.2.3)

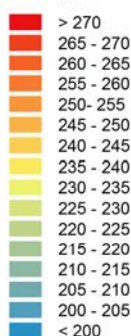
Observerat 1961-1990 (dygn)

OBS_pncdd_1961to1990_Ref_Mean
Antal torra dygn (nederbörd < 1 mm)



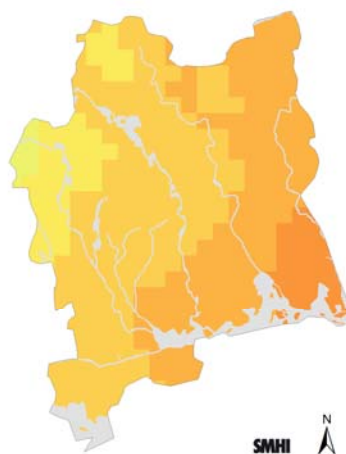
1961-1990

dygn



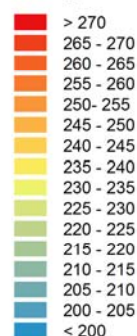
Observerat 1991-2010 (dygn)

OBS_pncdd_1991to2010_Comp_Mean
Antal torra dygn (nederbörd < 1 mm)



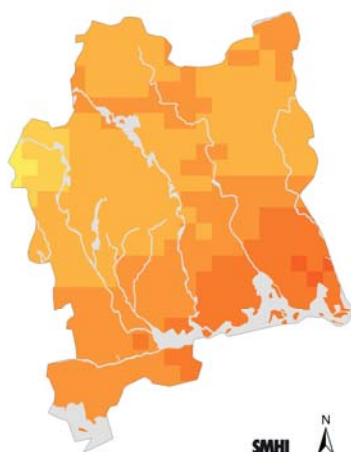
1991-2010

dygn



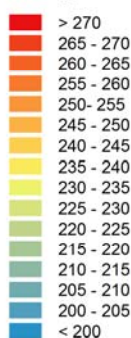
Beräknat 1961-1990 (dygn)

Ensemble_pncdd_1961to1990_Ref_Mean
Antal torra dygn (nederbörd < 1 mm)



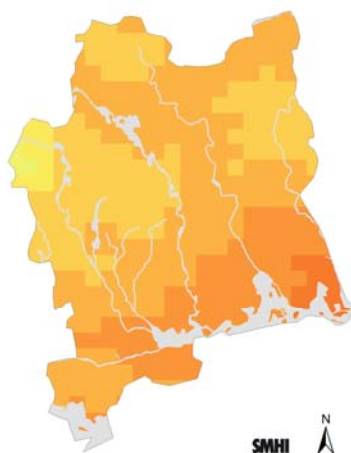
1961-1990

dygn



Beräknat 2021-2050 (dygn)

Ensemble_pncdd_2021to2050_Comp_Mean
Antal torra dygn (nederbörd < 1 mm)



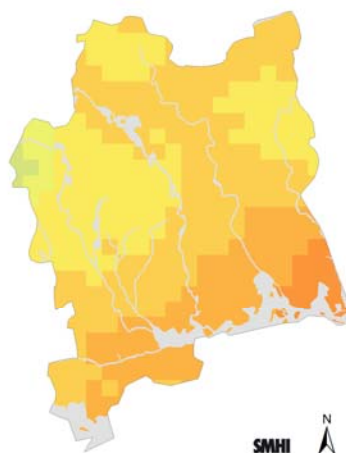
2021-2050

dygn



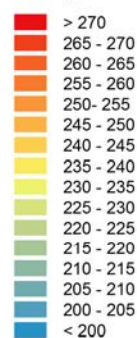
Beräknat 2069-2098 (dygn)

Ensemble_pncdd_2069to2098_Comp_Mean
Antal torra dygn (nederbörd < 1 mm)

