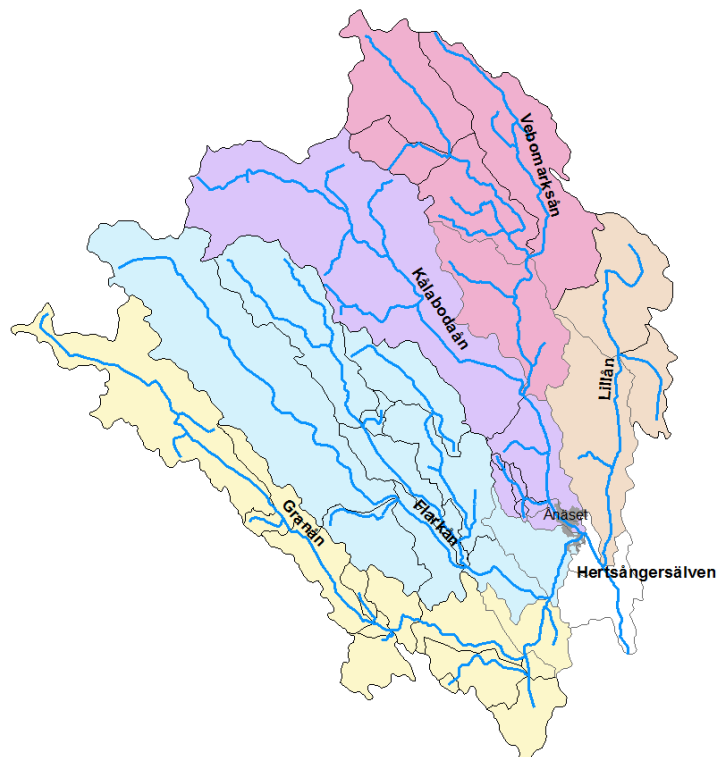


Modellering av grundvattennivåer och hydrologiska effektstudier i Hertsångersälvens avrinningsområde – enligt RCP-scenarier

Julia Zábori, Johan Temnerud och Dorothée Vallot



Uppdragsinformation

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Kontaktperson Julia Zábori Tel 011-4958279 E-post:julia.zabori@smhi.se
Uppdragsgivare Länsstyrelsen Västerbotten 901 86 Umeå	Kontaktperson Amanda Löfdahl E-post: amanda.lofdahl@lansstyrelsen.se
Uppdragsgivare Sveriges geologiska undersökning Box 670, 751 28 Uppsala	Kontaktperson Marina Becher E-post: Marina.Becher@sgu.se
Distribution Länsstyrelsen Västerbotten, Amanda Löfdahl SGU, Marina Becher	
Klassificering Affärssekretess	
Nyckelord Hertsångersälven, sura sulfatjordar, grundvattennivå förändringar	
Övrigt	

Sammanfattning

Inom Hertsångersälvens avrinningsområde finns områden med sura sulfatjordar. Vattendrag som avvattnar dessa jordar kan ha en ekologisk och kemisk status som är sämre än god. Problematiken med sura sulfatjordar uppstår genom en relativ snabb syresättning som leder till oxidation, uppkomst av svavelsyra och frigöring av metaller, samt uttransport till vattenmiljön. Syresättningen av sura sulfatjordar kan förutom dikning och torrläggning av våtmarker och annan fuktig mark även uppstå genom årliga variationer i grundvattennivåer. I denna rapport presenteras hur den lokala tillrinningen från sura sulfatjordar förändras i framtida klimat samt hur möjligheten av oxidation pga. låga grundvattennivåer förändras i framtida klimat. Vidare redogörs för olika åtgärder som kan höja grundvattennivåerna och därmed bidra till att minska oxidationen i sura sulfatjordar.

Antalet dagar med låga grundvattennivåer kommer att minska och den lokala årsmedelvattenföringen öka, mellan 1-20 % beroende på utsläppsscenario och beroende av den undersökta perioden (1990-2019 som referensperiod). Det tröskelvärde av grundvattennivån som kan leda till ökad oxidation av sura sulfatjordar testades med tre alternativa åtgärder. A- ökning av våtmarksdelen med 10%, B- göra vattendrag och diken 15 cm grundare samt C- ta bort markdräneringen. En ökning av andelen våtmarker i området påverkade inte tröskelvärdet. De båda alternativen att grunda upp vattendrag och diken respektive att ta bort markdränering gav dock en viss, om än marginell, ökning av grundvattennivåerna och därmed färre dagar under tröskelvärdet i ett framtida klimat.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	4
2	BAKGRUND	4
3	GENERELLA RESULTAT FÖR NORRA SVERIGE - LITTERATURSTUDIE	5
4	METOD	7
4.1	Hydrologisk modell	7
4.2	Hertsångersälvens avrinningsområde	7
4.3	Klimatscenarier	9
4.4	Osäkerheter	10
4.5	Bestämning av lokal avrinning från sura sulfatjordar	10
4.6	Simulering av lägsta grundvattennivåerna över perioden 1990- 2019	11
4.7	Beräkning av torrdagar	11
4.8	Test effekt av åtgärder på grundvattennivåer	11
5	RESULTAT	13
5.1	Lokal avrinning från sura sulfatjordar historisk period	13
5.2	Lokal avrinning från sura sulfatjordar framtida klimat	13
5.3	Lägsta grundvattennivåer 1990-2019	16
5.4	Torrdagar i framtida klimat	17
5.5	Åtgärder mot låga grundvattennivåer	19
5.5.1	Åtgärd A: Våtmarker (+10%)	19
5.5.2	Åtgärd B: Grundare vattendrag och diken (<15 cm)	22
5.5.3	Åtgärd C: Utan markdränering	25
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	28
7	REFERENSER	30
8	BILAGA	32

1 Inledning

Länsstyrelsen i Västerbotten och SGU, Sveriges Geologiska Undersökning, deltar i ett Interreg Botnia-Atlantica projekt vid namn KLIVA, i samverkan med intressenter i Sverige och i Finland. Utifrån ett avrinningsområdesperspektiv ska det undersökas vilka effekter klimatförändringen har på vattenbalansen samt på utlakningen av metaller från sura sulfatjordar. Projektet ska bidra till att öka förståelse hos jordbrukare och skogsbranschen hur ett framtida klimat kan påverka "deras" avrinningsområde samt stimulera till klimatanpassade åtgärder.

Medan rapporten "Klimatpåverkan i Hertsångersälvens avrinningsområde – enligt RCP scenarierna" (Zábori och Vallot, 2020) beskriver hur tillrinningen inom Hertsångersälvens avrinningsområde förändras i ett framtida klimat, beskriver denna rapporten hur klimatförändringen kan påverka grundvattennivåerna och hur grundvattennivåerna kan förändras vid tillämpning av olika åtgärder. Låga grundvattennivåer bidrar till förutsättningarna för oxidation av sura sulfatjordar och kan därmed bidra till en försämrad ekologiskt och kemisk status av vattendragen.

2 Bakgrund

Särskilt i Västerbotten och Norrbotten finns det förekomst av sura sulfatjordar som påverkar den ekologiska och kemiska statusen av vattendrag negativt. Sura sulfatjordar bildas i grunda och syrefattiga bottensediment i havet. Genom landhöjningen kommer dessa jordar upp till ytan. Hastigheten av landhöjningen är störst för områden som har haft det tjockaste istäcket under istiden. Den maximala landhöjningen med 1 cm / år ligger enligt Steffen & Wu (2011) i närheten av Umeå. När det syrefattiga bottensedimentet kommer i kontakt med syre, börjar oxidationen. Själva syresättningen kan ske genom olika processer. En långsam syresättning sker genom själva landhöjningen. Snabbare syresättning däremot sker genom dikning för att avvattna landytor, samt genom torrläggning av sjöar och våtmarker. Sura sulfatjordar delas normalt in i två typer: Potentiell sur sulfatjord som bildas i ett första steg och faktiskt eller aktiv sur sulfatjord som bildas ur potentiell sur sulfatjord. Potentiell sur sulfatjord utvecklas i syrefattiga bottensediment och blir delvis syresatt (pH värde högre än 4) och genom en fortsatt syresättning utvecklas småningom aktiva sura sulfatjordar (pH värde lägre än 4). Redan potentiella sura sulfatjordar kan påverka ekosystemet negativt. Inte bara låga pH värde kan ställa till ekologiska problem. Svavelsyran som bildas efter oxidationen kan lösa metaller i jorden (till exempel aluminium, kadmium, nickel) som ytterligare minskar den ekologiska statusen av ett vattendrag. (Åberg, 2017)

Hertsångersälven i Robertsfors kommun är bland de större vattendrag längs Norrlandskusten troligen kraftigast påverkat av sura sulfatjordar. Den stora påverkan i Hertsångersälvens avrinningsområde kan kopplas till stora torrläggningar av sjöar och våtmark på 1900-talet (Åberg, 2017). Under 2000-talet gjordes det flera provtagningar för att kvantifiera pH, konduktivitet och koncentrationen av metaller i Hertsångersälvens avrinningsområde och därmed utröna påverkan från sura sulfatjordar. Det observerades att Hertsångersälvens övre del påverkades obefintligt av sura sulfatjordar medan den nedre delen påverkades lite till mycket (Åberg, 2019). En utförligt beskrivning av metodiken och resultat för de olika delavrinningsområdena i Hertsångersälven finns i Åberg (2019).

Processer runtomkring försurningen och påverkan på vattenlevande organismer är mycket komplicerat och ska inte behandlas i denna studie. Däremot ges en indikation av hur problematiken av sura sulfatjordar i Hertsångersälvens avrinningsområde skulle kunna

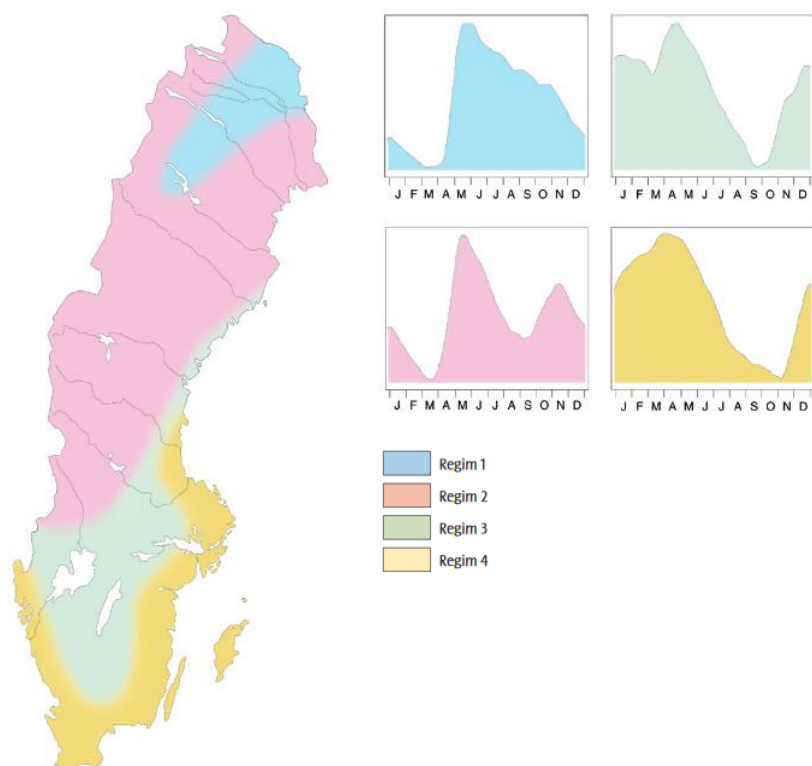
utveckla sig i framtida klimat. I ett första steg presenteras lägsta modellerade grundvattennivåer för perioden 1963-2019. Vidare undersöks ändringar av tillrinningar från sura sulfatjordar i förändrade klimat, potentiell utveckling av grundvattennivåer i framtida klimat, samt hur åtgärder som anläggning av våtmark och ändringar av dikets djup kan förändra låga grundvattennivåer i framtida klimat. Grundvattennivåer undersöks då det kan antas att oxidation av sura sulfatjordar förekommer under perioder med låga grundvattennivåer.

