



RAPPORT NR 2018-45

KLIMATFÖRÄNDRINGARS PÅVERKAN PÅ VATTENRESURSER I UPPSALA LÄN

Underlag för regional vattenförsörjningsplan

RAPPORT NR 2018-45

TITEL

Klimatförändringars påverkan på vattenresurser i Uppsala län

FÖRFATTARE

Anna Edman, Anna Johansson SMHI

OMSLAGSBILD

Fyrisån i centrala Uppsala

UPPDRAGSGIVARE

Länsstyrelsen Uppsala län 751 86 Uppsala

KONTAKTPERSON

Åsa Blomster Länsstyrelsen Uppsala län

Telefon 010-223 32 26

E-post asa.blomster@lansstyrelsen.se

PROJEKTANSVARIG

Anna Johansson SMHI 601 76 Norrköping,

Telefon 031-751 89 60

E-post anna.johansson@smhi.se

KLASSIFICERING

Affärssekretess

DIARIENUMMER

2018/928/9.5

VERSION 03 2018-12-20

Version	Datum		Utfört av
01	2018-11-21	Granskad	Joel Dahné, SMHI
02	2018-12-12	Redigerad efter kundsynpunkter	Anna Johansson, SMHI
03	2018-12-20	Fastställd slutversion	Anna Johansson, SMHI

SAMMANFATTNING

En regional vattenförsörjningsplan ska tas fram för Uppsala län av Länsstyrelsen. Syfte med denna rapport är att tjäna som underlag till den regionala vattenförsörjningsplanen och beskriva hur dricksvattenresurserna påverkas av ett framtida klimat i slutet av seklet.

I slutet av seklet väntas både lufttemperaturen och nederbörden i länet att öka under alla årstider. Störst nederbördsmängder förväntas under sommaren. Risken för skyfall kommer att öka och vara bland de största förändringarna i Sverige. Högre lufttemperatur leder även till ökad avdunstning som motverkar effekten av ökad nederbörd och medför att avrinningen minskar. Det blir fler dagar med marktorka. Den totala tillrinningen beräknas öka i hela länet med störst ökning under vintern och med ett minskat flöde under vår och sommar. Det blir mer vatten under vintern i nivå med dagens vårflod fast men under en längre period så dagens distinkta vårflödestopp förväntas försvinna. Detta innebär att årsdynamiken blir förändrad för alla länets vattendrag utom Dalälven. Det är osäkert vad som händer med grundvattennivåerna i framtida klimat men de resultat som finns pekar på oförändrade eller minskade grundvattennivåer.

Länet har delats in i tre typområden baserat på effekten av klimatförändringen; Mälardalen, Inland och Kust. Framtida klimatförändringar påverkar dricksvattenresurserna i länet i huvudsak på tre olika sätt; försämrade råvattenkvalitet, ökad respektive minskad råvattenkvantitet.

Mälardalen har fortsatt varmest lufttemperatur och längst vegetationsperiod i framtida klimat jämfört med de två andra typområdena. Grundvattenbildningen minskar mest i detta typområde. Mälaren får högre vattentemperatur. Höga flöden med återkomsttid 10-200 år ökar endast i detta typområde. Mälardalens dricksvattenresurser påverkas genom att yt- och grundvattenkvantiteten kan minska. Markerna blir torrare, trots att nederbörden ökar, med risk för ökat bevattningsbehov. Råvattenkvaliteten kan försämrades pga. ökad nederbörd, varmare vattentemperatur och att det blir svårare att tappa vatten från Mälaren pga. havsnivåhöjningen.

I Inlandet beräknas luft- och vattentemperaturerna, nederbörden och torrperiodens längd öka. I södra delarna av inlandet är det idag det torraste området i länet och detta kommer att kvarstå i framtiden. Vegetationsperioden blir längre och grundvattenbildningen minskar. Påverkan på dricksvattenresurserna uttrycker sig i att vattnet blir varmare under hela året, vilket gör att tex. Tämnaren kan värmas upp med risk för kvalitetsproblem. Högre vattentemperatur i kombination med ökad nederbörd kan öka risken för vattenkvalitetsproblem. Det blir fler dagar med lågt flöde vilket kan leda till vattenbrist periodvis, speciellt under vår och sommaren. Eftersom det blir torrare, vattenbehovet förväntas öka och tillrinningens årsdynamik ändras finns det risk att Tämnarens kapacitet inte räcker till i framtiden.

I Kustens typområde förväntas luft- samt vattentemperaturerna öka. Grundvattenbildningen minskar men inte lika mycket som övriga typområden. Havsnivån ökar. Kustens dricksvattenresurser påverkas av att temperaturerna ökar med risk för försämrade råvattenkvalitet och vattenbrist. Nederbörden ökar dock mest i kustområdet, speciellt på sommaren, men avdunstningen ökar likväl så totalt blir det torrare. En längre vegetationsperiod kan innebära ökat vattenbehov. Detta är extra känsligt för Kustområdet som idag upplever kapacitetsbrist under vår och sommar. Antal dagar med lågvatten blir fler, vilket kan leda till kapacitetsbrist periodvis särskilt i små sjöar. Det kan bli upp till några decimeters förändring i ökad havsnivån till slutet av seklet.

INNEHÅLL

1	BAKGRUND.....	1
2	METODIK.....	1
3	FRAMTIDA KLIMAT.....	1
3.1	LUFTTEMPERATUR.....	2
3.2	NEDERBÖRD.....	3
3.2.1	Långtidsnederbörd.....	3
3.2.2	Korttidsnederbörd/Skyfall.....	4
3.3	VEGETATIONSPERIOD.....	5
3.4	AVDUNSTNING, MARKFUKTIGHET OCH TORKA.....	6
3.5	TILLRINNING/FLÖDEN.....	7
3.5.1	Medeltillrinningens årsdynamik.....	7
3.5.2	Höga vattenflöden.....	9
3.5.3	Lokal tillrinning.....	9
3.5.4	Låga vattenflöden.....	10
3.6	GRUNDVATTENNIVÅER.....	11
3.7	EROSION, RAS OCH SKRED.....	13
3.8	VATTENTEMPORATUR OCH IS.....	13
3.9	KEMISKA PROCESSER/VATTENKVALITET.....	14
3.10	HAVSNIVÅ.....	15
3.11	HAVETS SALTHALT.....	15
4	KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS PÅVERKAN PÅ VATTENRESURSER.....	17
4.1	TYPOMRÅDE MÅLARDALEN.....	18
4.2	TYPOMRÅDE INLAND.....	22
4.3	TYPOMRÅDE KUST.....	27
5	REFERENSER.....	30

1 BAKGRUND

Länsstyrelsen i Uppsala arbetar med att ta fram en regional vattenförsörjningsplan för länet. Som underlag för denna plan har SMHI anlåtats för att analysera och beskriva hur vattenresurserna i länet påverkas av pågående och framtida klimatförändringar. Analyserna har genomförts ur ett dricksvattenperspektiv, för såväl grundvattenmagasin som för sjöar och rinnande vattendrag. Tidsperspektivet i analyserna har varit fram till år 2100.

Syftet har varit att lyfta fram olika effekter av klimatförändringar i olika typområden av länet.

2 METODIK

Uppdraget är i första hand att betrakta som en litteraturstudie och sammanställning av kunskapsunderlag inom området. Arbetsgången har varit följande:

1. Genomgång av befintligt underlag enligt referenslista.
2. Indelning i typområden efter climateffekter och påverkan på vattenresurserna.
3. Sammanställning av climateffekter och påverkan på vattenresurser, behov av åtgärder samt eventuella kunskapsluckor.

Med climateffekter avses förändringar till följd av förändrat klimat, exempelvis högre flöden i vattendragen, medan påverkan på vattenresurser innebär en följeffekt för vattenresursen, t.ex. högre kapacitet eller försämrad råvattenkvalitet.

Ökad lufttemperatur leder till en rad climateffekter, bl.a. högre vattentemperatur, längre vegetationsperiod, ökad avdunstning, ökad marktorka m.m. vilket i sin tur kan påverka vattenresurserna båda med avseende på kvantitet och kvalitet. Vissa climateffekter, t.ex. längre torrperioder, kan också orsaka förändringar i efterfrågan på vatten vilket förstås också är viktigt att väga in i den långsiktiga planeringen av regionens vattenförsörjning. Detta är dock ett område som endast hanterats mycket översiktligt inom denna utredning.

3 FRAMTIDA KLIMAT

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. Det finns flera möjliga utvecklingar och vilken av dem som slår in beror på människans förmåga att begränsa utsläppen. FN:s klimatpanel IPCC presenterade i sin femte sammanställning om kunskapsläget gällande framtida klimat (IPCC, 2013) nya antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser: RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways, ICONICS, 2013). RCP-scenarierna beskriver resultatet av utsläppen, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären, fram till år 2100. I studien används två RCP-scenarier, RCP4,5 som bygger på begränsade utsläpp, och RCP8,5 med höga utsläpp. I **Tabell 1** beskrivs vilka antaganden som ligger till grund för scenarierna. De två scenarierna täcker in en stor variationsbredd avseende framtidens koncentrationer av växthusgaser i atmosfären.

Tabell 1. Beskrivning av vilka antaganden som ligger till grund för de två scenarier för olika utvecklingsvägar som använts i denna studie. RCP4,5 bygger på begränsade utsläpp, och RCP8,5 på en utveckling med höga utsläpp. De två scenarierna täcker in en stor variationsbredd avseende framtidens koncentrationer av växthusgaser i atmosfären

RCP4,5	RCP8,5
<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 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

Beräkningar av framtida klimat har genomförts för två tidsperioder, 2021-2050 och 2069-2098. I denna studie har vi valt att fokusera på det längre tidsperspektivet, fram till slutet av seklet.

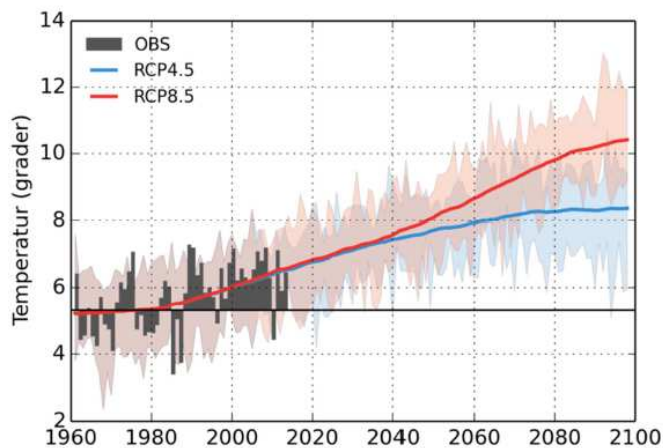
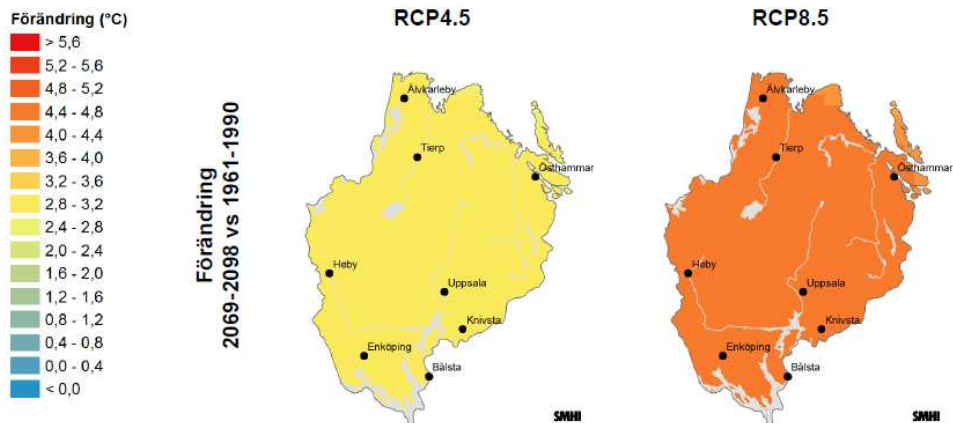
Ett klimatscenario kräver en lång kedja av beräkningar, antaganden och förenklingar. Det finns alltså flera källor till osäkerheter; klimatets naturliga variationer, val av klimatmodell och framtida utsläpp av växthusgaser.

I avsnitten 3.1 - 3.8 nedan ges en sammanfattning av vad de senaste beräkningarna av framtida klimat visar för Uppsala län. För mer detaljerad beskrivning av klimatmodeller, osäkerheter och resultat hänvisas till rapporten SMHI Klimatologi Nr 20, (Sjökvist et al., 2015).