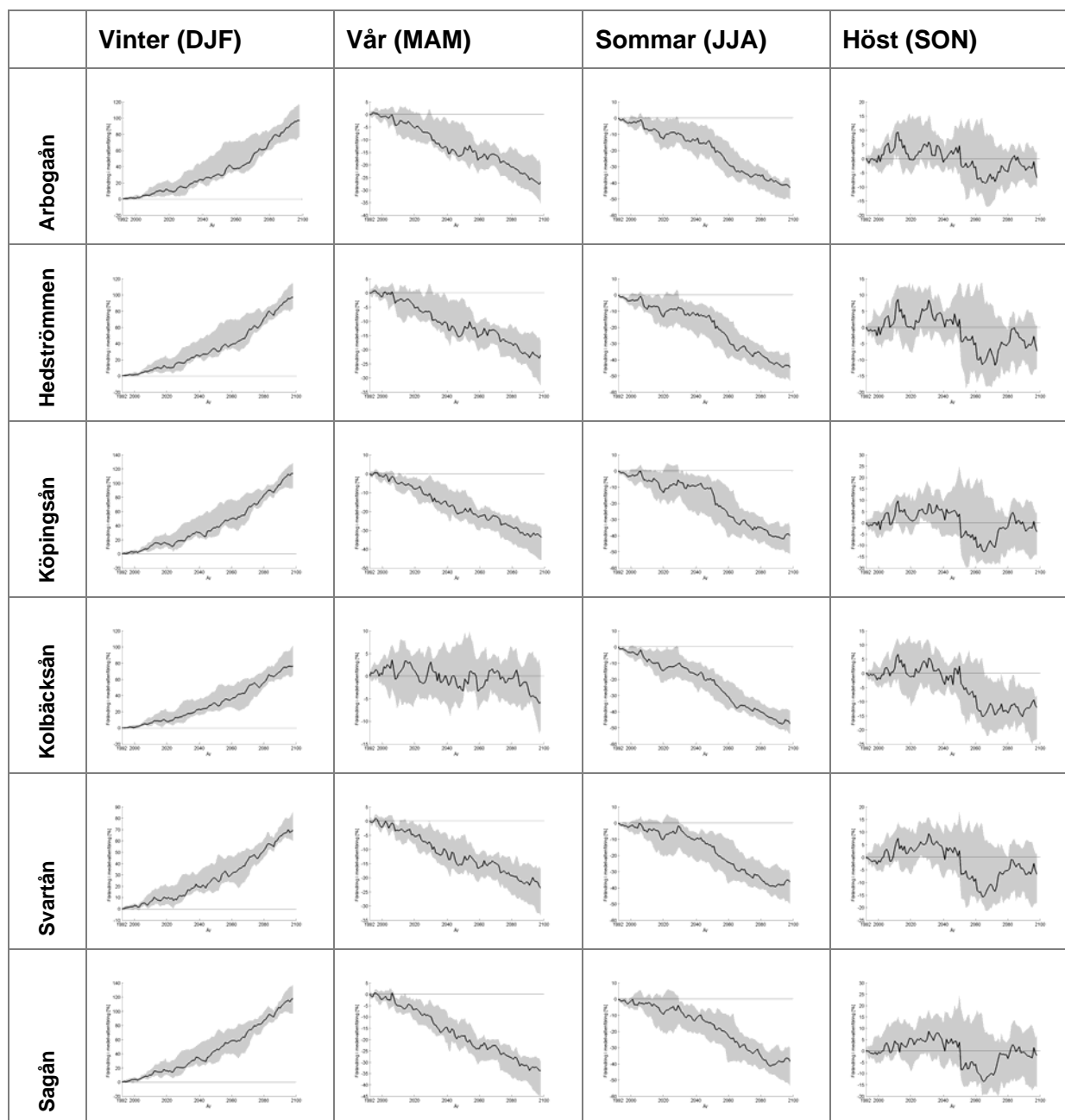


2069-2098

dygn



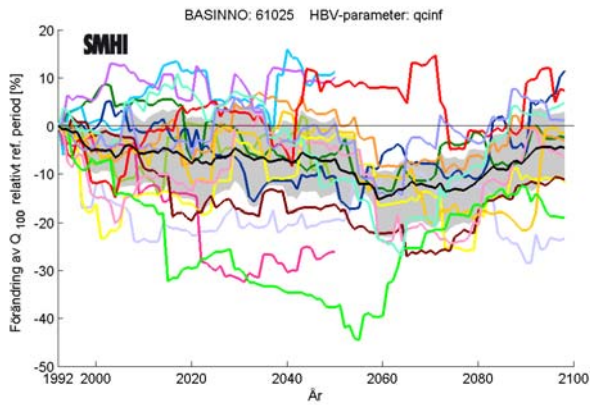
Bilaga 19 – Förändring av säsongmedelvattenföring (%) (se kap. 5.3.2)



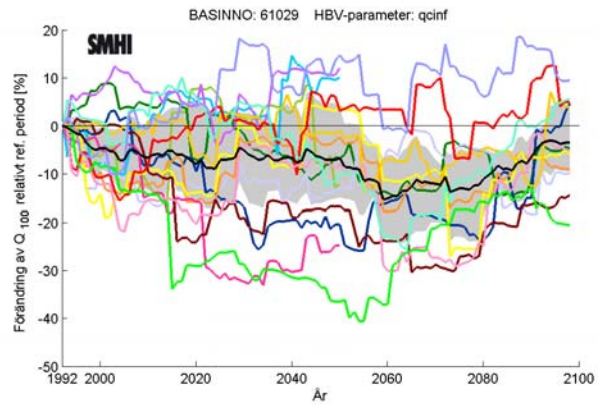
Figureorna visar procentuell förändring i medelvattenföring per säsong 1992-2100 i relation till referensperioden 1961-1992.