3 Generella resultat för norra Sverige - litteraturstudie

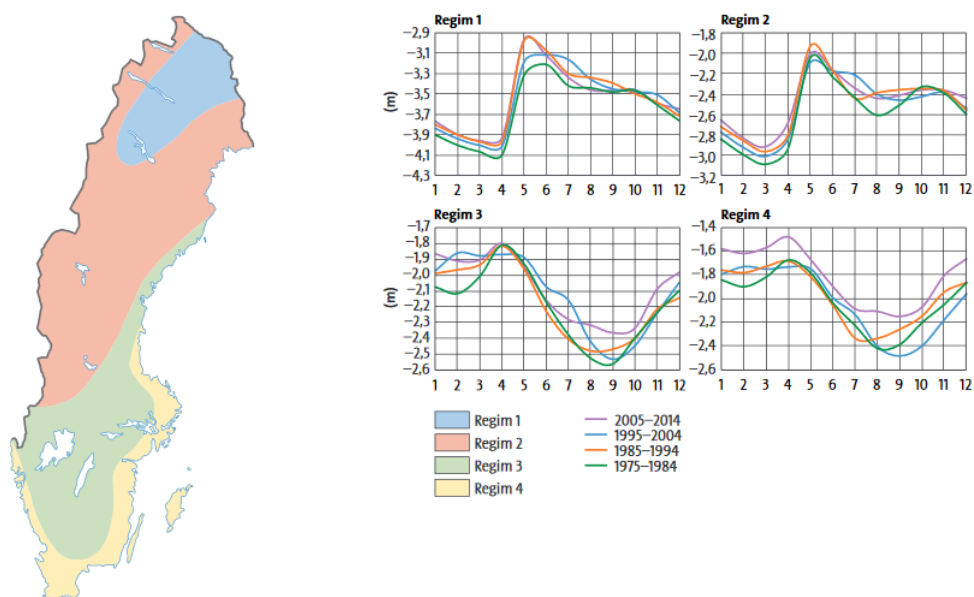
SGU har publicerat ett flertal rapporter om klimatscenariers effekter på grundvattennivåer i Sverige, här presenteras utdrag från två av dem.

Lagergren (2015) delade Sveriges grundvattenregimer in i fyra olika regimer beroende på de hydrologiska och klimatologiska förutsättningarna. Indelningen gjordes för snabbreagerande grundvattenregim och med data från Grundvattennätet (Figur 1-2). Enligt kartan som visar indelningen i de fyra olika grundvattenregimer ligger Hertsångersälvens avrinningsområde på gränsen mellan regim 2 och regim 3.

Vikberg m.fl. (2015) simulerade grundvattennivåförändringar för snabbreagerande grundvattenmagasin med S-HYPE. S-HYPE versionen som användes i Vikberg m.fl. (2015) är en tidigare version jämfört med den som användes inom denna rapporten. Generellt såg Vikberg m.fl. (2015) att årsmedelvärden av grundvattennivåerna öka i norra Sverige. Ökningen är tydligast för perioden 2069-2098 och tydligare för RCP8,5 jämfört med RCP4,5. Vikberg m.fl. (2015) belyser även förändringen av grundvattennivåerna under året. Det förväntas att i norra Sverige en ökning av grundvattennivåerna sker under de första månader av året på grund av en förändring i nederbörden och en förskjutning av snösmältningen till tidigare på året. Under sommarmånader förväntas en ökning av avdunstningen som inte kan kompenseras av de förhöjda grundvattennivåerna inom vinter/våren. En ökning av grundvattennivåerna kan även förväntas under hösten när nederbörden faller som regn och även fortsätter att falla som regn i början av vintern. Vikberg m.fl. (2015) antar att de högsta och lägsta grundvattennivåerna i norra Sverige öka och att grundvattennivåernas amplitud blir mer utjämnat.



Figur 1. Figur 1 kopierad från Lagergren (2015). Regimkarta för år 2012 och karaktäristiska månadsmedelvärden av grundvattennivåer för de olika områdena. Data baseras på SGU:s grundvattennätet och avser snabbreagerande grundvattenmagasin, som vanligtvis utgörs av morän.



Figur 2. Figur 6 kopierad från Lagergren (2015). Månadsmedelvärden för tidsperiod 1975–1984, 1985–1994, 1995–2004 och 2005–2014 i olika regimområden.

4 Metod

4.1 Hydrologisk modell

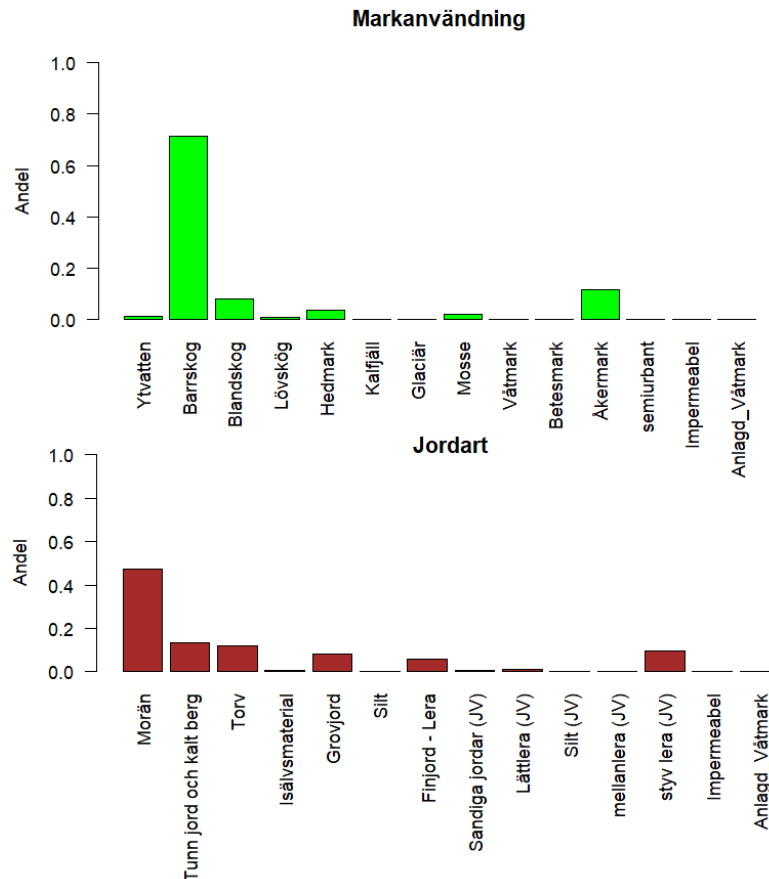
Beräkningarna av tillrinningar från sura sulfatjordar och grundvattennivåerna i framtida klimat gjordes med den hydrologiska avrinningsmodellen HYPE (Lindström m.fl., 2010) för Hertsångersälvens avrinningsområde. Alla hydrologiska modeller måste anpassas till mätdata av vattenföring (kalibreras) för att ge användbara resultat. HYPE-modellen har ett stort antal parametrar som behöver anges och anpassas till lokala förhållanden. De flesta parametrarna är kopplade till antingen jordart eller markanvändning. De bestäms inte lokalt för varje mätpunkt, utan för grupper av små, homogena typområden av dominerande karaktär, t.ex. barrskog på moränjordar, eller jordbruk på lera, så kallade soil landuse classes (SLC). S-HYPE är en uppsättning av HYPE för hela Sverige indelat i ett stort antal små delavrinningsområden. Det gör det möjligt att beräkna vattenföring även på platser där det saknas mätningar, men kalibreringen är en kompromiss över ett stort antal stationer, och alltså inte lokalt kalibrerad mot enskilda stationer (Strömquist m.fl., 2012). Jordarter som är inlagda i S-HYPE baseras för icke jordbruksmark på SGU:s jordartsdatabas och för jordbruksmarken på den Digitala Åkermarkskartan från Jordbruksverket / SLU. Markanvändningsdata är hämtade från Jordbruksverkets Blockdatabas, Svensk Marktäckedata och Svenskt Vattenarkiv. För beräkningarna inom Hertsångersälven extraherades en delmodell av S-HYPE.

4.2 Hertsångersälvens avrinningsområde

I modellen är Hertsångersälvens avrinningsområde indelat i 44 delområden (Figur 3). Hela avrinningsområdet har en storlek på 506 km², minsta och största delområdet har en storlek av 0,3 km² respektive 79 km². Vattendrag inom Hertsångersälven är Granån (uppströmsarea 93 km²), Flarkån (uppströmsarea 249 km²), Kålabodaån (uppströmsarea 194 km²), Vebomarksån (uppströmsarea 99 km²) och Lillån (uppströmsarea 50 km²). I Flarkåns uppströmsarea ingår även Granån och i Kålabodaåns avrinningsområde ingår även Vebomarksåns avrinningsområde. Största andelen av markanvändningen i hela Hertsångersälvens avrinningsområde är barrskog (72%), följt av åkermark (12 %), blandskog (8 %) och hedmark (4%) (se Figur 4). Resten fördelar sig mellan mosse, lövskog, ytvatten, våtmark, betesmark, semiurban yta och impermeabel yta. Jordarten som dominerar är 48 % morän, följt av 14 % tunn jord och kalt berg, 12 % torv, 10 % silt, 8 % grovjord, 6 % finjord och lera (Figur 4). Resten fördelar sig mellan isälvsmaterial, sandiga jordar, lättlera och impermeabel yta. Medelhöjden av uppströmsarean är 83 m och sjöandelen är 1 % av hela avrinningsområde. Under perioden 1963-1992 observeras i medel högsta tillrinningen under våren följt av låga sommarflöden, högre höstflöden och lägre vinterflöden (Zábori och Vallot, 2020). Karakteristiskt för området är att vårfloeden orsakas av snösmältning och låga flöden under vintermånader orsakas av att nederbörden som faller ackumuleras som snö.



Figur 3. Hertsångersälvens avrinningsområde med delavrinningsområden, 1 Hertsångersälvens mynning i havet, 2 Flarkåns mynning i Hertsångersälven, 3 Kålabodaåns mynning i Hertsångersälven, 4 Vebomarksåns mynning i Kålabodaån, 5 Lillåns mynning i Hertsångersälven, 6 Granåns mynning i Flarkån. Svarta linjer markera alla 44 delavrinningsområden inom Hertsångersälven enligt S-HYPE. För rödmarkerade områden presenteras stapeldiagram i rapporten.



Figur 4. Andel av markanvändning och jordart i Hertsångersälvens avrinningsområde enligt S-HYPE.

4.3 Klimatscenarier

Klimatets utveckling i framtiden beror på hur atmosfärens innehåll av växthusgaser förändras. För att kunna studera framtidens klimat behövs antaganden om hur utsläppen av växthusgaser kommer att bli. I följande analyser används två Representative Concentration Pathway (RCP) scenarier, RCP4.5 som bygger på begränsade utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp. Tabell 1 beskriver vilka antaganden som ligger till grund för scenarierna.

Tabell 1. Antaganden som ligger till grund för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

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

För denna studie användes samma klimatscenarier som användes i rapporten ” Framtidsklimat i Västerbottens län- enligt RCP-scenarier” (Berglöv m. fl., 2015). Klimatscenierna och metodiken finns mer detaljerad beskriven i Sjökvist m.fl. (2015).

4.4 Osäkerheter

Vid tolkning av analyserna är det viktigt att ha i åtanke att det finns stora osäkerheter i studier av framtida klimat (se Sjökvist m.fl., 2015).

I denna studie användes två RCP scenarier som inte är prognoser för framtida utsläpp. Framtida utsläpp kan se annorlunda ut, beroende av vårt mänskliga beteende. Ett mått av osäkerhet fås genom att använda sig av två olika utsläppsscenarier. RCP8.5 motsvarar en fossilintensiv framtid med höga utsläpp medan RCP4.5 förutsätter starka utsläppsminskningar.

Klimatmodeller använder förenklingar av klimatsystemet, inte alla detaljer av klimatsystemet kan beskrivas. Även om samma utsläppsscenarier används av olika klimatmodeller kan det ge olika resultat pga. variationer i modellstrukturer. Det är därför man använder sig av resultat från flera klimatmodeller och beräknar medelvärden över alla.

Det finns även en naturlig variabilitet i klimatsystemet som klimatmodeller inte kan simulera. Tolkning av tidsserier ska därför koncentrera sig till långsiktiga trender med analys av medelvärden och variabiliteten under en längre tidsperiod.

Data från klimatmodeller har en alltför grov upplösning för att kunna driva den hydrologiska modellen. Nedskalning med stöd av en regional klimatmodell och korrigering av drivdata ger dock möjlighet att även driva den regionalt kalibrerade hydrologiska modellen. Hade det funnits hydrologiska observationer i de studerade vattendragen skulle en anpassning av den hydrologiska modellens lokala kalibreringsparametrar sannolikt förbättrat modellprestandan ytterligare. Detta betyder även att absoluta grundvattennivåerna som nämns inom rapporten inte är tillförlitliga och inte ska användas.