3.1 LUFTTEMPERATUR

Trenden pekar tydligt mot högre lufttemperatur i länet i båda RCP-scenarierna. Skillnaderna tydliggörs först under andra hälften av seklet. Lufttemperaturen väntas stiga med i genomsnitt 3-5 grader till slutet av seklet, se **Figur 1**. Förändringen är densamma för hela länet.

Båda utsläppsscenarierna visar att det blir varmare för alla årstider fram till slutet av seklet. Vinterperioden blir kortare och sommaren längre. Särskilt stor är temperaturökningen under vintern och det blir alltså mildare vintrar framöver. Mot slutet av seklet hamnar medeltemperaturen under vintern 4-6 grader högre vilket innebär att vintertemperaturer över nollgradersstrecket blir vanligare förekommande. Inom länet är det idag något varmare vintertid i områdena nära Mälaren och kusten, jämfört med inlandet. Denna geografiska skillnad kommer bestå även framöver. Den näst största temperaturförändringen förväntas sommartid med 3-5 grader varmare än under referensperioden.



Figur 1. Kartorna visar beräknad förändring av årsmedeltemperaturen för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1961-1990 enligt de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Diagrammet visar observerad (staplar, 1961-2015) och beräknad (30-års löpande medelvärde) årsmedeltemperatur i Uppsala län. De skuggade områdena visar spridningen i modellresultaten. (Sjökvist et al., 2015)

3.2 NEDERBÖRD

3.2.1 Långtidsnederbörd

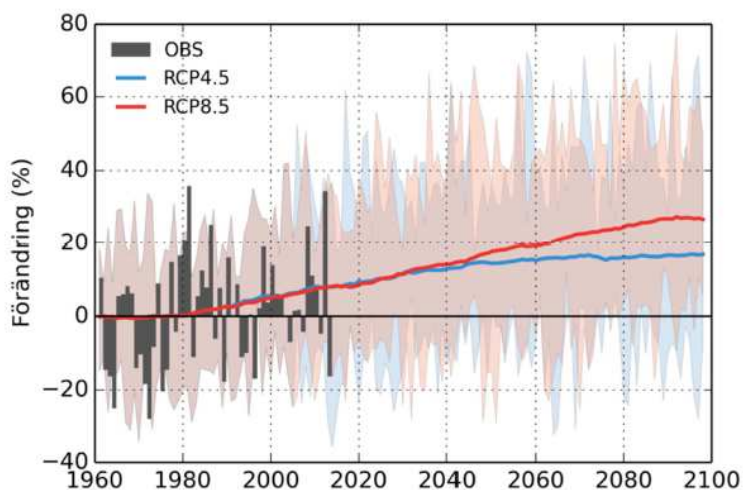
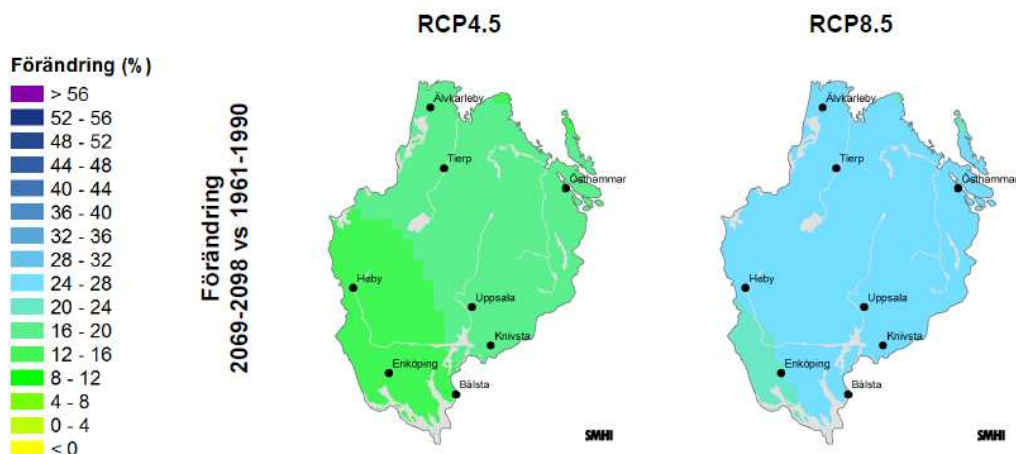
Trenden pekar mot ökad årsmedelnederbörd i framtiden och mot ökning under alla årstider. Diagrammet i **Figur 2** visar dock att variationen från år till år är stor. Ökningen är ca 20-30% beroende på utsläppsscenario och förändringen är lite lägre i de sydvästra delarna av länet.

Högre absoluta nederbörds mängder ses i de norra delarna av länet. Allra högst absolut nederbörd återfinns idag i ett stråk parallellt med - och en bit in från - kusten, vilket kvarstår även i framtiden.

Vintertid ökar nederbörden med ca 20-40% mot slutet av seklet, men mellanårsvariationen är mycket stor. I och med varmare klimat kommer det bli vanligare med nederbörd som regn i stället för snö vintertid. I Dalälvens tillrinningsområde är nederbördsökningen vintertid ännu större än i Uppsala län.

Sommaren är den tid på året som har störst nederbörds mängder. Enligt klimatscenerierna sker en svag ökning (10-20%) för länet som helhet till slutet av seklet. Ökningen är större (upp emot 30%) vid kusten.

Sammanfattningsvis kan man säga att störst ökning i nederbörd får de delar av länet som idag har mest nederbörd. Nederbördsskillnaderna inom länet tenderar att bli större.

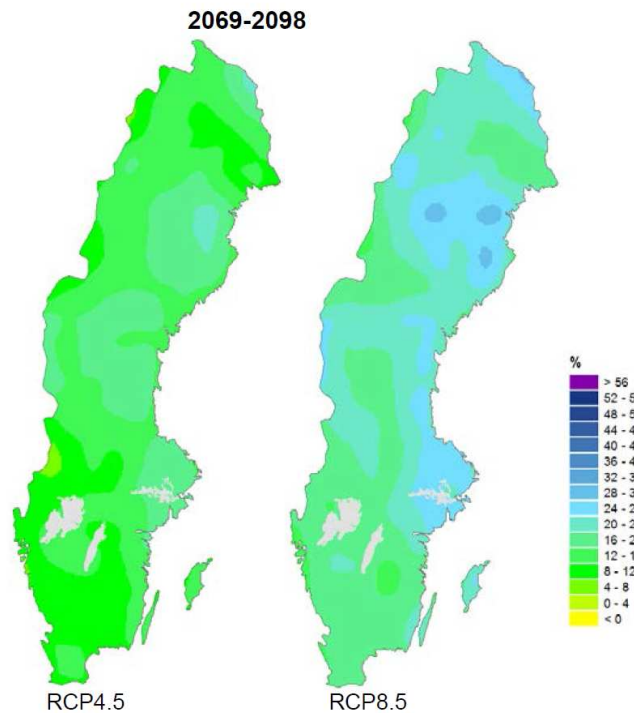


Figur 2. Kartorna visar beräknad förändring av årsmedelnederbörd för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1961-1990 enligt de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Diagrammet visar observerad (staplar, 1961-2015) och beräknad (30-års löpande medelvärde) årsmedelnederbörd i Uppsala län. De skuggade områdena visar spridningen i modellresultaten. (Sjövist et al., 2015)

3.2.2 Korttidsnederbörd/Skyfall

Ett kraftigt regn kan förekomma i princip var som helst i länet, såväl idag som framöver. Maximal dygnsnederbörd kan ses som ett mått på risken för skyfall.

Klimatscenerierna visar att den maximala dygnsnederbörden, ökar med upp emot 25% mot slutet av seklet. Uppsala län uppvisar i detta avseende, bland de största förändringarna i Sverige, se **Figur 3**. Även nederbörd med ännu kortare varaktighet (20 min, 1,3 och 12 timmar) förväntas öka (Eklund et al., 2015).

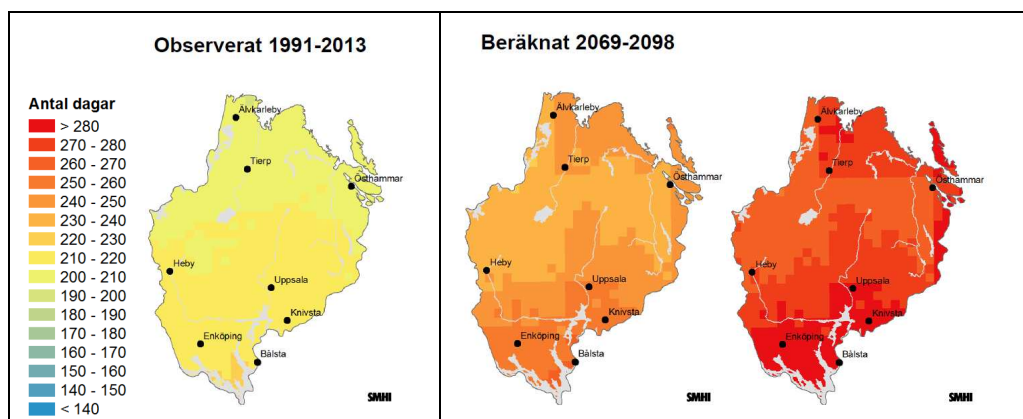


Figur 3. Kartorna visar beräknad förändring av den största dygnsnederbörd för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1961-1990 enligt de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. (Eklund et al., 2015)

3.3 VEGETATIONSPERIOD

Vegetationsperioden definieras enbart utifrån lufttemperaturen och tar alltså varken hänsyn till solinstrålning eller till tillgänglig fuktighet i marken. Vegetationsperiodens längd definieras, grovt sett, som den del av året då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5°C.

Till slutet av seklet visar båda klimatscenerierna att vegetationsperioden kommer öka, se **Figur 4**. Beräkningarna visar en ökning med 50-90 dagar, från dagens dryga 6 månader till nära 8-9 månader. Vegetationsperioden är längre i de södra delarna av länet, särskilt närmast Mälaren, vilket är en geografisk skillnad som tenderar att kvarstå framöver. I de norra delarna av länet kommer dock kustområdet få en större ökning av vegetationsperioden än inlandet.



Figur 4. Kartorna visar vegetationsperiodens längd idag (Observerat 1991-2013) respektive för två framtidsscenerier; RCP4.5 till vänster och RCP8.5 till höger. (Sjövist et al., 2015).

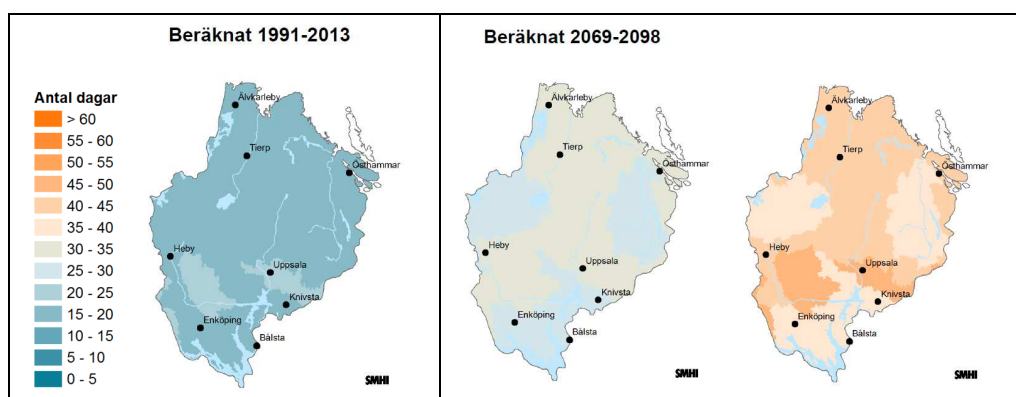
3.4 AVDUNSTNING, MARKFUKTIGHET OCH TORKA

Generellt pekar klimatscenerierna på att årsnederbörden kommer att öka. Det visar också beräkningar av torrperioder, d.v.s. perioder utan nederbörd, vilka förväntas bli något kortare i framtida klimat (Eklund et al., 2015). Detta är dock inte samma sak som att risken för torka minskar. För att bedöma risken för torka måste man också ta hänsyn till avdunstning och hur nederbörden fördelas under året.

Högre lufttemperatur leder till ökad avdunstning. Grovt sett kan man säga att avdunstningen ökar ca 5-10 % för varje grads ökning av temperaturen. För Uppsala läns del visar klimatscenerierna på 3-5 graders ökad lufttemperatur i slutet av seklet, vilket grovt sett skulle innebära att avdunstningen ökar med 15-50%. Detta motverkar effekten av ökad nederbörd och kan medföra att avrinningen minskar trots att nederbörden ökar.