Bilaga 20 – Förändring av 100-årstillrinning (se kap. 5.3.3)

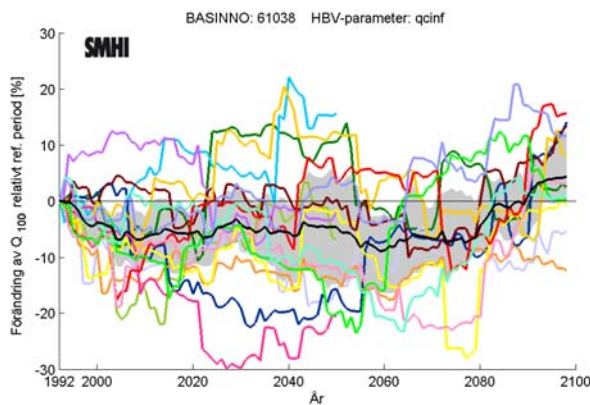
Arbogaån



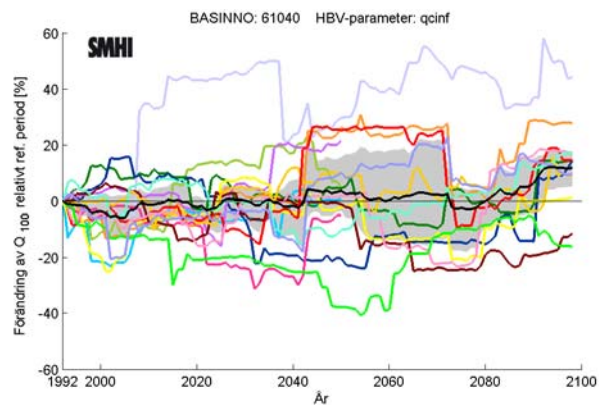
Hedströmmen



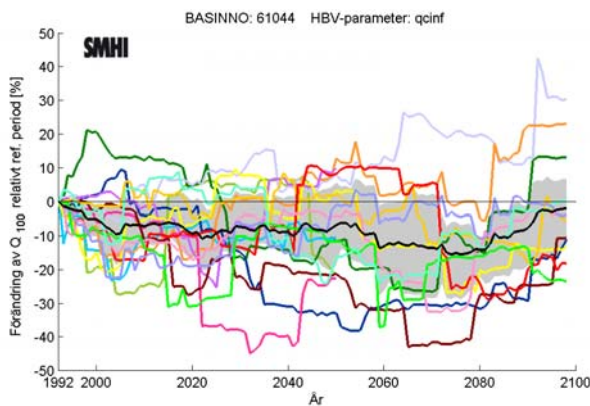
Kolbäcksån



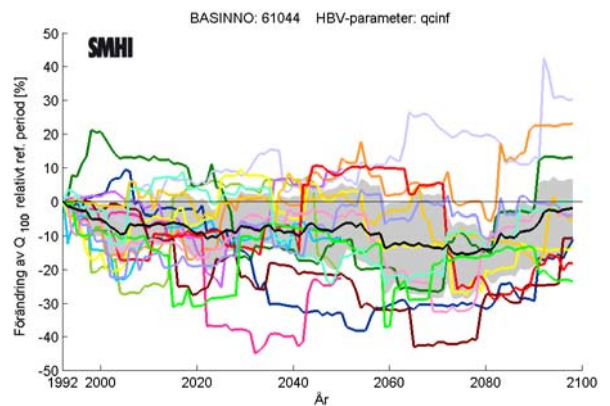
Svartån



Sagån



Köpingsån



- C4I-E53-25-A2
- C4I-HCQ16-25-A1B
- CNRM-AR-25-A1B
- DMI-E53-25-A1B
- HC-HCQ0-25-A1B
- KNMI-E53-25-A1B
- METNO-BCM-25-A1B
- METNO-HCQ0-25-A1B

- MPI-E53-25-A1B
- SMHI-CCSM3-50-A1B
- SMHI-CNRM-50-A1B
- SMHI-E51-50-A1B
- SMHI-E51-50-B1
- SMHI-E52-50-A1B
- SMHI-E53-25-A1B
- SMHI-E53-50-A1B
- Medelvärde



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

VÄSTMANLANDS LÄN

Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys

BILAGA 2 FÖRTECKNING ÖVER POTENTIELLA RISKOMRÅDEN VID FÖRORENADE OMRÅDEN, MILJÖFARLIG VERKSAMHET OCH RISKOBJEKT

Nedan presenteras en sammanställning av de potentiellt förorenade områden, riskobjekt och miljöfarliga verksamheter som behandlas i kapitel 8. Verksamheterna har identifierats med hänsyn till deras geografiska position.

Följande urval har gjorts för respektive naturolyckas påverkansområde.

- Erosion: Objekt inom 50 m från strandlinjen inom erosionsriskområden längs vattendrag i inlandet
- Ras/skred: Objekt inom de områden som har förutsättning för ras och skred
- Översvämning: Objekt inom de markerade områdena för beräknat högsta flöde (Bhf) (MSB:s översvämningskartering)
- Mälarens nivå 1,60m samt 3,10m: Objekt mellan extrema vattennivåer och nuvarande strandlinje (Granberg, 2012, MSB 2012)

Kolumnerna till höger visar vilken/vilka naturolycksrisker som hotar objekten, där 'ja' betyder att risk föreligger.