4.5 Bestämning av lokal avrinning från sura sulfatjordar

SMHI erhöll rasterbild från SGU med klassning av sura sulfatjordar (SSJ) och information om aktiv SSJ på potentiell SSJ användes för analysen. Tif-bilden var daterad 28 november 2019 och hade cellstorleken 20 x 20 meter (pixel). Andel area av respektive klass per

delavrinningsområde togs fram. Den lokala avrinningen per delområde modellerades och andelen vattenföring som härstammar från aktiva på potentiella SSJ beräknades. I ett första steg beräknades årsmedel för avrinningen per delområde för perioden 1990-2019. För att driva den hydrologiska modellen användes interpolerade data av uppmätt nederbörd och lufttemperatur. Vi har ingen kännedom hur andelen av aktiv på potentiell SSJ förändrar sig i framtiden. Andelen av aktiv på potentiell SSJ antogs därför som oförändrad för beräkningar som gjordes med klimatscenarierna. Det betyder att en förändring som observeras i framtida klimat inte går tillbaka till en utökad andel av SSJ i delområden. I ett nästa steg beräknades förändringen av den lokala avrinningens årsmedel för perioden 2021-2050 och 2069-2098 under användning av RCP4.5 och RCP8.5. Resultat presenteras per delområde i kartform.

4.6 Simulering av lägsta grundvattennivåerna över perioden 1990-2019

För varje delområde simulerades dagliga grundvattennivåer med historiska nederbörds- och temperaturdata under perioden 1990-2019. Årslägsta dygnsvärden av grundvattennivåerna blev fastställt och sammanställt i stapeldiagram. Även om det behövs tid för oxidation i SSJ så kan diagrammen indikera år med minskad vattenkvalité. För klimatscenarierna är det missledande att presentera stapeldiagram med årslägsta dygnsgrundvattennivå på grund av den naturliga variabiliteten i klimatsystemet.

4.7 Beräkning av torrdagar

Dygnsvärden av grundvattennivån (meter under markytan) modellerades för varje delavrinningsområde i Hertsångersälvens avrinningsområde. För att få ett mått på vad som ansågs vara låga grundvattennivåer, som kan leda till en ökad oxidation av potentiella SSJ, beräknades, i samråd med Länsstyrelsen och SGU, tröskelvärde till att vara medianen av årsmedelvärdet av grundvattennivån per delavrinningsområde för tidsperioden 1990-2019 för respektive RCP. De dagar som hade lägre grundvattennivå än tröskelvärde ansågs vara torrdagar, och medel över årsumman beräknades per delavrinningsområde. Detta beräknades för referensperioden (1990-2019) samt de olika framtidsperioderna (2021-2050 och 2069-2098) med klimatscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Resultat presenteras i form av kartor från Hertsångersälvens avrinningsområde.

4.8 Test effekt av åtgärder på grundvattennivåer

Tre åtgärder att försöka höja grundvattennivåerna inom avrinningsområdet bedömdes vara rimliga att utföra (Lindström 2019, Stensen m.fl. 2019a, Stensen m.fl. 2019b). Dessa ändringar gjordes separat i indatafilerna för HYPE och modellen kördes om, en åtgärd (A, B eller C) i taget modellerades. Antalet torrdagar beräknades enligt föregående kapitel och med samma tröskelvärden, alltså samma som de beräknade utan åtgärder.

- A Ökning av andelen våtmark med 10 %. För att totalarean inte ska öka krävs att övrig markanvändning minskar. Dessutom måste andelen av delavrinningsområdet som våtmarken får vatten ifrån definieras. Andelen av arean som våtmarken får vattnet ifrån sattes till 0,30 av den totala delavrinningsarean. Anlagd våtmark i modellen har en generell avbördningskurva som bestämmer utflödet från våtmarken. I samråd med Länsstyrelsen och SGU föreslogs följande prioriteringsordning för minskning av annan markanvändning. Analysen är teoretisk i syfte att förstå vad anläggande av våtmarker kan få för effekt på grundvattennivåer. Analysen bygger inte på ett ställningstagande

från myndigheterna om vilken markanvändning som ska minska om en våtmark anläggs, för detta behövs en närmare analys av lokala förhållanden:

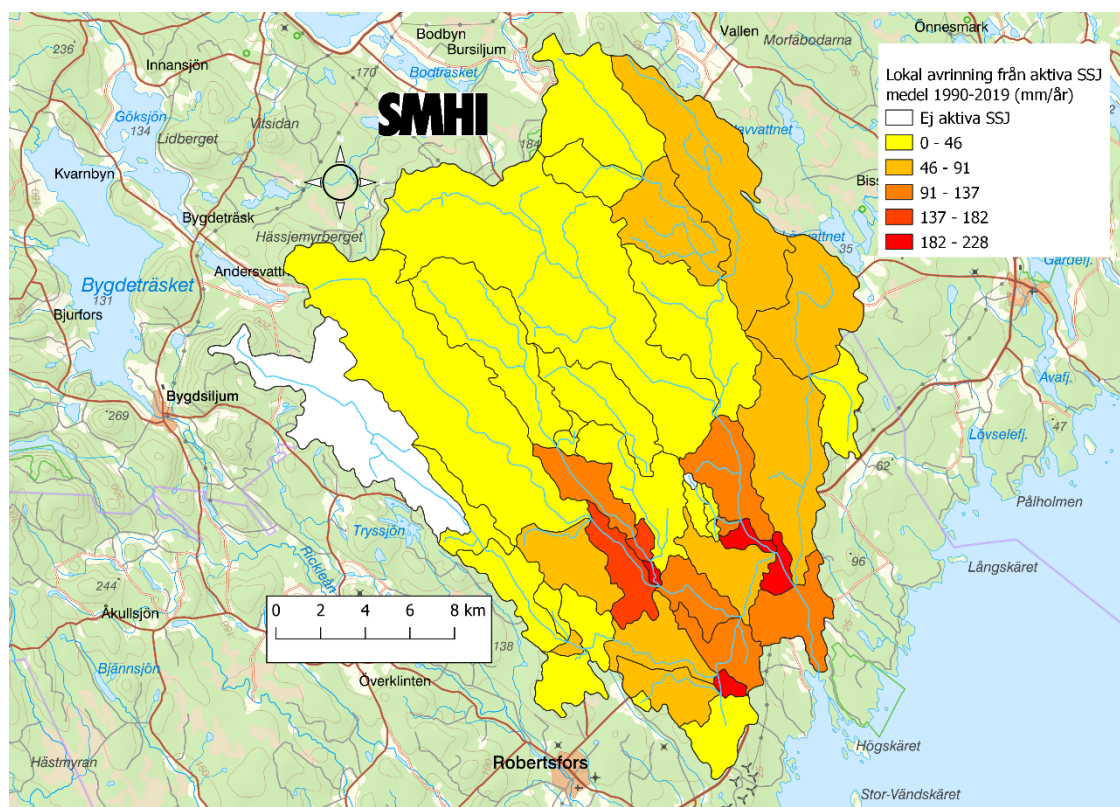
1. Minska andelen åkermark med maximalt 1%,
2. minska lövskog + blandskog med 4,5%. Arean av lövskog + blandskog får minskas med upp till 10%,
3. om ovanstående (A1+A2) inte räcker: Minska andelen barrskog.

- B Som beskrivs i Stensen m.fl. (2019b) är det i S-HYPE inte möjligt att skilja mellan vattendrag och diken. Det testades att minska vattendragens och dikens djup med 15 cm för delområden som representera en delvis igenläggning av diken.
- C I S-HYPE finns markdränering inlagd i modellen för markanvändning barrskog på jordarterna torv och finjord/lera. Dessutom finns markdränering inlagd för markanvändning åkermark. Alla markdräneringar blev borttagna för att testa påverkan på torrdagar.

5 Resultat

5.1 Lokal avrinning från sura sulfatjordar historisk period

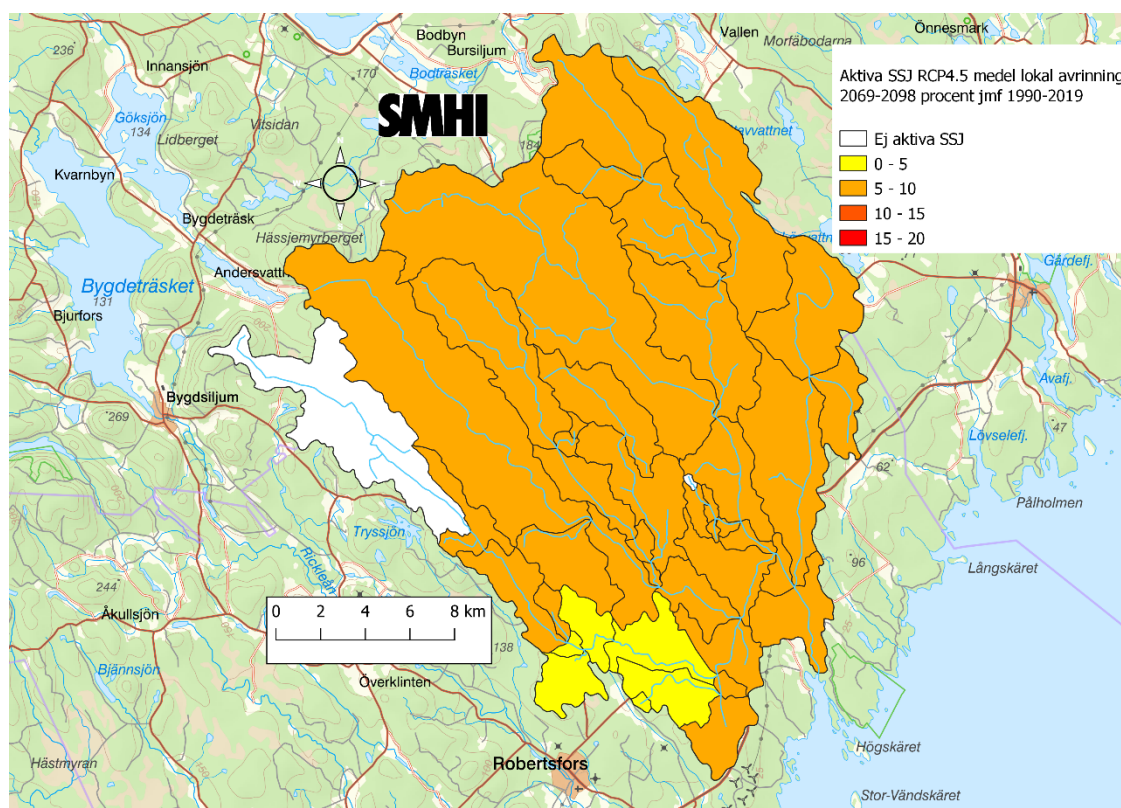
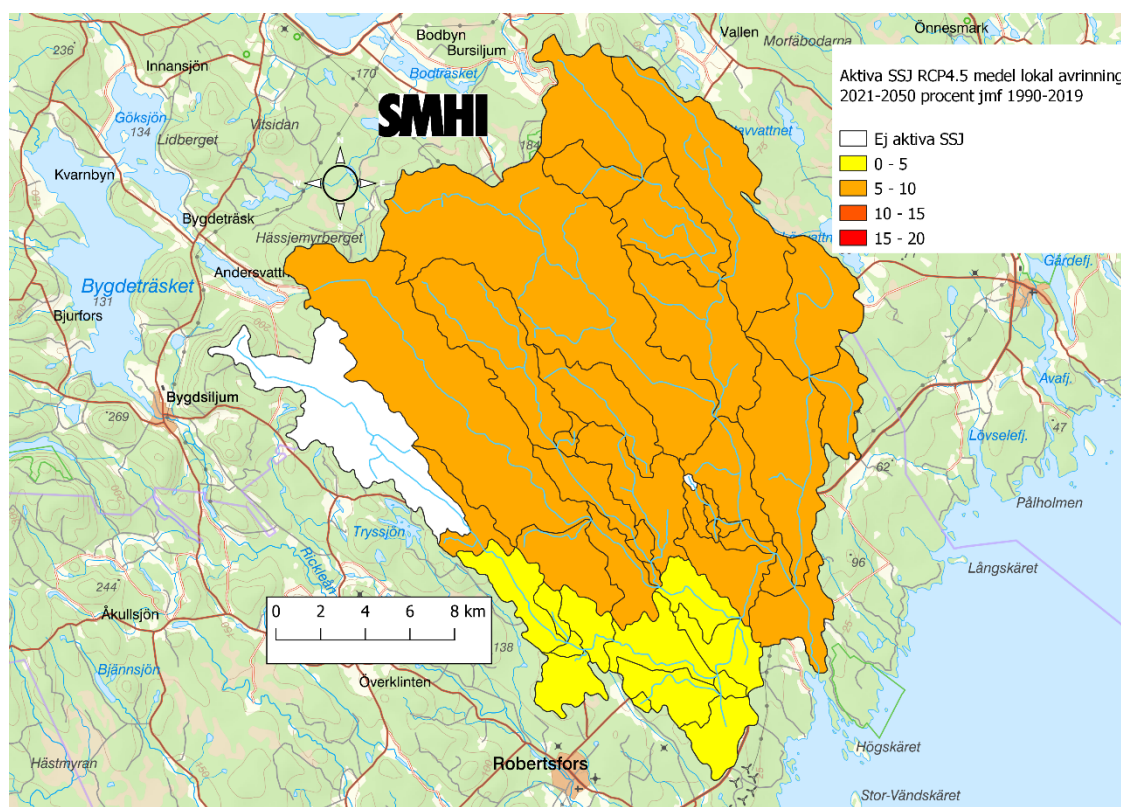
I Figur 5 visas den lokala avrinningen som kommer från aktiv SSJ på potentiell SSJ per delområde. Medel av årssumman under 1990-2019 varierade mellan <1mm/år till 228 mm/år. Inom de vita delområdena på kartan finns inga aktiva på potentiella SSJ. Det syns att den lokala avrinningen är större i nedströmsliggande områden samt i östra delen av Hertsångersälvens avrinningsområde.