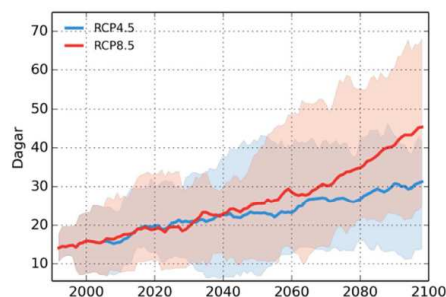
Med hjälp av hydrologisk modellering har antalet dagar med låg markfuktighet beräknats för framtida klimatscenerier. Båda scenarierna visar ökat antal dagar med marktorka. Mot slutet av seklet rör det sig om en ökning från dagens 15-20 dagar till 25-35 dagar med RCP4.5 respektive 35-45 dagar med RCP8.5. Resultaten varierar alltså en del mellan de olika scenarierna och det finns även variationer inom länet, se **Figur 5** och **Figur 6**.

Observera att lokala faktorer som jordart, jordlager och markanvändning också är av betydelse för att bedöma risken för torka lokalt. Dessa faktorer ingår inte i bedömningarna ovan.

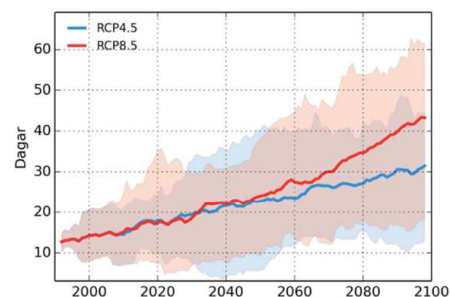


Figur 5. Kartorna visar antal dagar med låg markfuktighet idag (Beräknat 1991-2013) respektive för två framtidsscenerier; RCP4.5 till vänster och RCP8.5 till höger. (Sjökvist et al., 2015).

Fyrisån



Tämnarån



Figur 6. Diagrammen visar antal dagar med låg markfuktighet, utvecklingen för Fyrisån och Tämnarån under seklet i de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. De skuggade områdena visar spridningen i modellresultaten. (Sjökvist et al., 2015).

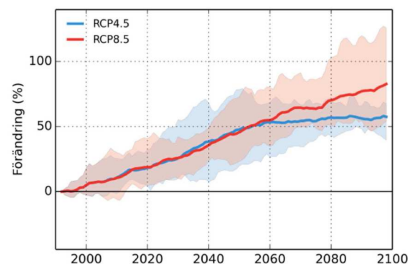
3.5 TILLRINNING/FLÖDEN

3.5.1 Medeltillrinningens årsdynamik

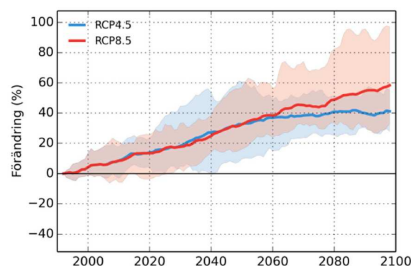
Framtidsscenarierna visar en ökning av årstillrinningen med ca 10% vid slutet av seklet, förutom för Tämnrån där ökningen är något lägre. Störst ökning av tillrinningen blir det under vintern, särskilt i de södra delarna av länet, jämför Fyrisån och Tämnrån i **Figur 7**. Tillrinningen kommer även öka under hösten. Däremot blir det minskad tillrinning (ca 20-25% minskning) under våren och sommaren, se **Figur 7**.

Vinter:

Fyrisån Ekoln

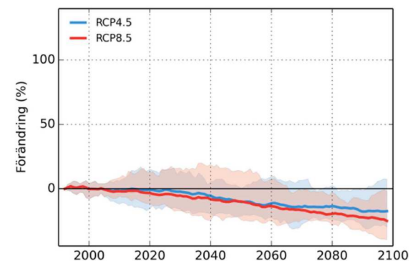


Tämnrån

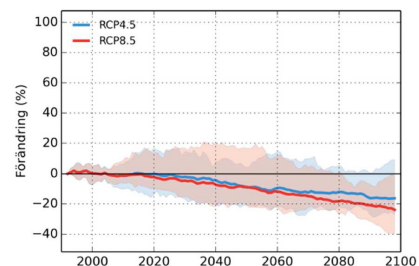


Vår:

Fyrisån Ekoln



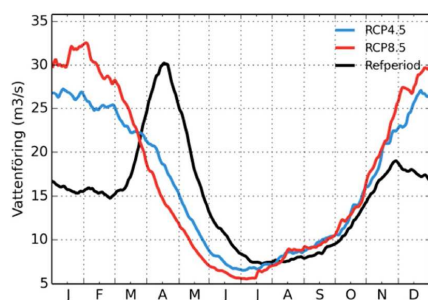
Tämnrån



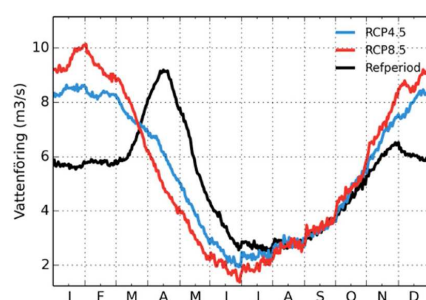
Figur 7. Diagrammen visar förändringen i total medeltillrinning under vinter (vänster) respektive vår (höger) i för Fyrisån och Tämnrån under seklet i de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. De skuggade områdena visar spridningen i modellresultaten. (Sjökvist et al., 2015).

Framöver kommer det alltså rinna mer vatten under vintern medan vårflödestoppen kommer försvinna, vilket beror på mer nederbörd i form av regn och ett mindre snötäcke. Årstdynamikens förändring visas i **Figur 8**. Särskilt under vår- och försommarperioden blir det betydligt lägre flöden än idag, vilket även beror på att vegetationsperioden blir längre och växterna tar mer vatten. Under vintern blir det i stället betydligt högre flöden, i nivå med dagens vårflod. Förändringen är likartad för alla länets vattendrag men däremot kommer det vara fortsatt stor variation från år till år. Särskilt intressant att notera är att perioden med höga flöden kan bli mycket längre, från dagens distinkta vårflödestopp på mindre än en månad till framtidens höga vinterflöden som håller i sig under närmare 3 månader.

Fyrisån Ekoln



Tämnrån

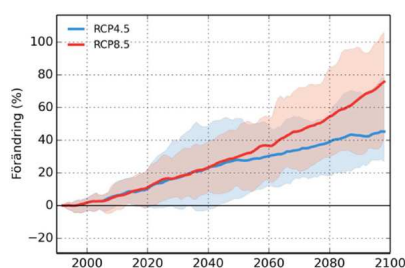


Figur 8. Diagrammen visar medelvärden för tillrinningens årsdynamik för Fyrisån respektive Tämnrån. Förändringen i årsdynamik är likartad för övriga vattendrag i länet. Svart linje representerar referensperioden (1963-1992). Röd och blå linje representerar de två klimatscenerierna mot slutet av seklet (2069-2098).

Slutsatserna för Dalälven skiljer sig åt från vattendragen inom Uppsala län till följd av att den har ett tillrinningsområde som sträcker sig långt nordväst om länet och därmed är påverkad av annat klimat. Framtidsscenerierna för Dalälven visar på tidigare vårflödestopp, högre höst-, vinter- och vårfloden, men mönstret över årstidsförloppet kvarstår och tillrinningen under försommaren-sommaren minskar något, se **Figur 9** och **Figur 10**, (Nylén et al., 2015).

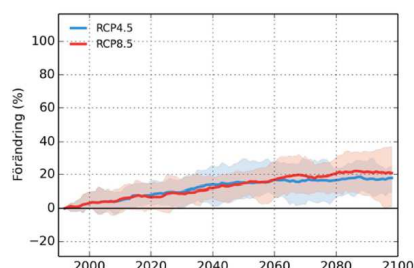
Vinter:

Dalälven



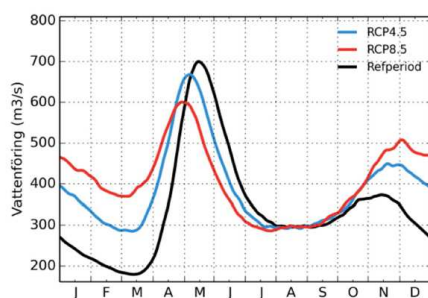
Vår:

Dalälven



Figur 9. Diagrammen visar förändringen i medeltillrinning under vinter (vänster) respektive vår (höger) i för Dalälven under seklet i de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. De skuggade områdena visar spridningen i modellresultaten. (Nylén et al., 2015).

Dalälven



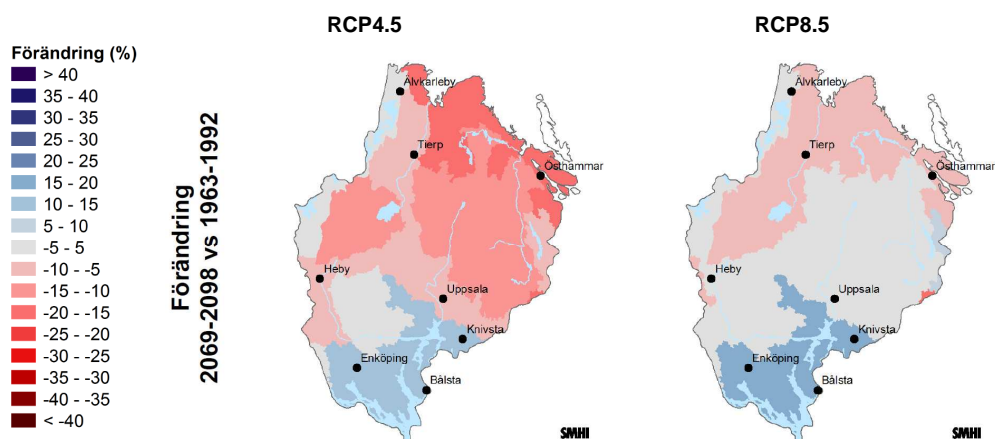
Figur 10. Diagrammet visar medelvärden för tillrinningens årsdynamik för Dalälven. Svart linje representerar referensperioden (1963-1992). Röd och blå linje representerar de två klimatscenerierna mot slutet av seklet (2069-2098). (Nylén et al., 2015).

3.5.2 Höga vattenflöden

Höga vattenflöden beskrivs med hjälp av återkomsttid. Ett högflöde med 10 års återkomsttid innebär att högflödet inträffar eller överskrids i genomsnitt en gång på en 10-årsperiod. Det är med andra ord ett relativt vanligt förekommande högflöde medan ett 100-årsflöde är mer extremt.

Framtidsscenarierna visar olika resultat i olika delar av länet när det gäller höga vattenflöden. I söder pekar resultaten mot högre högflöden och ökad översvämningsrisk medan det i resten av länet blir oförändrade eller minskade högflöden. Som ett exempel på detta visas förändringen i 100-årsflöde i **Figur 11**, men de generella dragen (ökning i söder och minskning/oförändrat i norr) gäller även för högflöden med 10 och 200 års återkomsttid.

För Dalälven visar framtidsscenarierna i stort sett oförändrade förhållanden när det gäller tillfällena med höga vattenflöden (Nylén et al., 2015).

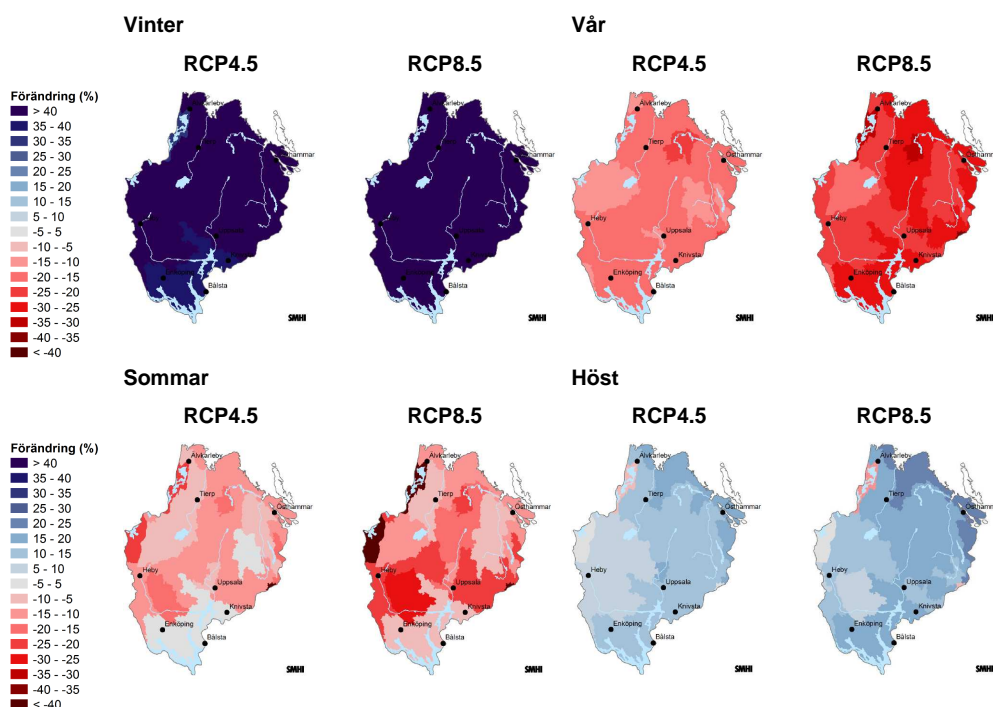


Figur 11. Kartorna visar beräknad förändring av total dygnsmedeltillrinning med 100 års återkomsttid för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1961-1990 enligt de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. (Sjökvist et al., 2015)

3.5.3 Lokal tillrinning

Lokal tillrinning innebär, till skillnad från den totala tillrinning som beskrivits i avsnitt 3.5.1 - 3.5.2 ovan, att man enbart ser till det flödesbidrag som härrör från ett mindre delavrinningsområde, utan att ta hänsyn till flödet som kommer uppströms ifrån. Detta är t.ex. av betydelse för vattenuttag ur sjöar och vattendrag med små avrinningsområden där vattentillgången enbart beror på lokala förhållanden.