Riskobjekt

Fem riskobjekt ligger inom områden med förutsättningar för naturolyckor. Ovako Hallstahammar ligger i ett område med förutsättningar för skred/ras, vilket identifierats genom lutningsanalys. Övriga riskobjekt kan drabbas av översvämning vid olika höga vattennivåer. Inga riskobjekt ligger inom områden med förutsättningar för erosion.

Riskobjekt	Ras / skred	Översvämning	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kartbet.
Almer Oil & chemical Storage AB	-	-	-	Ja	S1
Arboga Hårdkrom	-	Ja	-	-	S2
Mälarhamnar AB, Köpings hamn	-	Ja	Ja	Ja	S3
Ovako Hallstahammar	Ja	-	-	-	S4
Surahammars Bruks AB	-	Ja	-	-	S5

Miljöfarlig verksamhet

Miljöfarlig verksamhet A och B som ligger inom område med förutsättningar för naturolyckor redovisas i tabeller nedan. Inga objekt ligger inom områden med förutsättningar för erosion. Samtliga objekt där förutsättningar finns för ras / skred har identifierats genom lutningsanalys.

Miljöfarlig verksamhet A				
Anläggning	Ras / skred	Översvämning	Mälarens nivå 3,10m	Kartbet,
Ruukki Sverige AB	-	Ja	-	A1
Surahammars Bruk AB	-	Ja	-	A2

Miljöfarlig verksamhet B				
Anläggning	Ras / skred	Översvämning	Mälarens nivå 3,10m	Kartbet.
Almer Oil & Chemical Storage AB	-	-	Ja	B1
Arboga avloppsreningsverk refn	-	Ja	-	B2
Arboga Hårdkrom AB	-	Ja	-	B3
Arboga värmeverk	-	Ja	-	B4
Bovallsbäcken	Ja	-	-	B5
Componenta Wirsbo AB	-	Ja	-	B6
Göklundsmossen	Ja	-	-	B7
HVG-stationen	-	-	Ja	B8
Kohlswa Gjuteri AB	-	Ja	-	B9
Kungsörs värmeverk	-	-	Ja	B10
LEAX Mekaniska AB, Nya Hamnväg	-	-	Ja	B11
MR Arbogavagnar AB	-	Ja	-	B12
Mälarhamnar AB, Köpings hamn	-	Ja	Ja	B13
Mälarhamnar AB, Västerås hamn	-	Ja	-	B14
Nytorpsberget	Ja	-	-	B15
Ovako Hallstahammar AB	Ja	-	-	B16
Pressmetall AB	Ja	-	-	B17
Rickardsson Konsult AB	-	Ja	-	B18
Saab Aerotech	-	Ja	-	B19
Sandvik Mining and Constructio	-	Ja	-	B20
Trosa-Svensbomossen	Ja	-	-	B21
Ytstruktur Arboga AB	-	Ja	-	B22
Återbruket Arboga	-	Ja	-	B23
Återbruket Ängsgärdet	-	Ja	-	B24
Återvinningscentralen i Suraha	-	Ja	-	B25

Förorenade områden

Potentiellt förorenade områden med riskklass 1 och 2 som ligger inom område med förutsättningar för naturolyckor visas i tabell nedan. Samtliga objekt där förutsättningar finns för ras / skred har identifierats genom lutningsanalys.

Förorenade och potentiellt förorenade områden							
MIFO riskklass 1							
Objekt	Primär bransch	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Arboga Bygg och Maskinteknik	Skrothantering och skrothandel	-	Ja	-	-	-	F1
Bodycote Hot Isostatic Pressure	Tungmetallgjuterier	-	Ja	-	-	-	F2

Förorenade och potentiellt förorenade områden							
MIFO riskklass 1 (forts.)							
Objekt	Primär bransch	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Bodycote Ytbehandling AB (Kungsörs Galvaniska AB)	Ytbehandling av metaller elektrolytiska/kemiska processer	-	Ja	-	-	-	F3
F d Telveverken	Ytbehandling av metaller elektrolytiska/kemiska processer	-	-	-	-	Ja	F4
Fd AB Ivar Thulin	Anläggning för farligt avfall	-	-	-	-	Ja	F5
Kohlswa Gjuteri AB, delomr. 1 Kohlswa ind.omr.	Tungmetallgjuterier	-	Ja	-	-	-	F6
Kohlsva Industriområde samlingsobjekt	Tungmetallgjuterier	Ja	-	Ja	-	-	F7
Kolsva Värmecentral, delomr. 5 Kohlswa ind.omr.	Förbränningsanläggning	Ja	Ja	-	-	-	F8
Kopparlunden (samlingsobjekt)	Sekundära metallverk	-	Ja	-	-	-	F9
Köpings elektrolytfabrik / Köpings oljerening	Ytbehandling av metaller elektrolytiska/kemiska processer	-	Ja	-	-	-	F10
Oljeön	Oljeraffinaderi	Ja	Ja	-	-	-	F11
P-tvätten/Esso, Munkgatan	Kemtvätt - med lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F12
Ramnässågen	Sågverk med doppning	-	Ja	-	-	-	F13
Strömsholms Impregneringsanläggning	Träimpregnering	-	-	-	-	Ja	F14
Surahammars Bruks Industriomr. samlingsobjekt	Järn-, stål- och manufaktur	-	Ja	-	-	-	F15