Figur 5. HYPE modellerad lokal avrinning från aktiv sura sulfatjordar (SSJ) på potentiell SSJ, medel för 1990-2019 (mm/år).

5.2 Lokal avrinning från sura sulfatjordar framtida klimat

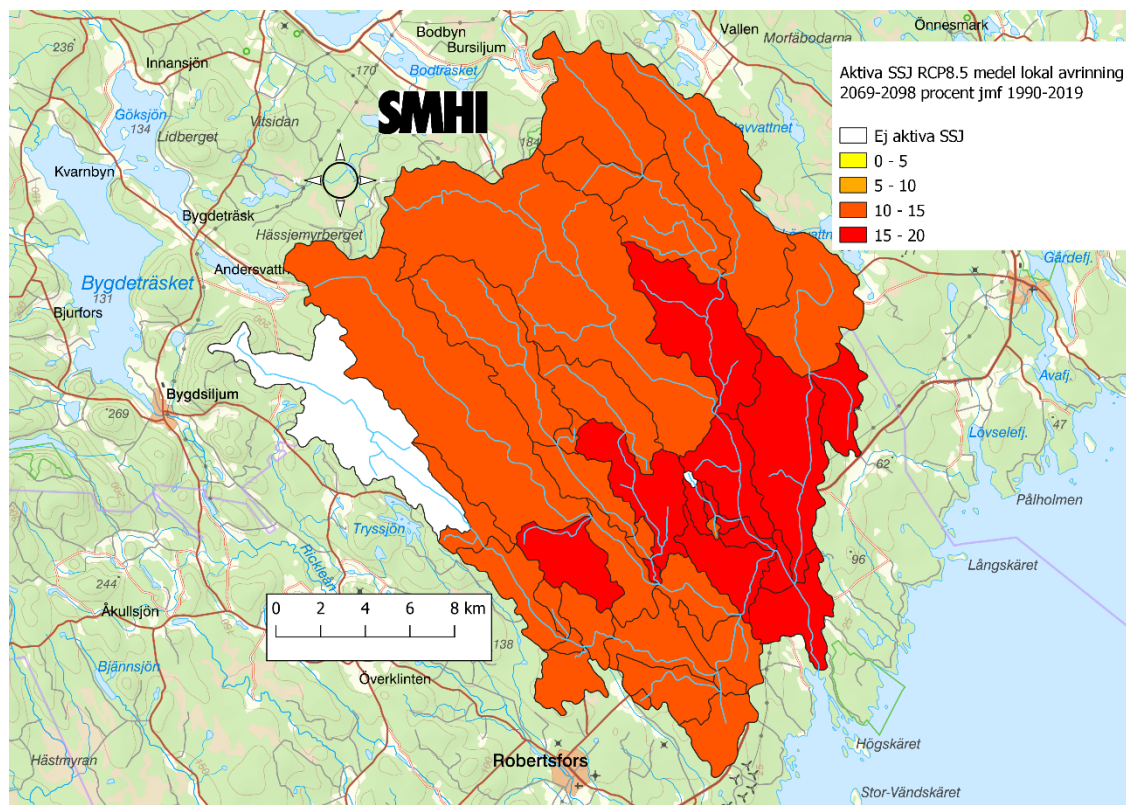
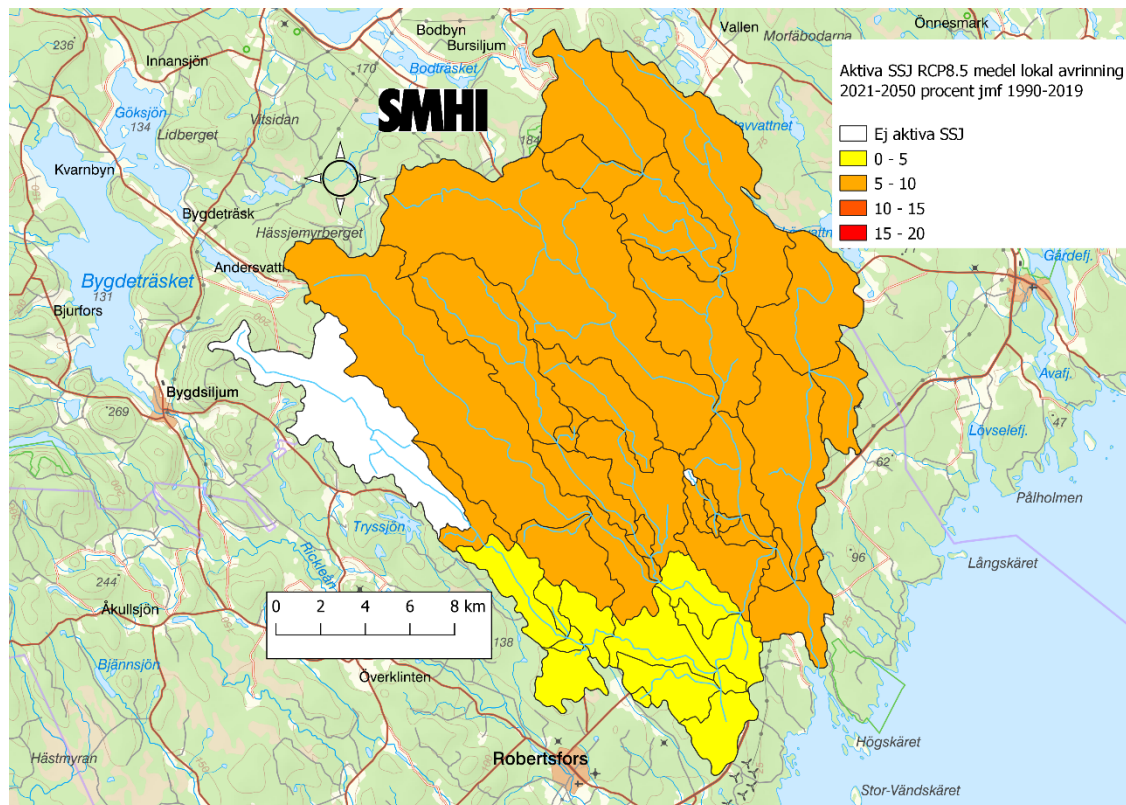
I Figur 6 visas den beräknade procentuella förändring av den lokal vattenföringen mellan 1990-2019 och 2021-2050 samt med 2069-2098 för RCP4.5. Jämfört med referensperioden observeras en ökning av lokal avrinning från SSJ med 1-10% för båda framtidsperioder. För framtidsperioden 2021-2050 visar främst Granåns mest nedströmsliggande områden en ökning mellan 1-5% medan resten av avrinningsområdet visar en ökning mellan 5-10%. För perioden 2069-2098 ökar även avrinning för några av Granåns områden till mellan 5 och 10%.



Figur 6. Procentuell förändrad lokal avrinning för aktiv sura sulfatjordar (SSJ) på potentiell SSJ, mellan 1990-2019 jämfört med tidsperiod 2021-2050 övre och med tidsperiod 2069-2098 nedre, RCP4.5.

För RCP8.5 liknar förändringen under perioden 2021-2050 förändringen som fastställdes för RCP4.5. Samma delområden visar identisk förändring mellan 1-5%, som är mest i Granåns mest nedströms liggande delområden samt mellan 5-10% i resterande områden (Figur 7). För den

senare perioden 2069-2098 för RCP8.5 beräknades den lokala vattenföringen öka mellan 10-20%. Ökningen sker i alla delområden.

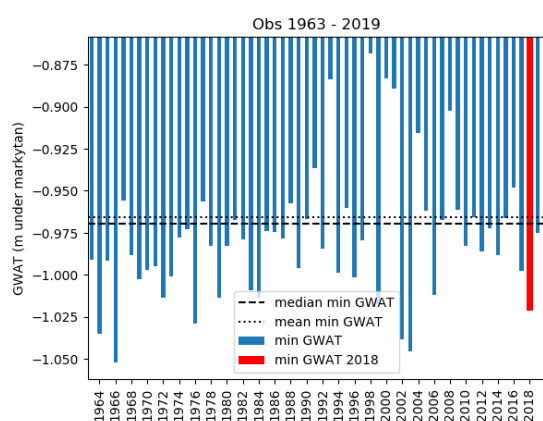


Figur 7. Procentuell förändrad lokal avrinning för aktiv sura sulfatjordar (SSJ) på potentiell SSJ, mellan 1990-2019 jämfört med tidsperiod 2021-2050 övre och med tidsperiod 2069-2098 nedre, RCP8.5.

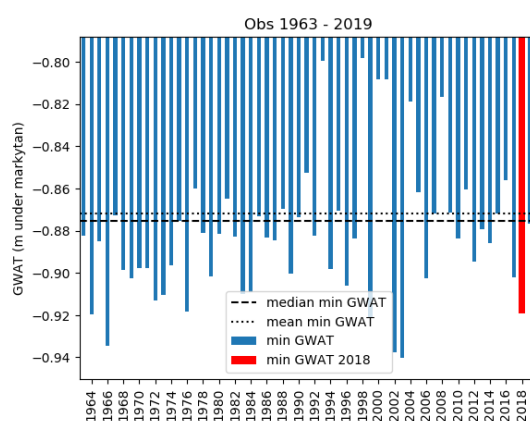
5.3 Lägsta grundvattennivåer 1990-2019

Årslägsta grundvattennivåer för perioden 1963-2019, med medelvärde och median för 1990-2019 visas i Figur 8 (för de rödmarkerade områden som visas i Figur 3). Medianen av lägsta grundvattennivåer visas genom en prickad linje och medel visas genom en streckad linje. Stapeln som är rödmarkerad visar lägsta grundvattennivån år 2018. År 2018 var ett år med mycket låga vattenflöden under sommaren och hösten. En indikation för att modellen är kapabel att återskapa de förhållande är att inom alla utvalda delområden låga grundvattennivåer för år 2018 blir simulerat. Grundvattennivåerna blir även lägre för åren 1966, 2002 och 2003. Det ska betonas att absoluta värden av grundvattennivåerna är osäker.