Framtidsscenarierna visar att den lokala årsmedeltillrinningen kommer vara ca 10% högre mot slutet av seklet. Störst ökning blir det under vintern (50-75%), men även under hösten, till följd av mildare vintrar och mer nederbörd i form av regn och inte snö. Under våren och sommaren minskar den lokala tillrinningen eftersom temperaturen och således avdunstningen väntas öka. Förändringen från referensperioden till 2069-2098 visas i **Figur 12**.

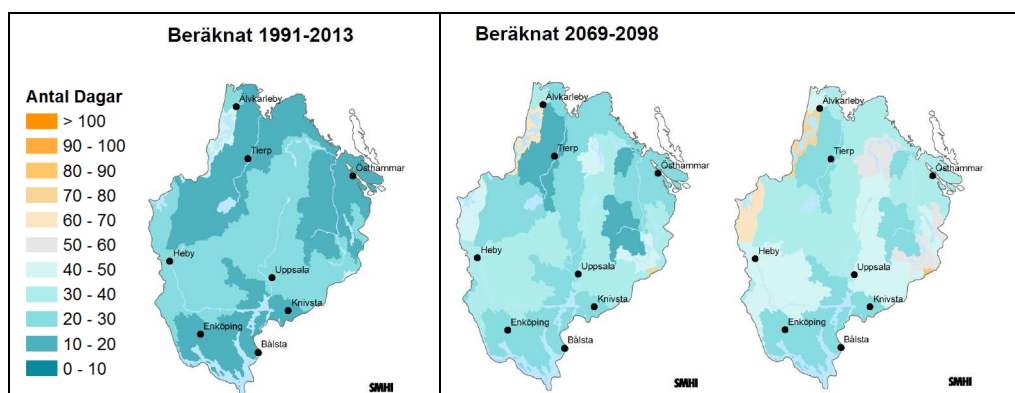


Figur 12. Kartorna visar den procentuella förändringen av lokal medeltillrinning för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1961-1990 enligt de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. (Sjövist et al., 2015)

3.5.4 Låga vattenflöden

Låga vattenflöden beskrivs med hjälp av indexet ”antal dagar med lågvatten”, vilket innebär att den lokala tillrinningen är lägre än medellågtillrinningen.

För större delen av länet ökar antalet dagar med lågflöden till slutet av seklet, men variationen är stor från ett avrinningsområde till ett annat. För Fyrisån förväntas antalet dagar öka från 25 till 35/45 (RCP4.5/RCP8.5), se **Figur 13**. För Tämarnån blir det enligt RCP4.5 i stort sett samma förhållanden och enligt RCP8.5 en liten ökning jämfört med idag.



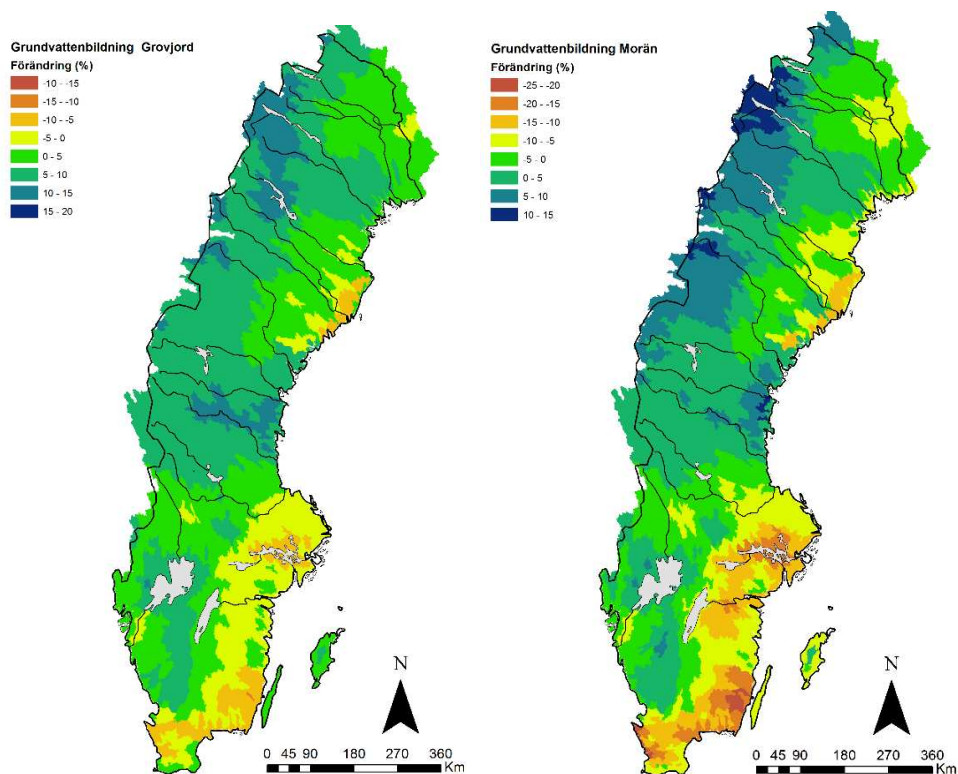
Figur 13. Kartorna visar antal dagar med lågflöde (Beräknat 1991-2013) respektive för två framtidsscenarioer; RCP4.5 till vänster och RCP8.5 till höger. (Sjövist et al., 2015).

3.6 GRUNDVATTENNIVÅER

Grundvattnet är en viktig del i det hydrologiska kretsloppet och förändringar i temperatur och nederbörd kommer att påverka den mängd grundvatten som bildas och som sedan finns tillgängligt för olika användning (dricksvatten, bevattning m.m.). SGU har analyserat hur grundvattennivåerna förväntas påverkas i ett förändrat klimat (Vikberg et al., 2015). Bakgrundsmaterialet till analysen är framtaget av SMHI genom modellkörningar i den hydrologiska modellen S-HYPE. Modellen innebär en generell beskrivning av snabbreagerande ("små") respektive långsamreagerande ("stora") grundvattenmagasin.

SGU:s analyser har gjorts för grundvattenmagasin fördelade över hela Sverige. När man jämför modell med mätdata har dock metoden som använts av Vikberg et al. (2015) visat sig ge osäkra resultat i delar av Sverige, särskilt avseende långsamreagerande magasin. För grundvattenmagasinen i Uppsala län finns därför mycket begränsad information att utgå ifrån. I stället har vi här valt att se till de generella dragen över Sverige som SGU presenterar när det gäller hur framtida klimat påverkar grundvattennivåerna. Vikberg et al. (2015) visar olika utveckling för norra och södra/sydöstra Sverige och det är dessvärre inte tydligt vilken av dessa trender som gäller just för Uppsala län. Resultaten i Vikberg et al. (2015) pekar i huvudsak på att det blir oförändrade grundvattennivåer, eller endast små förändringar i Uppsala län men dessa resultat är alltså förknippade med osäkerheter eftersom inga grundvattenmagasin inom länet utgjort underlag för den aktuella analysen. Viktigt att nämna i sammanhanget är också att Vikberg et al. inte specifikt studerat vad som händer under torrperioder utan att resultaten beskriver medelförhållandena under olika årstider.

Kompletterande kunskapsunderlag avseende grundvattenbildning finns presenterat på SGU:s hemsida och visas i **Figur 14**. SGU visar där att Uppsala län, särskilt Mälardalen, kommer få en minskad grundvattenbildning och därför snarare visar samma tendens som de södra och sydöstra delarna av Sverige än de nordliga när det gäller förändrad grundvattenbildning i slutet av seklet. Resultaten i **Figur 14** avser det äldre klimatscenariot SRES A1b, vilket grovt sett är att jämföra med RCP4.5.



Figur 14. Kartorna visar beräknad procentuell förändring av den årliga grundvattenbildningen vid år 2100 jämfört med perioden 1961-1990. Kartan till vänster gäller för magasin som domineras av grovkorniga jordarter och motsvaras därför av stora långsamtreakerande magasin medan kartan till höger avser magasin som domineras av morän och motsvaras därför av små snabbreakerande magasin. Vid beräkningen har klimatscenarioet SRES A1b använts som kortfattat utgår från en snabb global utveckling mot mer effektiva teknologier samt balanserad användning av fossila bränslen och förnyelsebar energi (koldioxidutsläppen till atmosfären är beräknas att kulminera runt år 2050). Källa: SGU

Förändringarna i grundvattennivå i Uppsala län antas därför ligga i linje med de slutsatser som Vikberg et al. (2015) presenterar för södra/sydöstra Sverige, vilka sammanfattas i faktarutorna nedan.

Framtida förändring för *långsamtreakerande* grundvattenmagasin:

- Sänkta årsmedelnivåer
- Grundvattnets maximi- och miniminivåer minskar
- Nivåfluktuationerna beräknas öka

Vikberg et al., 2015

Framtida förändring för *snabbreakerande* grundvattenmagasin:

- Sänkta årsmedelnivåer
- Grundvattennivåernas årstidsvariation, s.k. regim, kan förändras
- Lägre grundvattennivå under sensommar och tidig höst till följd av längre period utan grundvattenbildning under sommarhalvåret
- Nivåfluktuationerna är oförändrade

Vikberg et al., 2015.

Osäkerheterna i resultaten gör att det kan vara befogat med fördjupade utredningar av grundvattenmagasinen inom länet, särskilt med tanke på grundvattenresursernas stora betydelse för vattenförsörjningen i regionen.

SMHI har (på uppdrag av Länsstyrelserna i Blekinge, Kalmar och Kronbergs län) under hösten 2018 genomfört en sådan mer detaljerad studie av klimateffekter på långsamreagerande grundvattenmagasin i sydöstra Sverige där fokus legat på torra år och låga grundvattennivåer. Studien har visat att det inte enbart handlar om att studera generella förändringar i temperatur och nederbördsmonster i framtida klimat utan att det också är av stor vikt att studera när under året förändringarna sker. Under sommaren sker redan i dagens klimat mycket liten grundvattenbildning. Det är främst förändringen under påfyllnadsfasen (höst, vinter) som påverkar långsamreagerande grundvattenmagasin. För att nå mycket låga grundvattennivåer krävs att grundvattenbildningen under föregående påfyllnadsfas varit låg. Analyserna som gjorts för sydöstra Sverige pekar mot att den förväntade nederbördsökningen, särskilt vintertid, till stor del kompenserar för det varmare klimatet och därmed motverkar risken för mycket låga grundvattennivåer. Exempel från nutid som nämns i studien är de låga grundvattennivåerna under den torra sommaren år 2016 som föranleddes av en nederbördsfattig vinter vilket gjorde att grundvattennivåerna redan var låga inför starten på våren och sommaren (då ingen grundvattenbildning sker). Sommaren år 2018 var både varmare och torrare än år 2016, ser inte ut att leda till lika låga grundvattennivåer eftersom nederbörden under grundvattenbildningssäsongen (vinter) var god vilket resulterade i ett bättre utgångsläge.

För att bedöma den långsiktiga påverkan på grundvattenmagasinen i Uppsala län kan det med andra ord vara viktigt att genomföra fördjupade studier av frekvensen av torrår i framtiden, d.v.s. hur vanligt det blir med flera torrår på raken, och hur mycket en minskad grundvattenbildning skulle påverka nivåerna i specifika magasin i länet.