Förorenade och potentiellt förorenade områden							
MIFO riskklass 2							
Objekt	Primär bransch	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
AB Kungsörs Bleckkärlsfabrik	Ytbehandling av metaller elektrolytiska/kemiska processer	Ja	-	-	-	-	F16
AB T Holmkvists Mekaniska Verkstad (se Övrigt)	Verkstadsindustri - utan halogenerade lösningsmedel	-	-	Ja	-	-	F17

Föreningar och potentiellt förorenade områden							
MIFO riskklass 2 (forts.)							
Objekt	Primär bransch	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Air Liquid Gas AB	Övrig oorganisk kemisk industri	-	Ja	-	-	-	F18
Arboga Exportaffär Kommanditbolag	Skrothantering och skrothandel	-	Ja	-	-	-	F19
Arboga Hårdkrom AB	Ytbehandling av metaller elektrolytiska/kemiska processer	-	Ja	-	-	-	F20
Arboga Maskiner AB och Arboga Glasbruk AB	Tungmetallgjuterier	-	Ja	-	-	-	F21
ASOMA/ EWF Fastigheter	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F22
Bernshammars bruk	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	Ja	-	-	F23
Bröderna Göransson Elektriska AB	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F24
Bäckebotippen	Industriedeponier	Ja	Ja	-	-	-	F25
Bäckhammaren och Ramnäs kvarn	Järn-, stål- och manufaktur	-	Ja	-	-	-	F26
Cementatippen	Industriedeponier	-	-	-	Ja	Ja	F27
Componenta Wirsbo AB	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F28
Ekorrället	Avfallsdeponier - icke farligt, farligt avfall	Ja	-	-	-	-	F29
Ekudden	Industriedeponier	-	Ja	-	Ja	Ja	F30
Esso oljedepå	Oljedepå	-	Ja	-	-	-	F31
Godkärra hytta	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F32
Hedins vid Allévägen	Sågverk med doppning	-	Ja	-	-	-	F33
Herrevadstippen	Avfallsdeponier - icke farligt, farligt avfall	Ja	-	-	-	-	F34
Hultgrens kemtvätt	Kemtvätt - med lösningsmedel	Ja	-	-	-	-	F35
Intra Mölntorp AB	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	Ja	Ja	-	-	-	F36
Jäders bruk	Järn-, stål- och manufaktur	-	Ja	-	-	-	F37
Jönsarbo bruk	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	Ja	-	-	F38

Föreerade och potentiellt föreerade områden							
MIFO riskklass 2 (forts.)							
Objekt	Primär bransch	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Karmansbo bruk (Norrhammar)	Järn-, stål- och manufaktur	-	Ja	-	-	-	F39
Killinghammar	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F40
Köpings Armatyr (1 av 2)	Tungmetallgjuterier	-	Ja	Ja	-	-	F41
Lögarängen (samlingsobjekt)	Järn-, stål- och manufaktur	-	Ja	-	-	Ja	F42
Mekens tipp	Industriedeponier	-	Ja	-	-	-	F43
Mimerverkstaden	Tungmetallgjuterier	-	Ja	-	-	-	F44
Nordic Brass AB	Tungmetallgjuterier	-	Ja	-	-	-	F45
Nya tagelspinneriet	Kemtvätt - med lösningsmedel	-	Ja	Ja	-	-	F46
Nyhammars bruk	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F47
Näla hammare	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F48
Pressmetall AB	Tungmetallgjuterier	Ja	-	-	-	-	F49
Rallsta varv	Varv med halogenerade lösningsmedel/giftiga båtbottnfärger	-	Ja	-	-	-	F50
Rickardssons Mek. Verkstad	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F51
Runes kemiska tvätt & press	Kemtvätt - med lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F52
Ruukki Sweden AB	Järn-, stål- och manufaktur	-	Ja	-	-	-	F53
Samlingsobjekt Sigurd	Elektroteknisk industri	-	-	-	-	Ja	F54
Sediment Arbogaån nedströms Arboga	Sediment BKL 2	-	Ja	-	-	-	F55
Sediment Köpings hamn/Köpingsviken	Sediment BKL 2	-	Ja	-	Ja	Ja	F56
Sediment Östra Hamnen	Sediment BKL 2	-	Ja	-	Ja	Ja	F57
Sjötullen norra	Avfallsdeponier - icke farligt, farligt avfall	Ja	-	-	-	Ja	F58
Skultuna Gelbgjuteri AB	Tungmetallgjuterier	Ja	-	-	-	-	F59
Stora Aspen-Sediment	Sediment BKL 2	-	Ja	-	-	-	F60
Ställbergs stångjärnshammare	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F61