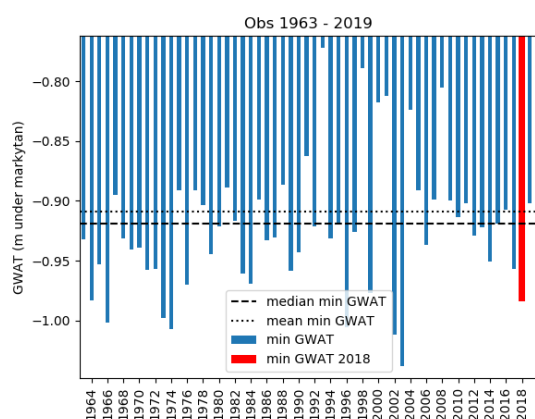
Granåns mynning i Flarkån



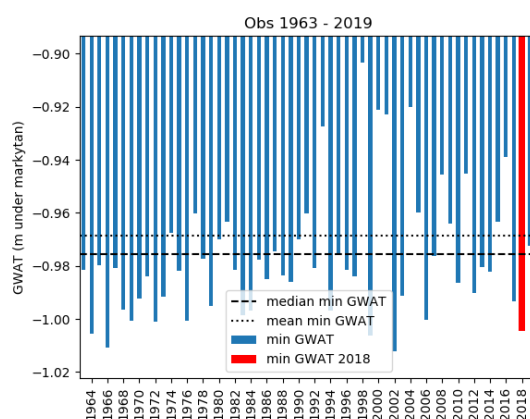
Flarkåns mynning i Hertsångersälven



Vebomarksåns mynning i Kålabodaån

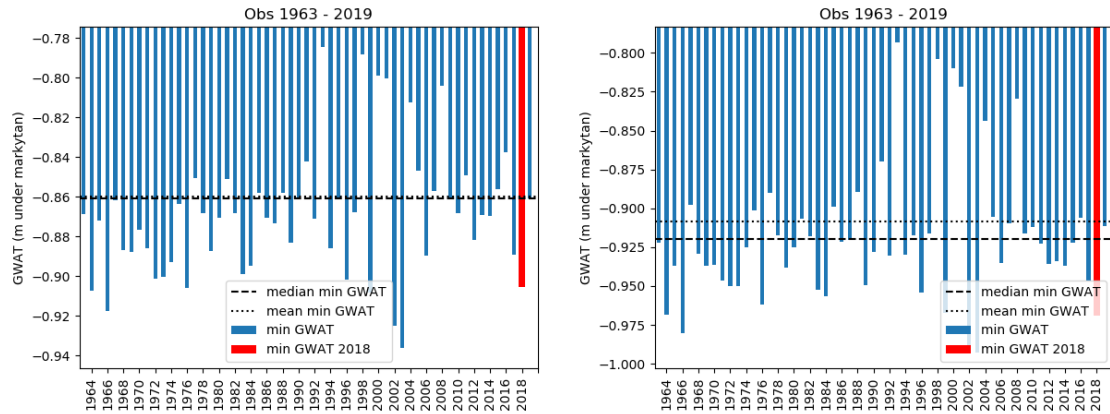


Kålabodaåns mynning i Hertsångersälven



Lillåns mynning i Hertsångersälven

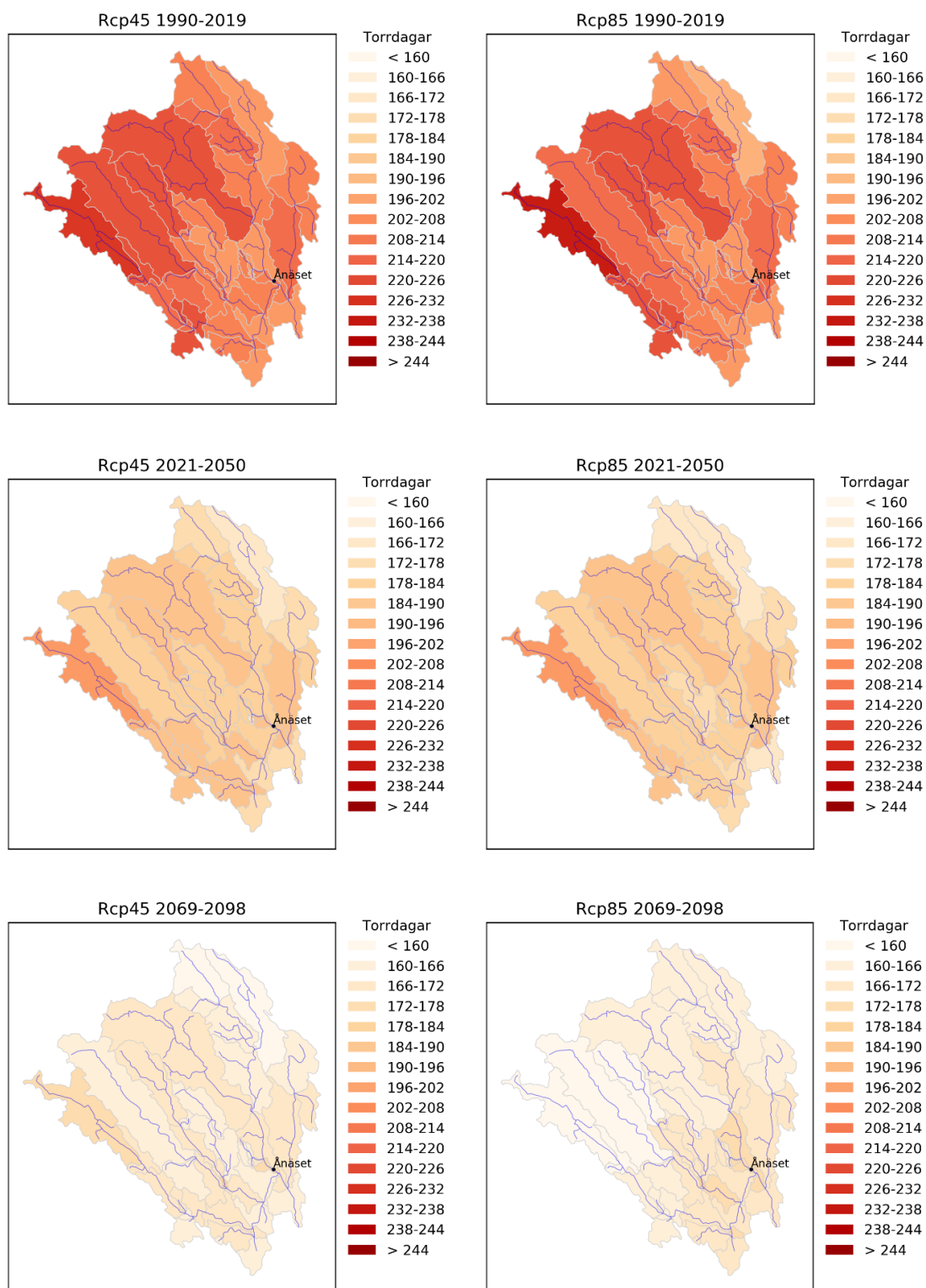
Hertsångersälvens mynning i havet



Figur 8. Årlägssta grundvattennivå, horisontella linjer avser medelvärde och median för perioden 1990-2019, år 2018 som var ett extremt torrt år är röd markerat.

5.4 Torrdagar i framtida klimat

Tröskelvärde, medianen av årsmedelvärdet för alla delavrinningsområden inom perioden 1990-2019, för grundvattennivåer beräknades till ca -0,67 m under markytan (Tabell 2, Bilaga), värdena var snarlika för både RCP4.5 och RCP8.5. Inom Figur 9 presenteras årsmedel av antal dagar med grundvattennivåer lägre än tröskelvärde för de olika tidsperioderna och klimatscenarierna. Värdena varierade mellan 150 till 230 dagar. För både RCP4.5 och RCP8.5 indikeras att antalet torrdagar har snarlikt antal dagar och geografiskt mönster för perioderna 1990-2019 och 2021-2050. Uppströmsområdet av Granån sticker ut med att ha ett stort antal dagar under tröskelvärde, medan Vebomarksåns uppströmsområde har en relativ liten andel av dagar under tröskelvärde. För 2069-2098 indikeras att antalet torrdagar minskar. För RCP4.5 sker minskningen generellt i hela Hertsångersälvens avrinningsområde medan minskningen för RCP8.5 är kraftigare i de nordvästra delarna. Minskningen av antalet dagar under tröskelvärde stämmer överens med ökningen av den lokala avrinningen för perioden 2021-2050 och 2069-2098 (se Figur 7). Det förväntas att grundvattennivåerna förhåller sig på ett likadant sätt som avrinningen. Om avrinningen ökar förväntar man sig också att grundvattennivåerna stiger i snabbreagerande magasin.



Figur 9. Medelvärde av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde. Kartorna på vänster sida visar resultat för RCP4.5. Kartorna på höger sida visar resultat för RCP8.5. Första raden presenterar perioden 1990-2019, andra raden perioden 2021-2050 och sista raden perioden 2069-2098.

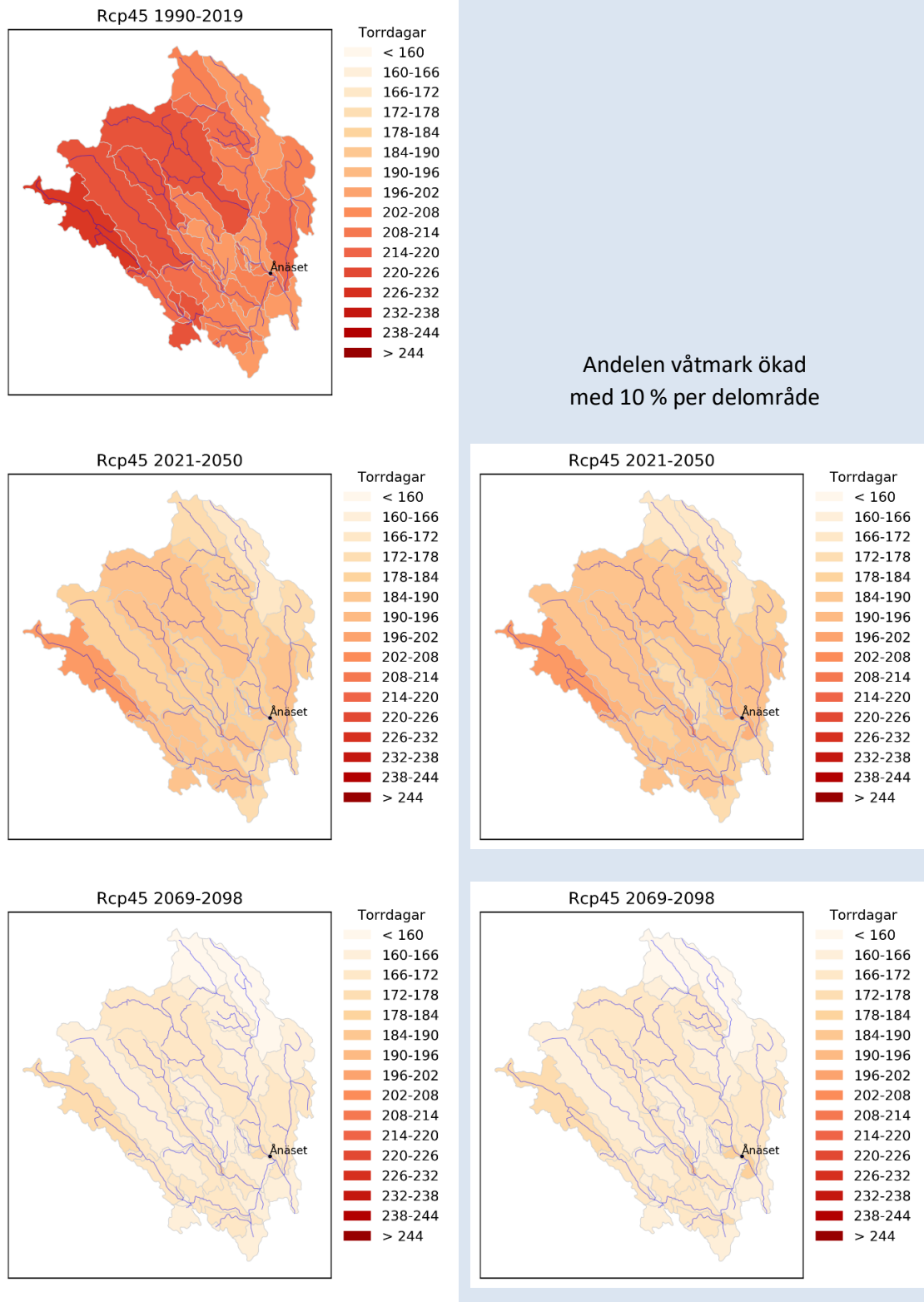
5.5 Åtgärder mot låga grundvattennivåer

För att kunna bedöma hur antalet dagar under tröskelvärde förändras i framtida klimat om åtgärder genomförs användes samma tröskelvärde som i *Figur 9*, dvs inga åtgärder under perioden 1990-2019. I följande avsnitt presenteras resultat för hur antalet dagar under tröskelvärde förändras om A - Andelen våtmark ökas med 10 % per delområde, om B - Vattendrag och diken blir 15 cm grundare respektive C - Om all markdränering tas bort.