3.7 EROSION, RAS OCH SKRED

Ökad nederbörd, översvämningar och högre vattennivåer innebär ökad risk att jordens stabilitet förändras negativt och detta kan leda till erosion, ras och skred utmed sjöar och vattendrag. Detta är särskilt känsligt om dessa används som ytvattentäkter. Även marktorka påverkar jordens stabilitet vilket kan leda till sättningar och påföljande läckage i ledningsnätet.

För att utreda erosionsförhållanden i anslutning till vattendrag genomför SGI (Statens Geotekniska Institut) för närvarande, och sedan några år tillbaka, fördjupade utredningar av skredrisk längs särskilt prioriterade vattendrag i Sverige. Vattendragen i Uppsala län tillhör inte de högst prioriterade för fördjupade utredningar. Mer information och befintligt kartunderlag avseende ras, skred och erosion i Uppsala län hittas på <https://gis.swedgeo.se/rasskrederosion/>.

3.8 VATTENTEMPERATUR OCH IS

Framtida förändringar i vattentemperatur, isläggning och islossning för Mälaren redovisas i Stensen et al. (2017). Studien utgår från en förenklad beskrivning av Mälaren i två delar, en västra och en östra del. Detta är en relativt grov beskrivning av sjön då Mälaren är mycket flikig och grund på vissa håll. Värdena som presenteras nedan skall därför ses som ungefärliga.

Framtidsscenarierna visar att vi kan förvänta oss högre vattentemperatur, både på ytan och vid botten, samt kortare period med is. Mot slutet av seklet beräknas den period som större delar av Mälaren är täckt av is att halveras om utsläppen av växthusgaser fortsätter som idag. Vissa år kan komma att bli helt isfria. Ytvattnets medeltemperatur förväntas vara 1.5 - 2.5 grader varmare. Temperaturen i bottenvattnet beror på sjöns djup. De djupare delarna av östra Mälaren förväntas få 0.5-1,5 grader varmare bottenvatten medan grundare delar av sjön kan förväntas få upp emot 2 grader varmare bottenvatten. Förändringen ser ungefär likadan ut under hela året.

Perioder med höga ytvattentemperaturer, över 20 grader, förväntas bli 1 – 2 månader längre mot slutet av seklet. Det vill säga mot slutet av seklet kommer ytvattentemperaturen ligga över 20 grader under 2-3 månaders tid.

Framtidsscenarierna visar vidare att skiktningen i Mälarens djupare delar (mer än 30-40 meters djup) förändras med framtida klimatförändringar. Perioden som sjön är skiktad blir längre och det uppvärmda ytvattnet når djupare ner. Under vintern blir perioden med riktigt kallt vatten betydligt kortare.

I grundare vikar kan andra processer ha betydande effekt på skiktningen och de lokala temperaturförhållanden, vilka inte studerats av Stensen et al. (2017). En grundare vattenmassa värms upp snabbare och kan nå ännu högre temperaturer, men skiktningen och omblandningen kan också vara påverkad av tillrinnande vattendrag.

För mindre sjöar och vattendrag i Uppsala län kan man förvänta sig förändringar i linje med de som beräknats för Mälaren eller ännu större uppvärmning. För att beräkna storleken på förändringen är i en mindre sjö i länet eller vik av Mälaren rekommenderas fördjupade studier.

3.9 KEMISKA PROCESSER/VATTENKVALITET

Att förutsäga hur och i vilken grad vattenkvaliteten förändras till följd av förändrat klimat är komplicerat, vilket beror på att det finns så många samberoende faktorer i ett ekosystem. Den bedömning som kan göras på regional skala och som omfattats av detta uppdrag grundas därför på generella samband och resonemang. För att kunna kvantifiera förändringar i halter krävs djupare studier som lämpligen görs på lokal skala för t.ex. en specifik sjö eller ett visst grundvattenmagasin, exempelvis genom biogeokemisk modellering i kombination med analys av mätdata.

Högre vattentemperatur i sjöar och vattendrag, kortare isperiod och ökad avrinning under delar av året innebär ökad utlakning av närsalter och humusämnen från skog och mark. Detta kan leda till förändringar i ekosystemen med risk för försämrad vattenkvalitet. Exempelvis innebär ökad vattentemperatur och övergödning att risken för algbloomning och spridning av invasiva arter ökar. Längre period med vattentemperatur över 20 grader medför även att risken för tillväxt av ogynnsamma mikroorganismer och bakterier ökar, i råvattnet såväl som i ledningsnätet och därmed ökar risken för vattenburna sjukdomsutbrott. Översvämningar, ras och skred innebär vidare en ökad risk att även andra typer av föroreningar som idag finns bundna i marken når våra vattentäkter. Klimatförändringarna kan också leda till längre växtsäsonger, ändrad markanvändning, odling av nya grödor och ökad användning av gödsel och bekämpningsmedel vilket kan medföra påverkan på grundvatten- såväl som ytvattenkvaliteten (SGU, 2018).

Förändringar i grundvattennivåer och ändrade flödesförhållanden kan innebära att rörligheten och koncentrationen av kemiska ämnen, även giftiga ämnen, förändras. Både ökad och minskad nederbörd kan leda till att föroreningar som idag ligger bundna i marken, eller där det idag endast pågår en begränsad utlakning, blir mer rörliga. Ämnena riskerar då att hamna där det finns människor och växt- och djurliv som kan skadas. Högre medeltemperaturer tenderar också att öka föroreningars rörlighet, bland annat genom att perioderna med tjäle i marken minskar.

Såväl torrperioder som översvämningssituationer kan förändra flödesriktningen lokalt i marken samt även flödena mellan yt- och grundvatten vilket ökar risken för inströmning av ytvatten eller avloppsvatten till dricksvattenbrunnar.

I kustområdena finns en ökad risk för höjd havsnivå som påverkar grundvattnet genom att risken för saltvatteninträngning ökar i enskilda brunnar.

För Mälarens del finns även en risk att havsnivåhöjningen på lång sikt (bortom år 2100) kan innebära saltvatteninträngning i Mälaren.

Ändrade väderförhållanden under vintern kan göra att behovet av vägsaltning ökar och därigenom ökar risken för kontaminering av vattentäkter i anslutning till vägar.

3.10 HAVSNIVÅ

Havsnivåns påverkan på dricksvatten beror på om råvattnet tas som grundvatten eller ytvatten. Grundvattenytans nivå närmast kusten påverkas av havets medelvattennivå. Grundvattenytan kan höjas eller sänkas beroende på läget på havets medelvattenyta. Saltvatteninträngning i brunnar kan bli ett ökande problem vid stigande hav. Ytvatten kan också påverkas av stigande hav om vatten från havet bedöms kunna ta sig in i en sjö eller upp i ett vattendrag. För Uppsala läns del gäller detta framförallt Mälaren.

Medelvattenståndet längs Sveriges kust bestäms huvudsakligen av två faktorer; globala medelvattenståndet och landhöjningen. Klimatscenario RCP8.5, leder till en höjning av havsytan på 74 cm, som ett globalt medianvärde, till slutet av seklet. Det 95%-iga konfidensintervallet är 53 till 98 cm. Sedan den senaste istiden för ca 10 000 år sedan pågår en landhöjning i Sverige. Landhöjningen motverkar den globala havsnivåhöjningens effekt i länet och är något större i de norra delarna.

I **Tabell 2** redovisas framtida medelvattenstånd år 2100 i cm i höjdsystemet RH2000 för kustkommunerna i Uppsala län; Älvkarleby, Tierp och Östhammar. Uppgifter redovisas för klimatscenerierna RCP4.5 och RCP8.5 och är hämtade från SMHI Klimatologi Nr 41, 2017. Värdena anges utifrån klimatsceneriernas respektive median och siffrorna inom parentes är 5 och 95 percentiler. Värdena är kompenserade för landhöjningen som pågår.

Tabell 2. Beräknade framtida medelvattenstånd år 2100 i cm i RH2000 för kustkommunerna Älvkarleby, Tierp och Östhammar för klimatscenerierna RCP4.5 och RCP8.5. Värdena i parentes är 5% och 95%-konfidensintervallen av modellberäkningarna.

Kommun	RCP4.5	RCP8.5
Älvkarleby	-2 (-19, 16)	19 (-2, 43)
Tierp	1 (-16, 19)	22 (1, 46)
Östhammar	4 (-13, 22)	25 (4, 49)

Medelvattenståndet år 2100 i Uppsala län varierar från -19 cm till 49 cm i RH2000 beroende på klimatscenario. Medelvattenståndet 2018 vid mätstationen vid Forsmark är 8 cm i RH2000. Det innebär att medelvattenståndet 2100 kan komma att bli ungefär som idag eller något lägre för det lägre klimatscenariot, eller runt 10-20 cm högre än idag för RCP8,5 och för medianvärdet. Vattenståndshöjningens övre percentil leder till mer än 35 cm högre vattenstånd än vid dagens förhållanden. Vattenståndet i länet förväntas dock sjunka fram till 2050, eftersom landhöjningen just nu är större än havshöjningen. Havshöjningen är snabbast mot slutet på seklet och det är viktigt att komma ihåg att höjningen kommer att fortgå även därefter.

3.11 HAVETS SALTHALT

Avsaltning av havsvatten för dricksvattenproduktion är en möjlighet som har lyfts allt mer i Sverige på sistone. Inflöde av salt havsvatten till Östersjön sker genom Öresund och Bälten samtidigt som stora mängder sötvatten tillförs Östersjön årligen genom nederbörd samt

genom alla de vattendrag som mynnar i Östersjön. Det är blandningen av dessa båda vattenmassor som styr den slutliga salthalten i olika delar av Östersjösystemet. De modellstudier som hittills gjorts avseende klimatförändringarnas effekt på salthalten i Östersjön visar en tendens mot minskad salthalt i ytvattnet, i storleksordningen någon promille, mot slutet av seklet vid RCP 4.5 och något större minskning vid RCP8.5 (SMHI, 2018). Osäkerheten i resultaten är dock mycket stor. Osäkerheten beror dels på att olika globala modeller ger olika nederbörd över Östersjöområdet, dels på att effekten av havsnivåhöjningen inte är med i alla beräkningar samt på att modellerna är för grovupplösta i inflödesområdet (speciellt Öresund) för att med säkerhet kunna representera förändringen i inflöden korrekt (Arneborg, 2016).

4 KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS PÅVERKAN PÅ VATTENRESURSER

Effekterna av klimattförändringarna kan ha olika betydelse i olika områden inom länet. Därför har en indelning gjorts i tre typområden främst med avseende på klimateffekter men även typ av vattenresurs och jordarter se **Figur 15**. Gränserna mellan de tre typområdena ska inte tolkas som exakta utan ungefärliga.



Figur 15. Länet indelas i tre typområden utifrån klimateffekter, vattenresurser mm.

Analysen har sökt svar på följande frågor:

- Hur påverkas vattenresurserna ur ett dricksvattenperspektiv i framtida klimat i slutet av seklet? Hur påverkas råvattenkvantiteten respektive råvattenkvaliteten?
- Vilka variationer finns mellan de olika typområdena?
- Finns indikationer på åtgärder som behöver vidtas för att möta förändringarna?

Syftet med kommunala och regionala vattenförsörjningsplaner är att se till vattenresurser och vattenanvändning i ett långsiktigt tidsperspektiv och se om eventuella ökade vattenbehov kan tillgodoses. Hur vattenresurserna påverkas i ett framtida klimat är ett, av många, underlag för dessa bedömningar.

4.1 TYPOMRÅDE MÄLARDALEN

Området omfattar Håbo kommun och ca halva södra delen av Enköpings kommun samt liten del av sydvästra Knivsta kommun, se **Figur 16**. Att delar av Knivsta kommun ingår i typområde Mälardalen beror på att kommunen gränsar till Mälaren.



Figur 16. Typområde Mälardalen innehåller Håbo kommun, merparten av Enköpings kommun samt sydvästra Knivsta kommun.

Typiska drag för området är att dricksvattenförsörjningen sker från både grund- och ytvatten, där Enköpingsåsen och Mälaren utgör viktiga vattenresurser. Området innehåller inte många sjöar och endast ett större vattendrag: Örsundaån, som ligger på gränsen till typområde Inland. Vidare har Mälardalen mycket jordbruksmark. Vegetationsperioden är längst i denna del av länet och det är även varmare och torrare här jämfört med övriga delar av länet. Dessa geografiska skillnader tenderar att kvarstå i framtida klimat.