Förorenade och potentiellt förorenade områden							
MIFO riskklass 2 (forts.)							
Objekt	Primär bransch	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Sundbo hytta	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F62
Tegeludden, Västra diket	Ytbehandling av metaller elektrolytiska/kemiska processer	-	Ja	-	-	Ja	F63
Tvätt-Center	Kemtvätt - med lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F64
Uttersbergs bruk, Östanfors	Järn-, stål- och manufaktur	Ja	-	-	-	-	F65
Varnäs företagen / Sörstafors pappersbruk	Massa och pappersindustri	-	Ja	-	-	-	F66
Wirsbo Bruks AB	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	-	Ja	-	-	-	F67
Västerås Hamn (västra hamnen)	Hamnar - handelstrafik med miljöfarliga varor	-	Ja	-	-	-	F68
Yara AB	Övrig oorganisk kemisk industri	-	-	-	-	Ja	F69
Ångkraftverket	Förbränningsanläggning	-	Ja	-	-	Ja	F70
Östersjön-Sediment	Sediment BKL 2	-	Ja	-	-	-	F71

VÄSTMANLANDS LÄN

Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys

BILAGA 3 DIGITAL LEVERANS AV GIS-SKIKT

Data i ArcGIS shape-format, gdb 9.3. Referenssystem: SWEREF 99 TM, RH2000

Beskrivning	Format	Typ
Redovisningskartor (8 st), Karta 1 (A2, 1:250 000) och 2A-G (A1, 1:50 000).	pdf	Kartdokument
Projektfil innehållande samtliga GIS-lager	mxd	ArcMap projektfil
Förutsättningar för ras och skred: Underlag fr. SGI:s lutnings- och jordartsanalys	Shape	Polygon
Förutsättningar för erosion: Underlag fr. SGI:s översiktliga erosionsinventering av strand och vattendrag (avsedd för skala 1:250 000).	Shape	Linje
Tidigare ras och skred: Underlag: SGI:s skreddatabas och uppgifter från kommuner	Shape	Punkt
Förutsättningar för översvämning i Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån, Kölstaån, Köpingsån, Svartån (Västerås och Hjälmarén): Underlag fr. MSB.	Shape	Polygon
Strandlinjer, Mälarens nivåer; 1.60 m och 3.10 m: Underlag fr. MSB	Shape	Polygon
Vattenskyddsområde: Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Polygon
Föreområden (MIFO Riskklass 1 och 2): Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Punkt
Miljöfarlig verksamhet (A och B-verksamhet): Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Punkt
Miljöfarlig verksamhet; SEVESO-anläggningar: Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Punkt
Exploaterings- och utredningsområden: Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Polygon
Dammar (oklassade): Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Punkt
Flygplatser: Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Punkt
Hamnar: Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Polygon
Bakgrundskarta, flera lager från LM's översiktskarta 2010: Underlag fr. Lst i Västmanland	Shape	Punkt, Linje, Polygon
Symbolik för respektive GIS-skikt	lyr	Symboler

VÄSTMANLANDS LÄN

Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys

BILAGA 4 FÖRTECKNING ÖVER VATTENTÄKTER INOM OMRÅDEN MED FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR NATUROLYCKOR

Nedan presenteras en sammanställning av de vattentäkter som behandlas i kapitel 8 och som är belägna i områden med förutsättningar för naturolyckor. Samtliga vattentäkter där förutsättningar finns för ras / skred har identifierats genom lutningsanalys. Hedströmmen Kolsva ligger dessutom inom 50m från skred registrerat i SGI:s skreddatabas.

Förutsättning för naturolyckor inom vattenskyddsområde						
Vattenskyddsområde	Ras / skred	Över- svämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Frösshammarsön	-	Ja	Ja	-	-	V1
Grundvattentäkt Fågelbacken	Ja	-	-	-	-	V2
Grundvattentäkt Hässlö	Ja	-	Ja	Ja	Ja	V3
Grundvattentäkt Kärsta	Ja	-	-	-	-	V4
Grundvattentäkt Orresta	Ja	-	-	-	-	V5
Grundvattentäkt Tortuna	Ja	-	-	-	-	V6
Guttsta Kolsva	Ja	-	-	-	-	V7
Hallstahammar/Kolbäck/Strömsholm	Ja	Ja	Ja	-	-	V8
Hedkärra	Ja	-	-	-	-	V9
Hedströmmen Kolsva	Ja	Ja	Ja	-	-	V10
Jönsbacken	Ja	-	-	-	-	V11
Karbennings grundvattentäkt	Ja	-	-	-	-	V12
Kölsta	Ja	-	Ja	-	-	V13
Myrbacken Ängelsberg	Ja	-	-	-	-	V14
Rävnäs	Ja	Ja	Ja	-	-	V15
Saxen	Ja	Ja	-	-	-	V16
Skvalbacken	Ja	-	-	-	-	V17
Sofielund Strömsholm	Ja	-	-	-	-	V18
Strö	Ja	Ja	-	-	-	V19
Torpa	Ja	-	-	-	-	V20
Tvärhandsbäcken Knipkälla	Ja	-	-	-	-	V21
Tärna Kumla Kyrkby	Ja	-	-	-	-	V22
Vallby Kolbäck	Ja	Ja	Ja	-	-	V23
Vallrum Sala	Ja	-	-	-	-	V24
Virso-Ramnäs Seglingsber	Ja	Ja	Ja	-	-	V25
Åsbacken Valskog	Ja	-	-	-	-	V26
Åsbo Lungar	-	Ja	Ja	-	-	V27