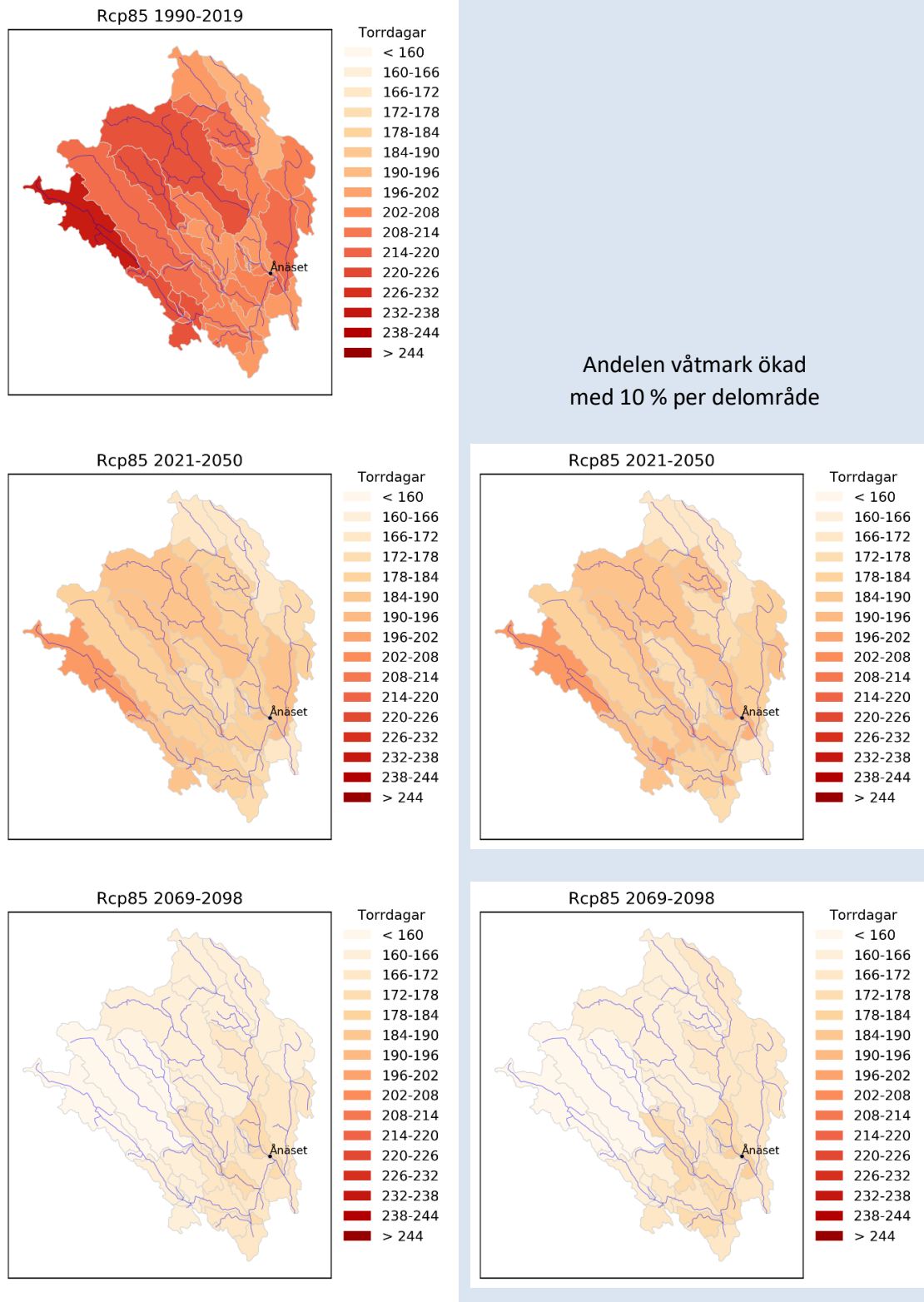
5.5.1 Åtgärd A: Våtmarker (+10%)

I *Figur 10* presenteras antalet dagar under tröskelvärde för RCP4.5. På vänster sida ses antal dagar under tröskelvärde utan åtgärder och på höger sida visas antal dagar under tröskelvärde med en ökning av våtmark med 10 % per delområde. Varken under perioden 2021-2050 eller under perioden 2069-2098 ses en tydligt skillnad i antalet dagar under tröskelvärde om andelen våtmark ökas med 10 %. I enstaka delområden kan dock en mycket liten ökning registreras.

I *Figur 11* presenteras antalet dagar under tröskelvärde för RCP8.5. På vänster sida ses antal dagar under tröskelvärde utan åtgärder och på höger sida visas antal dagar under tröskelvärde med en ökning av våtmark med 10 % per delområde. Som för RCP4.5 kan ingen tydlig skillnad mellan antalet dagar under tröskelvärde observeras. Detta gäller för båda framtidsperioderna.



Figur 10. Medelvärde av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde för RCP4.5. Kartorna på vänster sida visar resultat utan en ökning av anlagd våtmark med 10 %. Kartorna på höger sida visar resultat för antalet torrdagar med en ökning av anlagd våtmark med 10 % per delområde. Under perioden 1990-2019 ökades inte andelen av anlagda våtmark.

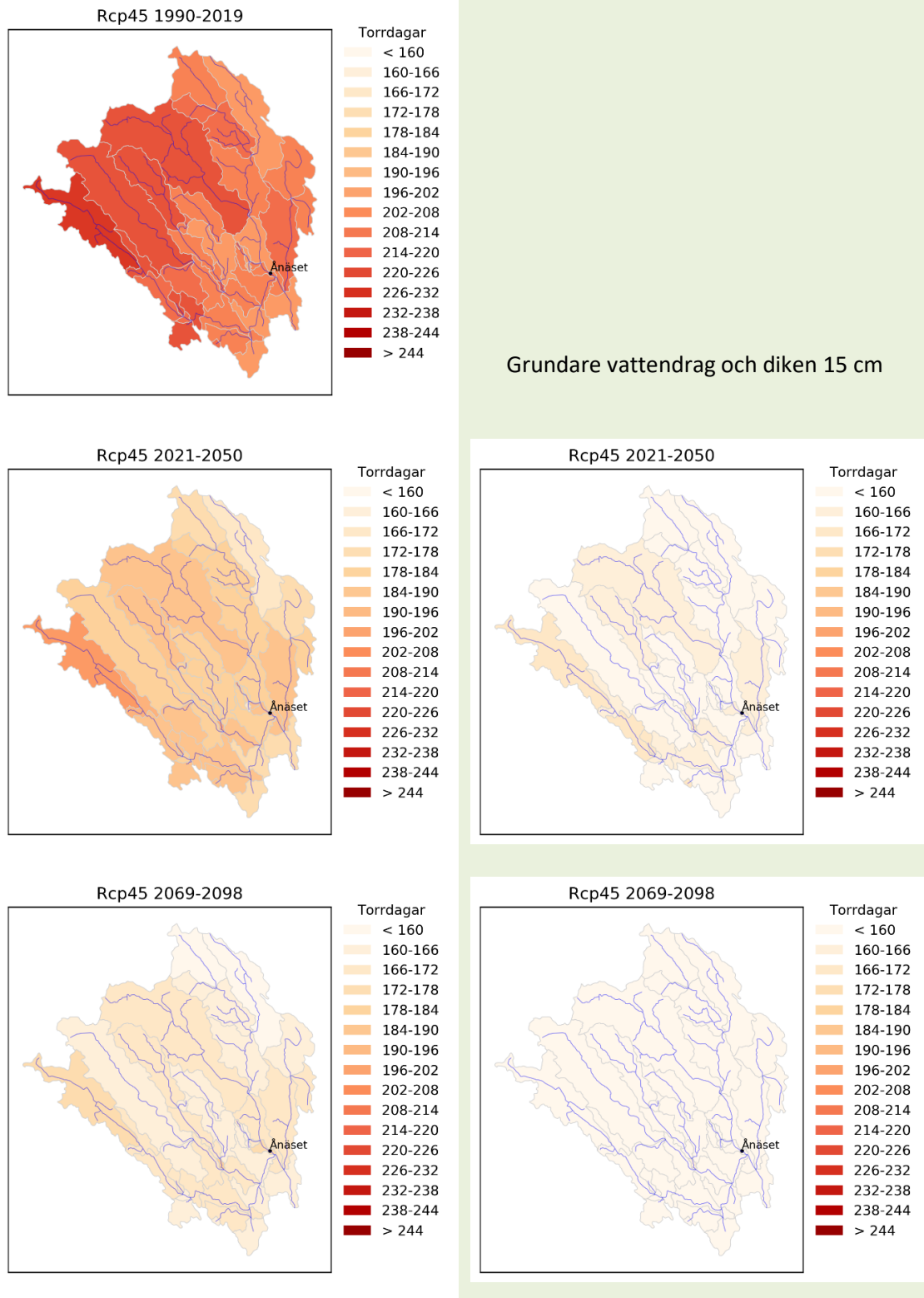


Figur 11. Medelvärde av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde för RCP8.5. Kartorna på vänster sida visar resultat utan en ökning av anlagd våtmark med 10 %. Kartorna på höger sida visar resultat för antalet torrdagar med en ökning av anlagd våtmark med 10 % per delområde. Under perioden 1990-2019 ökades inte andelen av anlagda våtmark.

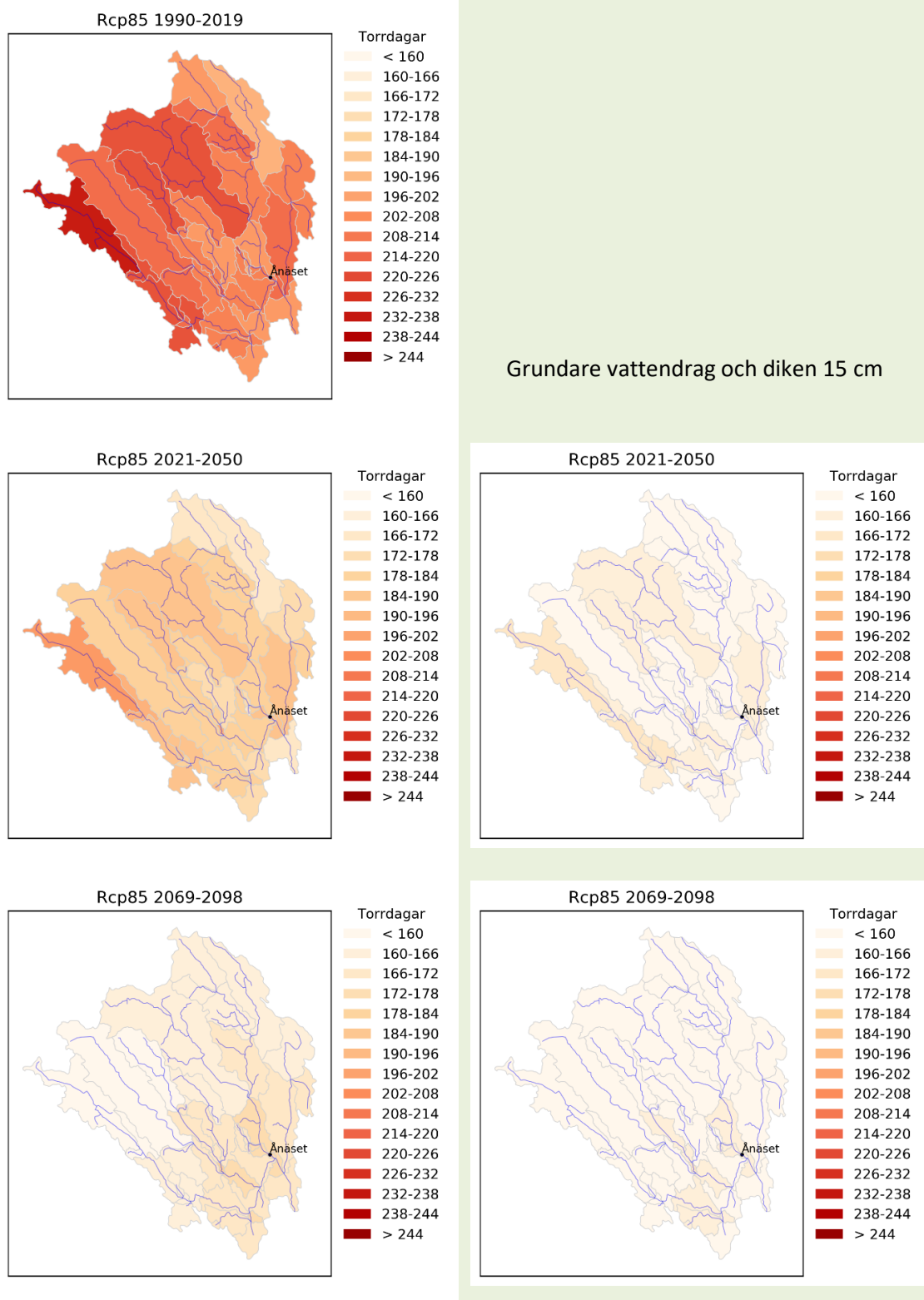
5.5.2 Åtgärd B: Grundare vattendrag och diken (<15 cm)

I Figur 12 presenteras antalet dagar under tröskelvärdet för RCP4.5. På vänster sida ses antal dagar under tröskelvärdet utan åtgärder och på höger sida visas antal dagar under tröskelvärdet med 15 cm grundare diken för alla möjliga markanvändningar per delområde. En tydlig minskning av antalet dagar under tröskelvärdet kan fastställas i alla delområden och för båda framtidsperioder om man jämför samma period fast utan en minskning av vattendrags/dikens djupet. Medelvärdet av antalet dagar under tröskelvärdet över alla delområden är 150 dagar för perioden 2069-2098.