Förväntat framtida klimat i typområdet jämfört med de andra typområdena:

- Fortsatt varmest lufttemperatur
- Fortsatt längst vegetationsperiod
- Minskad grundvattenbildning, speciellt här
- Högre vattentemperatur
- Tydligast ändring av medeltillrinningens årsdynamik; ökar vintertid och minskar sommartid
- Extrema höga flöden (HQ10-HQ200) ökar endast här
- Mer nederbörd men lägst ökning
- Fler dagar med lågflöde, men lägst förändring
- Torrperiodens längd ökar
- Ökad risk för skyfall
- Lokal årsmedeltillrinning ökar

Ökad lufttemperatur leder till att vegetationsperioden förlängs med ca 2-3 månader. Ökad lufttemperatur gör också att avdunstningen och därmed marktorkan ökar. Torrperioderna blir längre. Det är osäkert hur bevattningsbehovet i jordbruket kommer att förändras men mycket av klimateffekterna pekar på att bevattningsbehovet kan komma att öka.

Klimatförändringarna kan också leda till ändrad markanvändning, odling av nya grödor och ökad användning av gödsel och bekämpningsmedel, vilket kan medföra påverkan på grundvatten- såväl som ytvattenkvaliteten (SGU, 2018). Övergödning samt tillförsel av förorenande ämnen och mikroorganismer till sjöar och vattendrag kan därmed komma att öka. Risken för algblomning ökar.

Ökad nederbörd ger mer vatten men också ökad risk för spridning av föroreningar pga ökad risk för översvämningar och avrinning från jordbruksmark, betesmark, urban mark och vägar.

Medeltillrinningens årsdynamik förändras och ökar. Den ökar speciellt under vintern men minskar på vår och sommar. Detta kan medföra ökad risk för kvalitetspåverkan eftersom det kan bli vanligare med översvämningar/höga vattennivåer. Det blir mer regn än snö i framtiden vilket bidrar till ökad ytavrinning och infiltration/genomströmning i marken. Det kan påverka de markkemiska processerna och i förlängningen kan vattenkvaliteten förändras (övergödning, brunifiering, utlakning, transport av föroreningar, urlakning av gödselad mark och betesmark). Detta gäller både yt- och grundvatten.

Ökningen av tillrinning i vattendragen är extra tydlig här i Mälardalen jämfört med de andra typområdena. Vårflödestoppen försvinner och i stället fås en 3-4 månader lång period med höga flöden under vintern. Trots att nederbörden ökar i ett framtida klimat så minskar kvantiteten vatten som når vattendrag och sjöar under vår och sommar eftersom ökad temperatur leder till ökad avdunstning. Beroende på hur vattenbehovet ser ut så kan detta innebära ökade krav på magasinering av vatten från vinterhalvåret till sommarhalvåret.

Höga vattenflöden (med återkomsttid 10 till 200 år) ökar i vattendragen i de sydligaste delarna av Uppsala län till skillnad från de andra typområdena. Antal dagar med lågflöde ökar i alla tre typområden men är inte lika stor i Mälardalen som i resten av länet. Extremerna för flöden blir alltså värre.

Lokala tillrinningen ökar, speciellt på vintern och hösten men minskar på våren. På sommaren minskar den eller är oförändrad enligt RCP 4.5. Detta har betydelse för vattenuttag som sker ur sjöar och vattendrag med små avrinningsområden där vattentillgången enbart beror på lokala förhållanden och inte på det som sker uppströms. Det avser således bäckar och diken snarare än åar och älvar samt betydligt mindre sjöar än Mälaren. Minskad lokal tillrinning på sommaren kan påverka jordbruket och speciellt djurhållningen på en lokal skala genom att det kan bli lägre kapacitet i mycket små yt- och grundvattenmagasin. Enskilda brunnar kan sina om de ligger i ett litet avrinningsområde och/eller i snabbreagerande grundvattenmagasin vilket kan göra att fler hushåll på sikt vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

Ökad nederbörd, översvämningar och högre vattennivåer innebär ökad risk att jordens stabilitet förändras negativt och detta kan leda till erosion, ras och skred utmed sjöar och vattendrag. Mälaren är den vattenresurs inom typområdet som bedöms mest känslig för denna typ av påverkan, särskilt i anslutning till vattenintag. Även vattenintag som ligger på djupet och en bit ut från strandkanten kan påverkas av föroreningar eftersom partiklar och grumling från ras kan sjunka och spridas ner mot djupare delar av sjön. Vidare innebär det även en ökad risk för skador på strandnära anläggningar och ledningsdragningar. Frågan om att minska översvämningens riskerna längs Mälaren har hanterats i samband med ombyggnaden av Slussen i Stockholm. Mälaren ligger idag i medel 70 cm över Saltsjöns vattenyta men kommer på lång sikt att påverkas av havsnivåhöjningen och i och med det kan det bli svårare att tappa vatten från Mälaren. För mer information om Mälaren i ett framtida klimat bortom år 2100 se Länsstyrelsernas rapport "Mälaren om 100 år- förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden".

När det gäller påverkan på grundvattennivåerna är det underlag som finns tillgängligt förknippade med osäkerheter, men de pekar ändå på att det finns en risk för minskad grundvattenbildning, speciellt för Mälardalen, och sänkta nivåer i de stora långsamreagerande grundvattenmagasinen i framtida klimat. Osäkerheterna i resultaten gör det befogat med fördjupade utredningar av framtida vattenbalans och uttagsbehov i grundvattenmagasinen inom länet, särskilt med tanke på grundvattenmagasinens stora betydelse för vattenförsörjningen i regionen.

Exempel på effekter är att ändrad grundvattennivå ger ändrad uppehållstid i den omättade zonen vilket kan påverka de markkemiska processerna och vattenkvaliteten negativt. Ändrade nivåer kan även öka behovet av ytvatten för konstgjord infiltration. Detta i kombination med ett ökat vattenbehov gör frågan viktig att utreda vidare.

Framtida klimats variation i nederbörd mellan olika år och under året är viktig när man ska beräkna grundvattennivåns förändring. Under sommaren sker redan i dagens klimat mycket liten grundvattenbildning. Det är främst förändringen under påfyllnadsfasen (höst, vinter) som påverkar långsamreagerande grundvattenmagasin. För att nå mycket låga grundvattennivåer krävs att grundvattenbildningen under föregående påfyllnadsfas varit låg. Om det blir flera år som följer på varandra med låg påfyllnadsgrad, kan grundvattentillgången bli begränsad. Detta ställer ökade krav på redundanta system och eventuellt kan behov av konstgjord infiltration uppstå. Analyser som gjorts för grundvattenmagasin i sydöstra Sverige pekar mot att den förväntade nederbördsökningen, särskilt vintertid, till stor del kompenserar för det varmare klimatet och därmed motverkar risken för väldigt låga grundvattennivåer. Det finns dock även i framtiden stora variationer på nederbörden från år till år och man kan inte utesluta att flera torrår efter varandra kan inträffa. För att bedöma den långsiktiga påverkan på grundvattenmagasinen i Uppsala län kan det med andra ord vara viktigt att genomföra fördjupade studier av frekvensen av torrår i framtiden, d.v.s. hur vanligt det blir med flera torrår på raken, och hur mycket en minskad grundvattenbildning skulle påverka nivåerna i långsamreagerande magasin i länet.

De snabbreagerande magasinerna kan få lägre grundvattennivå under sensommar och höst, vilket kan ge kapacitetsbrist. Brunnar i snabbreagerande grundvattenmagasin kan periodvis sina vilket kan göra att fler hushåll, som idag har enskild vattenförsörjning, på sikt vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

Ökad lufttemperatur leder till ökad vattentemperatur. Mälaren, såväl som mindre sjöar, tenderar att få ökad temperatur både vid ytan och vid botten vilket kan påverka råvattenkvaliteten negativt. Skiktningen förändras vilket kan innebära att ett råvattenintag behöver flyttas till nya och eventuellt djupare lägen. Det blir ovanligare med kallt bottenvatten, även för Mälaren. Ändrat tillrinningsmönster till små och stora sjöar kan leda till ändrad uppehållstid i sjön och ändrad utspädningseffekt, vilket också kan påverka vattenkvaliteten negativt.

Högre vattentemperatur och övergödning påverkar ekosystemet och ökar risken för algblomning och spridning av invasiva arter. Högre vattentemperatur i kombination med ökad nederbörd kan öka risken för vattenkvalitetsproblem p.g.a. t.ex. bakterier och parasiter.

Vi föreslår att mätning av råvattenkvalitet påbörjas för att kontrollera råvattenkvalitet och hur den kan komma att förändras i förändrat klimat om detta inte redan görs. Mätningen kan behöva pågå under flera års tid för fånga upp förändringar i förhållande till förändrat klimat. Några olika provpunkter i Mälaren och Enköpingsåsen skulle kunna vara lämpligt i detta typområde.

Högre lufttemperatur ger högre temperatur även i mark och i grundvatten vilket tenderar att öka föroreningars rörlighet, bland annat genom att perioderna med tjäle i marken minskar. Detta gör det viktigt att veta var det finns förorenad mark, särskilt i anslutning till viktiga grundvattenmagasin. Klimateffekterna pekar också på ett ökat behov av att skydda de grundvattenförekomsterna mot eventuella föroreningar. Ju fler verksamheter, desto större risk för förorening som kan påverka vattenkvaliteten och vattenkvantiteten. Ökad exploatering i närheten av dricksvattentäkter i kombination med ökad långtidsnederbörd och ökad risk för skyfall ger en ökad avrinning från urban mark och vägar. Detta kan leda till ökad förorening av yt- och grundvattenresurser.

Mindre snö och mer regn kan innebära att mer saltning av vägar behövs då temperaturen i högre grad varierar kring noll grader. Detta innebär ökad risk för förorening av grundvattenmagasin.

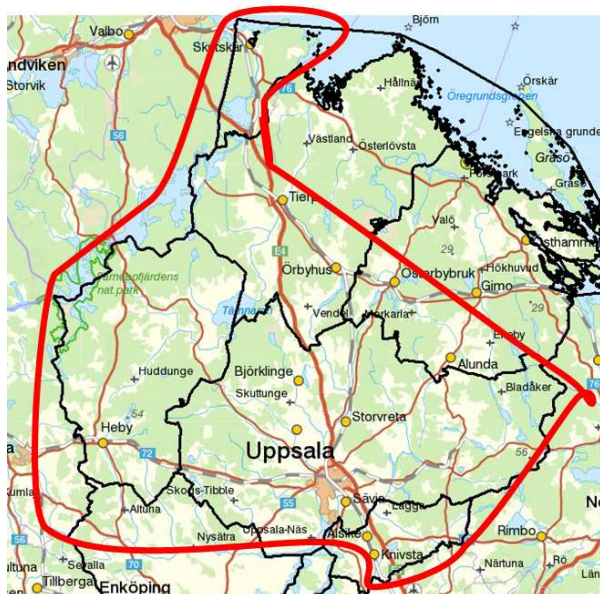
Förslag på fortsatta studier:

- Klimatförändringarnas påverkan på grundvattenbildning och nivåer i Uppsala län
Frekvens av torrår i framtiden. Hur vanligt blir det med flera torrår på raken? Hur påverkas nivåerna i specifika magasin?
- Mätningar av råvattenkvalitet
- Jordbrukets vattenbehov i slutet av seklet: kvantitet och mönster.

4.2 TYPOMRÅDE INLAND

Typområde Inland innefattar följande kommuner i sin helhet: Älvkarleby, Uppsala och Heby, större delen av Knivsta kommun samt ca halva arealen av följande kommuner: Tierp, Östhammar och Enköping, se **Figur 17**.

Älvkarleby kommun ligger vid kusten men sett ur vattenförsörjnings- och befolkning/bebyggelsesynpunkt tillhör kommunen i denna studie typområde Inland. Befolkningen planeras i tätorterna och inte i kustområdet, vilket till stora delar är, och planeras förbli, obebyggt. Uppsalaåsen och Dalälvens mynning kan dock indirekt påverkas av kustklimat och klimatförändringarnas påverkan på havet vilket innebär att Älvkarleby kommun rekommenderas att även studera påverkan på vattenresurserna i Typområde Kust.



Figur 17. Typområde Inland innefattar följande kommuner: Älvkarleby, Uppsala och Heby, merparten av Knivsta kommun samt ca halva Östhammar och Enköping.

Typiska drag för området är att dricksvattenförsörjningen idag är starkt beroende av stora grundvattenmagasin i Enköpingsåsen och Uppsalaåsen med biåsar. Dessutom utgör ytvatten från Tämnanen/Fyrisån en viktig resurs för konstgjord infiltration i Uppsalaåsen. Det finns även följande vattenresurser: Ekoln, Dalälven och dess sjöar samt enstaka grundvattenförekomster i berg. I östra delarna av Uppsala kommun samt i västra Uppsala/östra Heby och kring Österbybruk finns sjöar, men de bedöms vara för små för att kunna användas i någon större skala. Flera rinnande vattendrag finns i området, varav Dalälven, Tämnanån och Fyrisån är vattenrikast.