VÄSTMANLANDS LÄN

Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys

BILAGA 5 FÖRTECKNING ÖVER EXPLOATERINGS- OCH UTREDNINGSMRÅDEN INOM OMRÅDEN MED FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR NATUROLYCKOR

I de fall namn, områdesbeskrivning och beteckning saknats i underlaget har beteckningar ”X..” använts. Beteckningarna återfinns även på Karta 1 och 2, A-G. Så långt det är möjligt är objekten i tabellen sorterade i bokstavsordning enligt förmodade olika utredningsregioner.

Exploaterings- och utredningsområden						
Namn / Område/ Beteckning SGI	Ras / skred	Översvämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
Johannisberg	Ja	Ja	-	Ja	Ja	X1
Kv Alf, Barnhemsgatan/Scheelegatan	-	Ja	-	-	-	X2
Kv Hake	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	X3
Marieberg invid E18	-	Ja	Ja	-	-	X4
Område vid Hemgårdsvägen	Ja	Ja	-	-	-	X5
Östra Västerås	Ja	-	-	-	-	X6
Anundshögsmotet	Ja	-	-	-	-	X7
Erikslund	Ja	-	-	-	-	X8
Hacksta	Ja	-	-	-	-	X9
Hälla	Ja	-	-	-	-	X10
Innanför Cityringen	Ja	Ja	-	Ja	Ja	X11
Kopparlunden	Ja	Ja	-	Ja	Ja	X12
Kvastbruket	Ja	-	-	-	-	X13
Lillhamra	Ja	-	-	-	-	X14
Lillåudden	-	Ja	-	Ja	Ja	X15
Lunda	Ja	-	-	-	-	X16
Långängarna-Gilltuna	Ja	-	-	-	-	X17
Norra Finnsletten	Ja	-	-	-	-	X18
Stationsområdet	Ja	Ja	-	Ja	Ja	X19
Sätra	Ja	-	-	-	-	X20
Öster Mälarstrand	Ja	Ja	-	Ja	Ja	X21
A1	Ja	Ja	Ja	-	-	X22
A2	Ja	-	-	-	-	X23
A3	Ja	Ja	Ja	-	-	X24
A4	Ja	Ja	-	-	-	X25
A5	Ja	Ja	-	-	-	X26
B1	Ja	-	-	-	-	X27
B2	Ja	Ja	-	-	-	X28
B3	Ja	Ja	-	-	-	X29
C1	Ja	Ja	-	-	-	X30
C2	Ja	-	-	-	-	X31

Exploaterings- och utredningsområden (forts.)						
Namn / Område/ Beteckning SGI	Ras / skred	Över- svämning	Erosion	Mälarens nivå 1,60m	Mälarens nivå 3,10m	Kart bet.
C3	Ja	Ja	-	-	-	X32
C4	Ja	-	-	-	-	X33
C5	Ja	Ja	-	-	-	X34
C6	Ja	Ja	-	-	-	X35
C7	Ja	Ja	-	-	-	X36
C8	Ja	Ja	-	-	-	X37
A1a	Ja	-	-	-	-	X38
A1b	Ja	-	-	-	-	X39
A5a	Ja	-	-	-	-	X40
C1a	Ja	-	-	-	-	X41
C2a	Ja	-	-	-	-	X42
C3a	Ja	-	-	-	-	X43
Beteckning saknas	-	Ja	-	-	-	X44
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X45
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X46
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X47
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X48
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X49
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X50
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X51
Beteckning saknas	-	Ja	-	-	-	X52
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X53
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X54
Beteckning saknas	Ja	Ja	-	-	-	X55
Beteckning saknas	Ja	Ja	-	-	-	X56
Beteckning saknas	Ja	Ja	-	-	-	X57
Beteckning saknas	Ja	Ja	Ja	-	-	X58
Beteckning saknas	Ja	Ja	-	-	-	X59
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X60
Beteckning saknas	Ja	-	-	-	-	X61

KARTREDOVISNING, KARTA 1 OCH 2, A-G.