I Figur 13 presenteras antalet dagar under tröskelvärdet för RCP8.5. På vänster sida ses antal dagar under tröskelvärdet utan åtgärder och på höger sida visas antal dagar under tröskelvärdet med 15 cm grundare diken för alla möjliga markanvändningar per delområde. Även för RCP8.5 kan en tydlig minskning av antalet dagar under tröskelvärdet för båda perioder fastställas när vattendrags/dikens djup minskas med 15 cm.



Figur 12. Medelvärdet av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde för RCP4.5. Kartorna på vänster sida visar resultat utan grundare diken. Kartorna på höger sida visar resultat för antalet torrdagar med grundare vattendrag och diken. Under perioden 1990-2019 ändrades inte djupen.

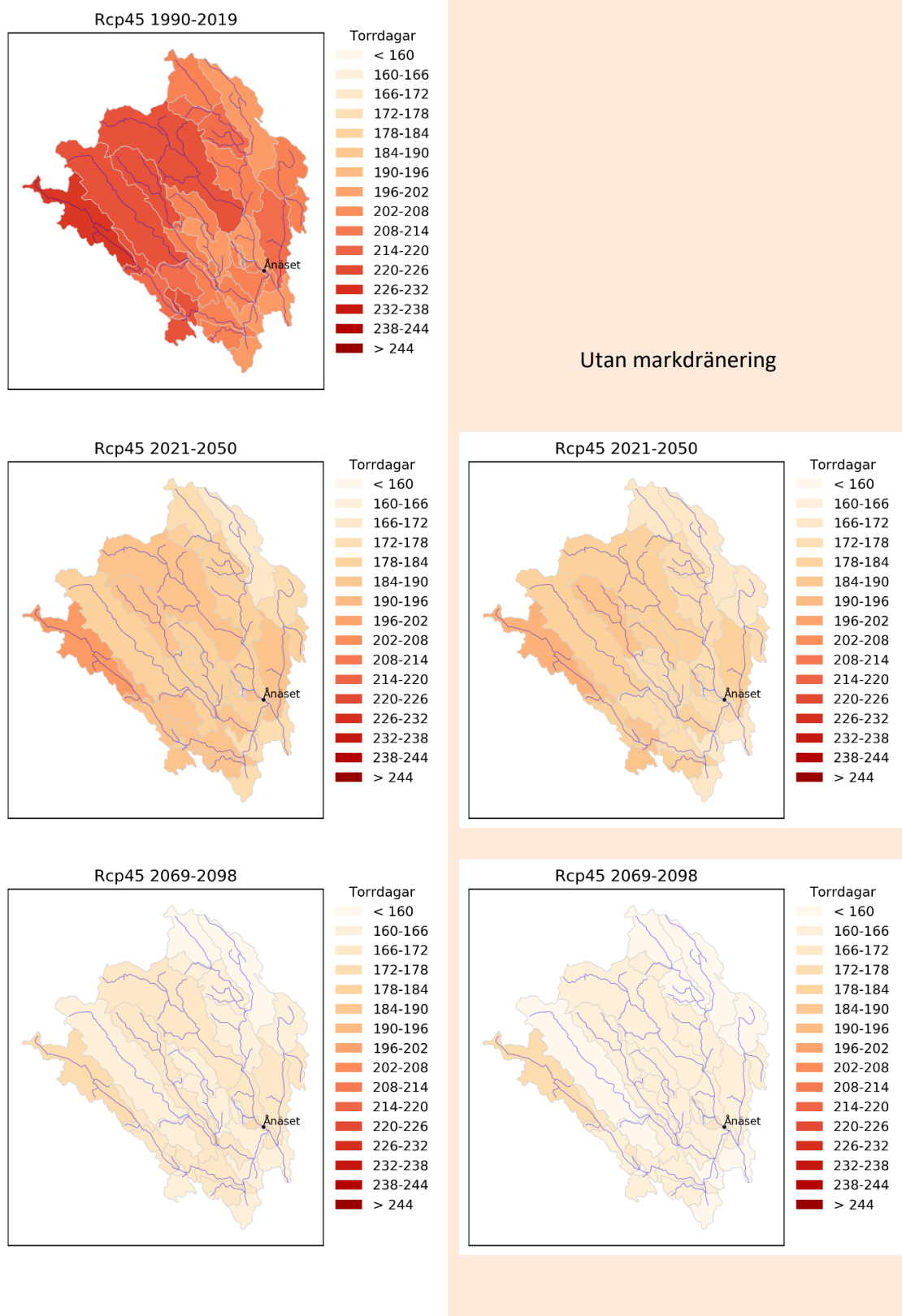


Figur 13. Medelvärdet av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde för RCP8.5. Kartorna på vänster sida visar resultat utan grundare diken. Kartorna på höger sida visar resultat för antalet torrdagar med grundare vattendrag och diken. Under perioden 1990-2019 ändrades inte djupen.

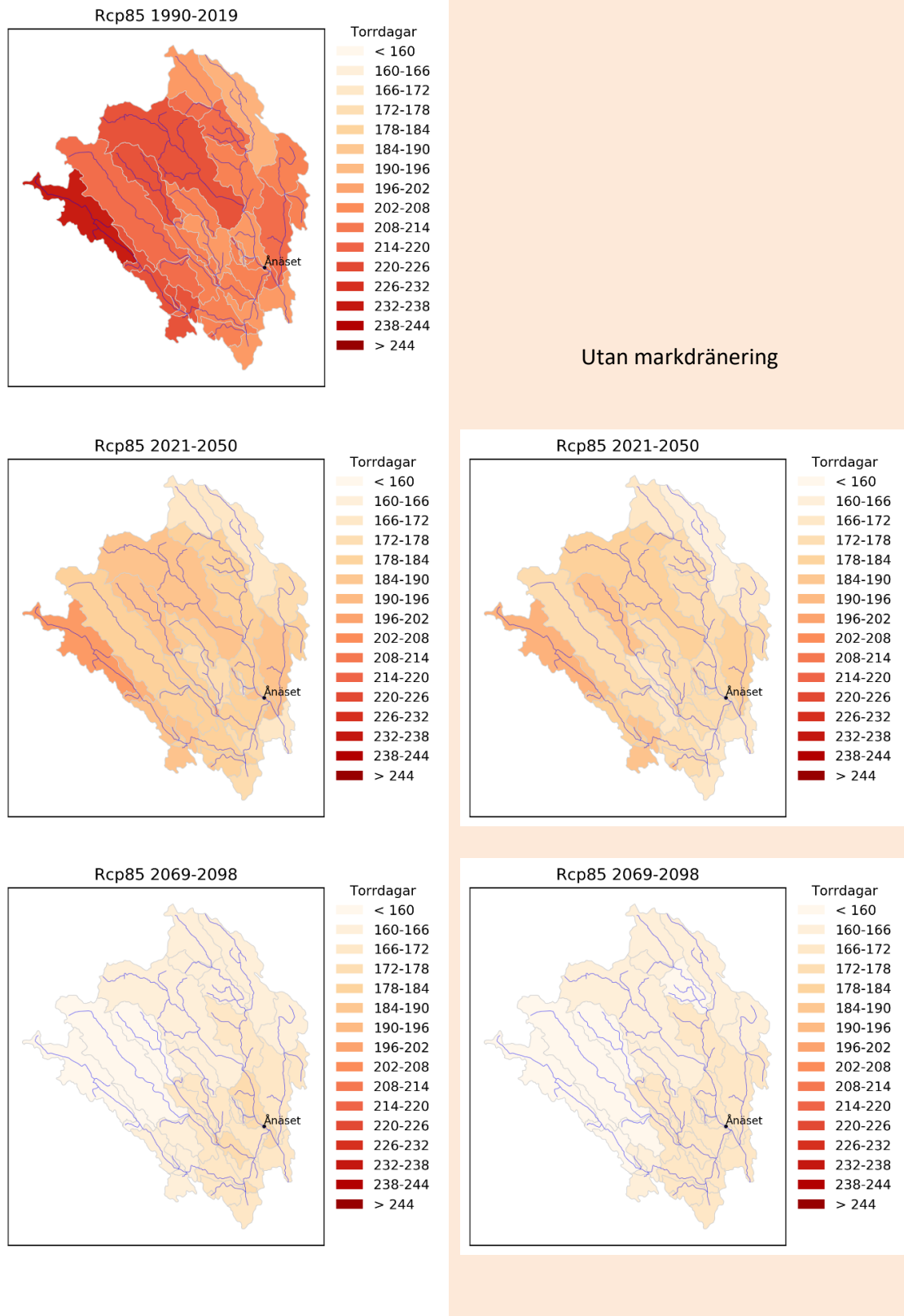
5.5.3 Åtgärd C: Utan markdränering

I Figur 14 presenteras antalet dagar under tröskelvärde för RCP4.5. På vänster sida ses antal dagar under tröskelvärde med inlagd markdränering för åkermark och barrskog på jordarterna torv och finjord/lera (vanlig modelluppsättning) och på höger sida visas antal dagar under tröskelvärde utan markdränering. En minskning av antalet dagar under tröskelvärde kan fastställas i många delområden och för båda framtidsperioder om man jämför samma period fast med inlagd markdränering.

I Figur 15 presenteras antalet dagar under tröskelvärde för RCP8.5. På vänster sida ses antal dagar under tröskelvärde med inlagd markdränering för åkermark och olika jordarter i kombination med markanvändning barrskog (vanlig modelluppsättning) och på höger sida visas antal dagar under tröskelvärde utan markdränering. Som för RCP4.5 kan en minskning av antalet dagar under tröskelvärde fastställas utan inlagd dränering i modellen, men skillnaden är inte tydlig. För perioden 2069-2098 är skillnaden endast marginell.



Figur 14. Medelvärdet av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde för RCP4.5. Kartorna på vänster sida visar resultat med markdränering. Kartorna på höger sida visar resultat för antalet torrdagar utan markdränering. Under perioden 1990-2019 ändrades inte markdräneringen.



Figur 15. Medelvärdet av antalet torrdagar per år och delavrinningsområde för RCP8.5. Kartorna på vänster sida visar resultat med markdränering. Kartorna på höger sida visar resultat för antalet torrdagar utan markdränering. Under perioden 1990-2019 ändrades inte markdräneringen.

6 Diskussion och slutsatser

I rapporten "Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP scenarier" (Berglöv m.fl., 2015) indikerar klimatscenarierna att årsnederbörden och årsmedeltemperaturerna kommer att öka och att antal dagar med ett snötäcke med mer än 5 mm respektive 20 mm vatteninnehåll minskar. En ökad nederbörd och en minskning av dagar med snötäcket kan leda till en ökad tillrinning. Förändringar som visas i Berglöv m.fl. (2015), refererar till perioden 1963-1992, medan referensperioden i denna rapport är 1990-2019. För RCP4.5 och RCP8.5 kunde en ökning av den lokala tillrinningen från sura sulfatjordar med mellan 1- 20 % fastställas. Ökningen beror dock inte på en ökning av andelen SSJ per delområde utan på förändringen i nederbörd och temperatur i framtida klimat.