Förväntat framtida klimat i typområdet jämfört med de andra typområdena:

- Ökad lufttemperatur
- Ökad nederbörd
- Södra delarna fortsatt torraste området i länet
- Torrperiodernas längd ökar
- Medeltillrinningens årsvärde ändras; ökar vintertid och minskar sommartid
- Oförändrade eller minskade extrema flöden (HQ10-HQ200)
- Lokal årsmedeltillrinning ökar
- Minskad eller oförändrad grundvattenbildning

- Högre vattentemperatur
- Ökad risk för skyfall
- Längre vegetationsperiod
- Fler dagar med lågflöde, störst förändring vid Dalälven

Ökad lufttemperatur leder till att vegetationsperioden förlängs med ca 1-2 månader i inlandet. Både Mälardalen och Kustområdet uppvisar ännu större ökningar vad gäller vegetationsperiodens längd, men ökningen bedöms vara av betydelse även för inlandet. Ökad lufttemperatur gör också att avdunstningen och därmed marktorkan ökar. Länets torraste områden ligger idag i de södra delarna av inlandet. Torrperioderna blir dessutom längre samtidigt som flödena i vattendragen minskar på våren och sommaren. Sammantaget kan dessa förändringar antas leda till en negativ påverkan på vattenresurserna i typområdet, både avseende kapacitet och kvalitet. Inom jordbrukssektorn kan man (enligt uppgift från Länsstyrelsen) förvänta sig en högre produktion framöver. Det finns därmed en risk för ökat vattenbehov periodvis samtidigt som kapaciteten minskar med risk för vattenbrist till följd. Det är osäkert hur bevattningsbehovet i jordbruket kommer att förändras men mycket av klimateffekterna pekar på att bevattningsbehovet kan komma att öka förutsatt att man fortsätter odla de grödor som odlas idag. Grödor som inte kräver lika mycket vatten som idag kan var ett bra alternativ att odla i framtiden. Klimatförändringarna kan också leda till ändrad markanvändning, odling av nya grödor och ökad användning av gödsel och bekämpningsmedel, vilket kan medföra påverkan på grundvatten- såväl som ytvattenkvaliteten (SGU, 2018). Övergödning samt tillförsel av förorenande ämnen och mikroorganismer till sjöar och vattendrag kan därmed komma att öka. Risken för algblooming ökar.

Ökad nederbörd ger mer vatten men också ökad risk för spridning av föroreningar p.g.a. ökad risk för översvämningar och avrinning från jordbruksmark, betesmark, urban mark och vägar.

Medeltillrinningens årsdynamik förändras och ökar på årsbasis. Den ökar speciellt under vintern men minskar på vår och sommar. Detta kan medföra ökad risk för kvalitetspåverkan i yt- och grundvatten eftersom det kan bli vanligare med översvämningar/höga vattennivåer. Ökningen i tillrinning vintertid är tydligare i Fyrisån än i Tämnrån. Vårflödestoppen försvinner i både Tämnrån och Fyrisån och i stället fås en 3-4 månader lång period med höga flöden under vintern. Trots att nederbörden ökar i ett framtida klimat så minskar kvantiteten vatten som når vattendrag och sjöar under vår och sommar eftersom ökad temperatur leder till ökad avdunstning. Antalet dagar med lågflöden ökar något. Beroende på hur vattenbehovet ser ut så kan detta innebära ökade krav på magasinering av vatten från vinterhalvåret till sommarhalvåret.

Slutsatserna för Dalälven skiljer sig åt från vattendragen inom Uppsala län till följd av att den har ett tillrinningsområde som sträcker sig långt nordväst om länet och därmed är påverkad av annat klimat. Framtidsscenarierna för Dalälven visar generellt sett på ökade flöden, och att mönstret över årstidsförloppet kvarstår. Detta innebär främst en ökad risk för försämrad ytvattenkvalitet. Kvantitetsmässigt tenderar tillgången på vatten att minska något under försommaren, i övrigt kommer vattentillgången att öka under året i Dalälven.

Dricksvattenförsörjningen i Uppsala är idag beroende av konstgjord infiltration i Uppsalaåsen där råvattnet tas från Tämnrån. Eftersom tillrinningens årsdynamik förändras och vattenbehovet förväntas öka finns det stor risk att Tämnråns kapacitet inte räcker till i framtiden. Vattenuttag ur Dalälven har diskuterats som alternativ (enligt uppgift från Länsstyrelsen) och det bör utredas mer eftersom Tämnrån, liksom alla sjöar och vattendrag i länet, riskerar att påverkas både kvantitets- och kvalitetsmässigt i framtiden. Klimatförändringarna innebär att det kommer tillrinna mer vatten till Tämnrån under vintern och mindre under vår och sommar. Antal dagar med lågvatten blir fler, vilket kan

leda till kapacitetsbrist periodvis. Ändrat tillrinningsmönster kan även leda till ändrad uppehållstid i sjön och ändrad utspädningseffekt, vilket kan påverka vattenkvaliteten. Det finns risk för att vattenkvaliteten ändras p.g.a. högre vattentemperatur, ökad risk för översvämning och skyfall. För att behålla Tämnares konstgjord infiltration bör därför vattenbalansen ses över t.ex. genom att undersöka möjligheterna att magasinera vatten under vintern för användning under vår och sommar.

Medelvattenföringen i Dalälven är idag 365 m³/s. Påfyllnad från Tämnares till Fyrisån för konstgjord infiltration till Uppsalaåsen är enligt vattendom 86 400 m³/d (1 m³/s) vilket innebär att påfyllnad av Tämnares från Dalälven bör vara möjligt volymmässigt. Antal dagar med låga vattenflöden fördubblas dock nästan för Dalälven. Idag är medellågvattenföringen (MLQ) ca 100 m³/s och bedöms preliminärt vara tillräcklig för uttag i storleken 2-5 m³/s för påfyllnad av Tämnares under en kritisk period.

Det näst största vattendraget i länet, Fyrisån, har en medellågvattenföring på mindre än 2 m³/s. Det bedöms därför inte vara möjligt att ta 2-5 m³/s från något annat vattendrag i länet att infiltrera i Uppsalaåsen. Observera att detta räkneexempel endast är ett första överslag baserat på storleksordning av uttag i förhållande till tillgång. Beräkningarna behöver kompletteras med mer detaljerade uppgifter. Vi föreslår därför att man undersöker hur lågflödena för Dalälven förändras i framtiden. Man behöver även titta på konkurrerade intressen som t.ex. vattenkraften för uttag av vatten i Dalälven under lågflödesperioder.

Även den lokala tillrinningen ökar i framtiden, speciellt på vintern och hösten men minskar på våren. På sommaren minskar den eller är oförändrad enligt RCP 4.5. Detta har betydelse för vattenuttag som sker ur sjöar och vattendrag med små avrinningsområden där vattentillgången enbart beror på lokala förhållanden och inte på det som sker uppströms. Det avser således små sjöar samt bäckar och diken snarare än åar och älvar. Minskad lokal tillrinning på sommaren kan påverka jordbruket och speciellt djurhållningen på en lokal skala genom att det kan bli lägre kapacitet i mycket små yt- och grundvattenmagasin. Enskilda brunnar kan sina om de ligger i ett litet avrinningsområde och/eller i snabbreagerande grundvattenmagasin vilket kan göra att fler hushåll på sikt vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

När det gäller påverkan på grundvattennivåerna är det underlag som finns tillgängligt förknippade med osäkerheter, men de pekar ändå på att det finns en risk för minskad grundvattenbildning och sänkta nivåer i de stora långsamreagerande grundvattenmagasinen i framtida klimat. Osäkerheterna i resultaten gör det befogat med fördjupade utredningar av framtida vattenbalans och uttagsbehov i grundvattenmagasinen inom länet, särskilt med tanke på grundvattenmagasinens stora betydelse för vattenförsörjningen i regionen.

Exempel på effekter är att ändrad grundvattennivå ger ändrad uppehållstid i den omättade zonen vilket kan påverka de markkemiska processerna och vattenkvaliteten negativt. Ändrade nivåer kan även öka behovet av ytvatten för konstgjord infiltration. Detta i kombination med ett ökat vattenbehov gör frågan viktig att utreda vidare.

Framtida klimats variation i nederbörd mellan olika år och under året är viktig när man ska beräkna grundvattennivåns förändring. Under sommaren sker redan i dagens klimat mycket liten grundvattenbildning. Det är främst förändringen under påfyllnadsfasen (höst, vinter) som påverkar långsamreagerande grundvattenmagasin. För att nå mycket låga grundvattennivåer krävs att grundvattenbildningen under föregående påfyllnadsfas varit låg. Om det blir flera år som följer på varandra med låg påfyllnadsgrad, kan grundvattentillgången bli begränsad. Detta ställer ökade krav uttag av vatten från Tämnares, eller andra ytvattentillgångar, samt ökade krav på redundanta system. Analyser som gjorts för grundvattenmagasin i sydöstra Sverige pekar mot att den förväntade nederbördsökningen, särskilt vintertid, till stor del kompenserar för det varmare klimatet och därmed motverkar risken för väldigt låga grundvattennivåer. Det finns dock även i framtiden stora variationer på nederbörden från år till år och man kan inte utesluta att flera

torrår efter varandra kan inträffa. För att bedöma den långsiktiga påverkan på grundvattenmagasinen i Uppsala län kan det med andra ord vara viktigt att genomföra fördjupade studier av frekvensen av torrår i framtiden, d.v.s. hur vanligt det blir med flera torrår på raken, och hur mycket en minskad grundvattenbildning under flera år skulle påverka nivåerna i de stora långsamreagerande magasinen i länet.

De snabbreagerande magasinen kan få lägre grundvattennivå under sensommar och höst, vilket kan ge kapacitetsbrist. Brunnar i snabbreagerande grundvattenmagasin kan periodvis sänka vilket kan göra att fler hushåll, som idag har enskild vattenförsörjning, på sikt vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

Ökad lufttemperatur leder till ökad vattentemperatur. Tämnaren, och övriga sjöar, kommer att få ökad temperatur, både vid ytan och vid botten, vilket kan påverka råvattenkvaliteten negativt. Ju grundare sjö desto större uppvärmning kan förväntas. Ändrat tillrinningsmönster till små och stora sjöar kan leda till förändrad uppehållstid i sjön och ändrad utspädningseffekt, vilket också kan påverka vattenkvaliteten negativt.

Ökad nederbörd ger ökad risk för spridning av föroreningar p.g.a. ökad risk för översvämningar och avrinning från jordbruksmark, betesmark, urban mark och vägar. Nederbörden kommer allt mer som regn i stället för snö i framtiden vilket bidrar till ökad ytavrinning och infiltration/genomströmning i marken. Det kan påverka de markkemiska processerna och i förlängningen kan vattenkvaliteten förändras (övergödning, brunifiering, utlakning, transport av föroreningar, urlakning av gödslad mark och betesmark). Högre vattentemperatur och övergödning påverkar ekosystemet och ökar risken för algblooming och spridning av invasiva arter i ytvatten. Högre vattentemperatur i kombination med ökad nederbörd kan öka risken för vattenkvalitetsproblem p.g.a. t.ex. bakterier och parasiter.

Vi föreslår att mätning av råvattenkvalitet påbörjas för att kontrollera råvattenkvalitet och hur den kan komma att förändras i förändrat klimat om detta inte redan görs. Mätningen kan behöva pågå under flera års tid för att fånga upp förändringar i förhållande till förändrat klimat. Tämnaren, Dalälven och Uppsalaåsen skulle kunna vara lämpliga provpunkter i detta typområde.

Högre lufttemperatur ger högre temperatur även i mark och i grundvatten vilket tenderar att öka föroreningars rörlighet, bland annat genom att perioderna med tjäle i marken minskar. Detta gör det viktigt att veta var det finns förorenad mark i anslutning till grundvattenmagasinen. Klimateffekterna pekar också på ett ökat behov av att skydda grundvattenförekomsterna, speciellt Uppsalaåsen, mot eventuella föroreningar. Det finns idag föroreningar och kvalitetsproblem i Uppsalaåsen. Man planerar även exploatering i närheten av riksklassade anläggning samt i närheten av Uppsalaåsen. Det finns också många vägar kring åsarna. Ju fler verksamheter, desto större risk för förorening som kan påverka vattenkvaliteten och vattenkvantiteten. Ökad exploatering i närheten av åsen i kombination med ökad långtidsnederbörd och ökad risk för skyfall ger en ökad avrinning från urban mark och vägar. Detta kan leda till ökad förorening av ytvatten och grundvattenmagasin. Försämrade vattenkvalitet och högre temperatur i Tämnaren kan också påverka grundvattenkvaliteten och temperaturen i Uppsalaåsen vilket innebär att det kan komma att ställas ökade krav på rening av infiltrerat ytvatten, alternativt kan det bli ökade krav på rening av utgående dricksvatten till brukaren. Om åsarna inte kan användas i framtiden finns risk för dyra ledningsdragningar/tunnlar från andra län.