Resultaten av utredningen redovisas som beskrivande text och tillhörande kartor.

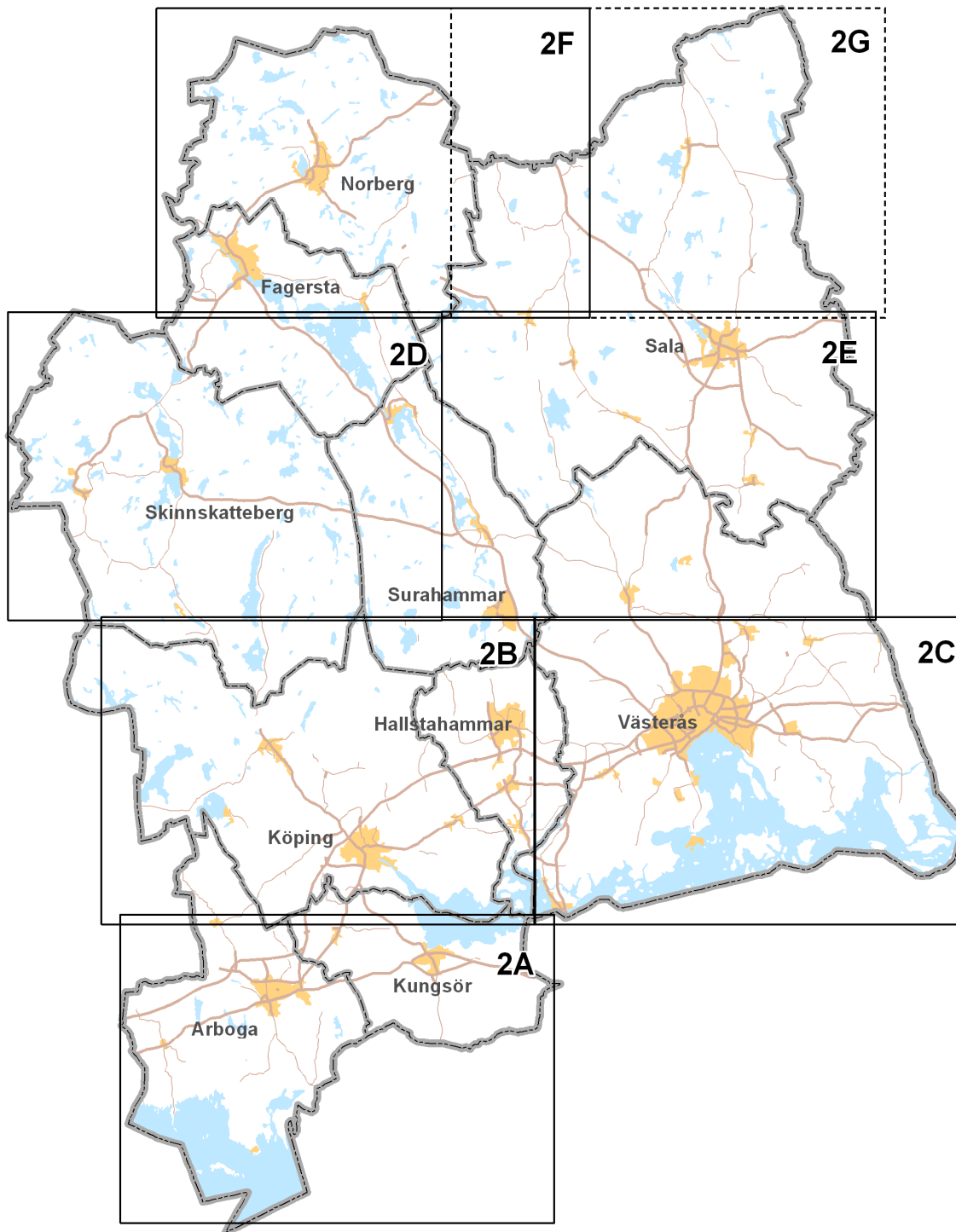
- Karta 1 och 2, A-G.
- Karta 1 är utförd i skala 1:250 000 och är avsedd för utskrift i format A2.
- Karta 2, A-G är utförda i skala 1:50 000 och avsedda för utskrift i format A1.

Karta 0 nedan visar bladindelningen för Karta 2, A-G.

Kartorna i avsedd skala liksom hela rapporten finns tillgängliga som pdf-filer på länsstyrelsens hemsida.

Redovisade områden och förhållanden på kartorna är anpassade till utredningens översiktliga nivå. Kartorna bör därför inte förstoras till annan detaljeringsgrad.

Kartmaterialet är producerat i GIS-skikt för olika analysdelar och en förteckning över dessa finns i Bilaga 3. Som underlagskarta i analysen och för redovisning har använts Lantmäteriets översiktskarta, vilken tillhandahållits av länsstyrelsen.



Karta 0 Bladindelning för Karta 2, A-G