Lagergren (2015) delade Sveriges grundvattenregimer i fyra olika regimer beroende på de hydrologiska och klimatologiska förutsättningarna. Enligt Figur 1 ligger Hertsångersälvens avrinningsområde på gränsen mellan regim 2 och regim 3. En bra indikation var grundvattenregim i Hertsångersälven låg under perioden 1963-1992 kan ges av Figur 20 i Zábori och Vallot (2020). Utvalda områden visar att under perioden 1963-1992 förekom låga flöden under vinter- och sommarmånader och att vinterflöden och sommarflöden ungefär ligger på samma nivå. Det kan antas att snabbreagerande grundvattenmagasin förhåller sig likadana. Minskningen av snöackumulationen under vintertiden ger en mindre påtaglig vårflood, vilket kan ge förändrat mönster i årsvariationerna av grundvattennivåer. Detta tillsammans med en ökad andel regn skulle resultera i en minskad avsänkning av grundvattennivån innan vårflooden. Vikberg m.fl. (2015) beskriver att de förväntar sig en ökning av grundvattennivåerna i första hälften av året, följt av minskade grundvattennivåerna under sommaren och ökade under hösten. De lägsta och högsta förväntas att öka men amplituden blir utjämnad (Vikberg, 2015). När man däremot tar hänsyn till förändringen av flödena i Hertsångersälvens avrinningsområde (se Figur 20 i Zábori och Vallot, 2020) ser man att det bara stämmer delvis överens om man utgår ifrån att snabbreagerande grundvattenmagasin visar samma trend som flödena. Under vinter och höstmånader skulle också en ökning förväntas (för RCP4,5 och RCP8,5 och perioden 2069-2098). En tydlig minskning skulle dock förväntas för utvalda områden som presenteras i Figur 20 i Zábori och Vallot, 2020 under sen vår (när vårtoppen av flödena inte längre förekommer samma månad och i samma utsträckning). Sommarmånader skulle i genomsnitt inte uppvisa en större förändring, dvs det finns ingen indikation att det skulle finnas en tydlig minskning i grundvattennivåerna i snabbreagerande magasin i ett framtida klimat (med referensperioden 1963-1992). Det kan dock inte uteslutas att det inte finns flera extrem torra sommar i ett framtida klimat. Under hösten förväntas en ökning av flödena (och grundvattennivåerna) men inte i samma utsträckning som under vinterperioden.

Det visade sig att den lokala årsmedelavrinningen förväntas öka för Hertsångersälvens avrinningsområde med upp till 10 % för RCP4,5 för perioderna 2021-2050 och perioden 2069-2098 samt för RCP8,5 och perioden 2021-2050 (med referensperiod 1990-2019). Årsmedelavrinningen förväntas öka med maximal 20 % för RCP8,5 och för perioden 2069-2098 (med 1990-2019 som referensperiod). För att bestämma antalet torrdagar för en viss period beräknades ett tröskelvärde som median av årsmedel av modellberäknade grundvattennivåer. Tröskelvärdet togs fram för att ge en indikation när en oxidation i SSJ kan inträffa och försämra förutsättningar för god ekologisk status i delavrinningsområdet (grundvattennivåerna som ligger under tröskelvärdet). För att ge negativa miljökonsekvenser måste befintliga metaller mobilisera sig. Då räcker det inte enbart med låga grundvattennivåer utan det måste även finnas en viss mängd nederbörd som skapar avrinning och transport av ämnen till vattendraget.

Beräkningarna med klimatmodellerna visar att antalet dagar med grundvatten under tröskelvärdet kommer att minska i ett framtida klimat. Minskningen sker homogent över hela Hertsångersälvens avrinningsområde och gäller för beräkningsmodellerna med båda klimatscenerierna. Detta stämmer överens med att den totala årsmedeltillrinningen förväntas att öka (se Figur 3 i Zábori och Vallot, 2020), samt att det visas en ökning i den lokala årsmedeltillrinningen (se Figur 10 i Zábori och Vallot, 2020)

För att testa om åtgärder skulle kunna bidra till att höja grundvattennivåerna i delavrinningsområdena ökades andelen våtmark med 10 % per delområde. På grund av modellstrukturen är det inte möjligt att placera våtmarken på en speciell plats i delavrinningsområde. Vad som däremot kan definieras är hur stor andel av delavrinningsområde som våtmarken får sitt vatten från. Andelen av tillrinningsarean till våtmarken sätts till 0,3. Detta betyder att vattnet från 30 % av delavrinningsområdets arean rinner till våtmarken. Det visade sig dock efter beräkningarna att det inte går att se en tydlig förändring i antalet dagar med grundvatten under tröskelvärdet med denna förändring. I Stensen m. fl. (2019b) redogörs för slutsatsen att effekten av att öka andelen våtmarker kan vara både positiv och negativ för att minska andelen låga flöden och att effekten varierar beroende av var och hur våtmarken anläggs. Ökade våtmarker ger en större vattenyta som kan resultera i minskade flöden nedströms på grund av ökad avdunstning. Men de kan även öka grundvattennivåerna genom sin dämpande effekt på flödena. När vattnet rinner långsammare kan mer vatten bidra till grundvattenbildning. Resultatet kan förändras vid val av en annan andel av tillrinningsarean eller om avbördningskurvan från våtmarken förändras.

En annan åtgärd som testades var att minska djupet av vattendragen med 15 cm. Det är inte möjligt att skilja mellan diken och vattendrag och därför ändrades djupet för alla ingående vattendrag i modellen. Detta är ett stort ingrepp i beräkningarna som visade ett tydligt resultat i form av en minskning av antalet dagar med grundvattennivåer under tröskelvärdet. Då djupet av alla vattendrag minskades bedöms det dock som att resultatet överskattar effekten på grundvattennivåerna.

Sista åtgärd som testades var att ta bort alla dräneringar som fanns inlagda i den hydrologiska modellen. Dessa fanns inlagda för markanvändningarna åkermark och barrskog på jordarterna torv och finjord/lera. Andelen av dessa markanvändningar (i kombination med jordarter) varierar mycket mellan delavrinningsområden. Det finns delavrinningsområden som inte har haft någon dränering inlagd. Den maximala andelen av ytan för åkermark och barrskog på finjord, lera är 56 %. Det förväntas att effekten blir störst för de delområden som har en stor andel åkermark och barrskog på finjord/lera. Även om det är inte realistiskt att ta bort all dränering kan resultatet ge en indikation av en maximalt möjlig effekt i minskning av antalet torrdagar som följd av borttagning av dränering.

Enligt klimatmodellerna och de båda använda RCP-scenerierna skulle den lokala årsmedeltillrinningen i Hertsångersälvens delavrinningsområden öka och antalet dagar som grundvattennivåerna ligger lägre än medianen av årsmedelvärden för perioden 1990-2019 minska. Detta skulle kunna peka mot en minskning av oxidationen i SSJ. Det ska dock betonas att det även behövs en ut svämning av ämnen för att resultera i försämrat ekologisk status, som inte har undersökts inom projektet. Genomfört projekt har visat att det är möjligt att ytterligare minska antalet dagar med låga grundvattennivåer genom åtgärder. Testerna som gjordes är dock mycket grova och behöver bättre anpassas för Hertsångersälvens avrinningsområde för att simulera än mer realistiska resultat och effekter.

7 Referenser

- Berglöv G., Asp M., Berggreen-Clausen S., Björck E., Axén-Mårtensson J., Nylén L., Ohlsson A., Persson H. och Sjökvist E. 2015. Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier. SMHI Klimatologi Nr 33.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.95723!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Framtidsklimat_i_V%C3%A4sterbottens_l%C3%A4n_Klimatologi_nr_33.pdf
- Lagergren, H. 2015. Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförelser med klimatscenarier. Rapport 2015:20, SGU. <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1520-rapport.pdf>
- Lindström, G. 2019. Hydrologiska aspekter på åtgärder mot vattenbrist och torka inom avrinningsområden. Hydrologi 122, SMHI.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.155412!/Hydrologi_122.pdf
- Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B. (2010). Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. Hydrology Research 41.3–4, 295-319.
- Sjökvist E., Axén Mårtensson J., Dahné J., Köplin N., Björck E., Nylén L., Berglöv G., Tengdelius Brunell J., Nordborg D., Hallberg K., Södling J. och Berggreen-Clausen S. 2015. Klimatscenarier för Sverige – Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier. Klimatologi Nr 15.
<http://www.smhi.se/publikationer/publikationer/klimatscenarier-for-sverige-bearbetning-av-rcp-scenarier-for-meteorologiska-och-hydrologiska-effektstudier-1.87248>
- Steffen, H. och Wu, P. 2011. Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia: a review of data and modeling. J Geodyn 52(3–4):169–204. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2011.03.002>
- Stensen, K., Krunegård, A., Rasmusson, K., Matti, B. och Hjerdt, N. 2019a. Sveriges vattentillgång utifrån perspektivet vattenbrist och torka—Delrapport 1 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäkter. Hydrologi Nr 120, SMHI.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.154340!/Hydrologi_120_v2.pdf
- Stensen, K., Matti, B., Rasmusson, K. och Hjerdt, N. 2019b. Modellstudie för att undersöka åtgärder som påverkar lågflöden – Delrapport 2 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäkter. Hydrologi 121, SMHI.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.154341!/Hydrologi_121_v2.pdf
- Strömqvist, J., Arheimer, B., Dahné, J., Donnelly, C., and Lindström, G.: Water and nutrient predictions in ungauged basins – Set-up and evaluation of a model at the national scale, Hydrol. Sci. J., 57, 229–247, 2012. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.637497>
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M. och Dahné, J. 2015. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. Rapport 2015:19, SGU.
<http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1519-rapport.pdf>
- Zábori, J. och Vallot, D. 2020. Klimatpåverkan i Hertsångersälven - enligt RCP-scenarier. SMHI, Rapport 2020-81.
- Åberg, J. 2017. Miljöproblemet sura sulfatjordar—Ett kunskapsunderlag och en beskrivning av Länsstyrelsen Västerbottens och Länsstyrelsen Norrbottens strategiska arbete. Länsstyrelsen i Västerbotten.

<https://www.lansstyrelsen.se/norrbotten/tjanster/publikationer/miljoproblemet-sura-sulfatjordar.html>

Åberg, J. 2019. Sulfatjordspåverkan i kustmynnande småvattendrag i Västerbotten—Tolkningar av nuläget med hjälp av en kemisk bedömningsmodell och provfiske. Länsstyrelsen i Västerbotten.

<https://www.lansstyrelsen.se/vasterbotten/tjanster/publikationer/sulfatjordspaverkan-i-kustmynnande-smavattendrag-i-vasterbotten.html>

8 Bilaga

Tabell 2. Beräknade tröskelvärden av grundvattennivåer, medianen av årsmedel av dagliga grundvattennivåer (meter under markytan) för 1990-2019.

Subid	RCP4.5	RCP8.5
26083	-0,58	-0,58
26100	-0,71	-0,71
26148	-0,73	-0,73
26153	-0,66	-0,66
26186	-0,67	-0,67
26203	-0,56	-0,56
26213	-0,66	-0,66
26227	-0,61	-0,61
26239	-0,73	-0,73
26247	-0,73	-0,73
26253	-0,82	-0,82
26260	-0,65	-0,65
26266	-0,72	-0,72
26286	-0,72	-0,72
26297	-0,67	-0,67
26301	-0,71	-0,71
26323	-0,60	-0,60
26325	-0,62	-0,63
26328	-0,63	-0,63
26350	-0,67	-0,67
26362	-0,52	-0,52
26371	-0,71	-0,71
26395	-0,63	-0,63
26411	-0,72	-0,72
26436	-0,60	-0,61
26443	-0,61	-0,61
26460	-0,67	-0,67
26465	-0,64	-0,64
26479	-0,65	-0,66
26499	-0,71	-0,71
26559	-0,66	-0,66
26573	-0,65	-0,65
26806	-0,82	-0,83
40156	-0,65	-0,65
40160	-0,79	-0,79
41663	-0,68	-0,68
41667	-0,59	-0,59
41670	-0,59	-0,59
41671	-0,60	-0,60
61931	-0,78	-0,78
61932	-0,73	-0,73
61933	-0,75	-0,75
61934	-0,66	-0,67
61935	-0,81	-0,81