Det är måttlig risk för saltvatteninträngning i bergboredd brunnar i typområdet Inland i Tierp, Östhammar och östra delen av Uppsala kommun. Mindre snö och mer regn kan innebära att mer saltning av vägar behövs då temperaturen i högre grad varierar kring noll grader. Detta innebär ökad risk för förorening av grundvattenmagasin.

Förslag på fortsatta studier:

- Vattenbalansen för Tämnaren ses över i ett framtida klimat. Finns möjlighet att magasinera vatten från höst/vinter till vår/sommar?
- Vilka marginaler finns det i Uppsalaåsen inför förväntat ökat framtida vattenbehov?
- Alternativt råvatten från Dalälven. Hur förändras lågflöden i Dalälven i framtida klimat? Utred konkurrerade intressen t.ex. vattenkraften, under lågflödesperioder.
- Klimatförändringarnas påverkan på grundvattenbildning och nivåer i Uppsala län. Frekvens av torrår i framtiden. Hur vanligt blir det med flera torrår på raken? Hur påverkas nivåerna i specifika magasin?
- Mätningar av råvattenkvalitet

4.3 TYPOMRÅDE KUST

Typområde Kust innefattar ca halva arealen av två kommuner: Östhammar och Tierp, se **Figur 18**.

Älvkarleby kommun ligger vid kusten men sett ur vattenförsörjnings- och befolkning/bebyggelsesynpunkt tillhör kommunen i denna studie typområde Inland. Älvkarleby kommun rekommenderas att även studera klimateffekten på vattenresurserna i detta typområde.



Figur 18. Typområde Kust berör halva Östhammar och Tierps kommuner.

Typiskt för området är att man har relativt dålig tillgång till större vattenresurser. Man tar huvuddelen av sitt vatten från små grundvattenmagasin. Det finns inga stora grundvattenmagasin. Det finns två stora industrier, Forsmarks kärnkraftverk och Sandvik, vilka tar sitt vatten från egna ytvattentäkter. Det finns relativt många små sjöar en bit in från kusten, speciellt längs Forsmarksån. Dessa bedöms dock vara för små för att kunna användas i någon större utsträckning. Det finns tre större vattendrag som mynnar i området: Tämnrån, Forsmarksån och Olandsån. Det är idag brist på vatten i kustområdet, speciellt sommartid.

Förväntat framtida klimat i typområdet jämfört med de andra typområdena:

- Ökad lufttemperatur (varmare än Inland pga. havet)
- Högst ökad nederbörd, speciellt sommartid
- Längre vegetationsperiod
- Torrperiodens längd ökar
- Oförändrade eller minskade extrema flöden (HQ10-HQ200)
- Lokal årsmedeltillrinning ökar
- Högre vattentemperatur
- Ökad risk för skyfall
- Medeltillrinningens årsdynamik ändras; ökar vintertid och minskar sommartid
- Minskad eller oförändrad grundvattenbildning (lägst minskning)
- Högre havsnivå
- Lägre salthalt i havet
- Fler dagar med lågflöde

Liksom övriga delar av länet blir lufttemperaturen högre vilket leder till att vegetationsperioden förlängs med ca 2-3 månader. Ökad lufttemperatur gör också att

avdunstningen och därmed marktorkan ökar. Torrperioderna blir längre. Det är osäkert hur bevattningsbehovet i jordbruket kommer att förändras men mycket av klimateffekterna pekar på att bevattningsbehovet kan komma att öka. Kustområdet bedöms dock inte vara lika påverkat av jordbruk som övriga två typområden. Klimatförändringarna kan också leda till ändrad markanvändning, odling av nya grödor och ökad användning av gödsel och bekämpningsmedel, vilket kan medföra påverkan på grundvatten- såväl som ytvattenkvaliteten (SGU, 2018). Övergödning samt tillförsel av förorenande ämnen och mikroorganismer till sjöar och vattendrag kan därmed komma att öka. Risken för algbloomning ökar.

Tillrinningsmönstret kommer att ändras under året i framtiden. Det kommer mer vatten under vintern samt under längre period respektive mindre mängd vatten under vår och sommar. Detta kan medföra ökad risk för kvalitetspåverkan i yt- och grundvatten eftersom det kan bli vanligare med översvämningar/höga vattennivåer. Vårflödestoppen försvinner i Tämnrån, Forsmarksån och Olandsån och i stället fås en 3-4 månader lång period med höga flöden under vintern. Trots att nederbörden ökar i ett framtida klimat så minskar kvantiteten vatten som når vattendrag och sjöar under vår och sommar eftersom ökad temperatur leder till ökad avdunstning. Detta är extra känsligt i kustområdet eftersom man redan idag upplever kapacitetsbrist, speciellt under sommaren. Antalet dagar med lågflöden ökar något, vilket kan leda till kapacitetsbrist periodvis. Beroende på hur vattenbehovet ser ut, så kan detta innebära ökade krav på magasinering av vatten från vinterhalvåret till sommarhalvåret.

Även den lokala tillrinningen ökar i framtiden, speciellt på vintern och hösten men minskar på våren. På sommaren minskar den eller är oförändrad enligt RCP 4.5. Detta har betydelse för vattenuttag som sker ur sjöar och vattendrag med små avrinningsområden där vattentillgången enbart beror på lokala förhållanden och inte på det som sker uppströms. Det avser således små sjöar samt bäckar och diken snarare än åar och älvar. Minskad lokal tillrinning på sommaren kan påverka jordbruket och speciellt djurhållningen på en lokal skala genom att det kan bli lägre kapacitet i mycket små yt- och grundvattenmagasin. Enskilda brunnar kan sina om de ligger i ett litet avrinningsområde och/eller i snabbreagerande grundvattenmagasin vilket kan göra att fler hushåll på sikt vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning.

När det gäller påverkan på grundvattennivåerna är det underlag som finns tillgängligt förknippade med osäkerheter, men de pekar ändå på att det finns en risk för minskad grundvattenbildning och sänkta nivåer. De snabbreagerande magasinerna kan få lägre grundvattennivå under sensommar och höst, vilket kan ge kapacitetsbrist. Brunnar i snabbreagerande grundvattenmagasin kan periodvis sina vilket kan göra att fler hushåll, som idag har enskild vattenförsörjning, på sikt vill ansluta sig till kommunal vattenförsörjning. Exempel på andra effekter är att ändrad grundvattennivå ger ändrad uppehållstid i den omättade zonen vilket kan påverka de markkemiska processerna och vattenkvaliteten negativt.

Ökad lufttemperatur leder till ökad vattentemperatur. Alla sjöar och vattendrag kommer att få ökad temperatur, både vid ytan och vid botten, vilket kan påverka råvattenkvaliteten negativt. Ju mindre och grundare sjö desto större uppvärmning kan förväntas. Vidare kan ändrat tillrinningsmönster leda till förändrad uppehållstid i sjön och ändrad utspädningseffekt, vilket också kan påverka vattenkvaliteten negativt.

Kustområdet är det område som idag uppvisar högst nederbörd inom länet. Detta är ett mönster som kommer kvarstå eller till och med förstärkas i framtida klimat, eftersom nederbördsökningen periodvis under året är högre här än i övriga typområden. Ökad nederbörd ger mer vatten, under hösten-vintern, men också ökad risk för spridning av föroreningar p.g.a. ökad risk för översvämningar och avrinning från jordbruksmark, betesmark, urban mark och vägar. Nederbörden kommer allt mer som regn i stället för snö i

framtiden vilket bidrar till ökad ytvavrinning och infiltration/genomströmning i marken. Det kan påverka de markkemiska processerna och i förlängningen kan vattenkvaliteten förändras (övergödning, brunifiering, utlakning, transport av föroreningar, urlakning av gödslad mark och betesmark). Högre vattentemperatur och övergödning påverkar ekosystemet och ökar risken för algbloomning och spridning av invasiva arter i ytvatten. Högre vattentemperatur i kombination med ökad nederbörd kan öka risken för vattenkvalitetsproblem pga. t.ex. bakterier och parasiter.

Vi föreslår att mätning av råvattenkvalitet påbörjas för att kontrollera råvattenkvalitet och hur den kan komma att förändras i förändrat klimat om detta inte redan görs. Mätningen kan behöva pågå under flera års tid för att fånga upp förändringar i förhållande till förändrat klimat.

Högre lufttemperatur ger högre temperatur även i mark och i grundvatten vilket tenderar att öka föroreningars rörlighet, bland annat genom att perioderna med tjäle i marken minskar. Detta gör det viktigt att veta var det finns förorenad mark, särskilt i anslutning till viktiga grundvattenmagasin. Ökad exploatering i närheten av dricksvattentäkter i kombination med ökad långtidsnederbörd och ökad risk för skyfall ger en ökad avrinning från urban mark och vägar. Detta kan leda till ökad förorening av yt- och grundvattenresurser.

Mindre snö och mer regn kan innebära att mer saltning av vägar behövs då temperaturen i högre grad varierar kring noll grader. Detta innebär ökad risk för förorening av grundvattenmagasin.

Det kan bli upp till några decimeters förändring i ökad havsnivån till slutet av seklet. Detta bör tas hänsyn till eftersom det kan medföra ökat behov av anslutning till kommunal vattenförsörjning då enskilda brunnar påverkas av saltvatteninträngning. Vattendrag som mynnar i havet respektive sjöar som ligger på låg nivå nära kusten kan också påverkas av denna havsnivåökning, särskilt i samband med extremväder.

Avsaltning av havsvatten för dricksvattenproduktion är en möjlighet som har lyfts allt mer i Sverige på sistone, bl.a. pågår arbete med en förstudie för ett avsaltningsverk i Östhammars kommun (uppgift från Länsstyrelsen). De modellstudier som hittills gjorts avseende klimatförändringarnas effekt på salthalten i Östersjön visar en tendens mot minskad salthalt i ytvattnet, i storleksordningen någon promille, mot slutet av seklet vid RCP 4.5 och något större minskning vid RCP8.5. Osäkerheterna i resultaten är dock stora.

Förslag på fortsatta studier:

- Klimatförändringarnas påverkan på grundvattenbildning och nivåer specifika snabbreagerande grundvattenmagasin som bedöms vara av stor vikt för området.
- Mätningar av råvattenkvalitet

5 REFERENSER

Andréasson, J., Persson, G. och Sjögren, J. (2014). Marktorka i framtiden- En sammaställning för södra Sverige. SMHI Rapport Nr 2014-33.

Arneborg, L. (2016), Comment on ‘‘Influence of sea level rise on the dynamics of salt inflows in the Baltic Sea’’ by R. Hordoir, L. Axell, U. Lœoptien, H. Dietze, and I. Kuznetsov, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 2035–2040, doi:10.1002/2015JC011451.

Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L. och Sjökvist, E. (2015) Sveriges framtida klimat, Underlag till Dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi nr 14.

ICONICS (2013) Nakićenović N., Lempert R., and Janetos A (eds.). A Special Issue of Climatic Change journal on the Framework for the Development of New Socioeconomic Scenarios for Climate Change Research.

<https://www2.cgd.ucar.edu/research/iconics/publications/ssps>

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

Nylén, L., Asp M., Berggren-Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Axén Mårtensson, J., Ohlsson, A., Persson, H. och Sjökvist, E. (2015). SMHI Klimatologi Nr 36.

SGU, 2018. Diverse från hemsidan i november, bla:

<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/grundvattenbildning/grundvattenbildning-i-forandrat-klimat/>

<https://www.sgu.se/samhallsplanering/planering-och-markanvandning/grundvatten-i-planeringen/klimatforandringar/paverkan/>

Sjökvist, E., Axén Mårtensson, J., Berggren-Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Johnell, A., Nylén, L., Ohlsson, A. och Persson, H. (2015). SMHI Klimatologi Nr 20.

Stensen, K., Tengdelius-Brunell, J., Sjökvist, E., Andersson, E. och Eklund, A. (2017) SMHI Klimatologi Nr 46.

SMHI Klimatologi Nr 41, 2017. ”Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust”

SMHI, 2018. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarioer-for-hav#scenario=rcp85,season=year,param=salinity>

Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M. och Dahné J. (2015). SGU-rapport 2015:19.

SMHI har en livsviktig roll som pålitlig expertmyndighet. Genom vår gedigna kunskap om väder, vatten och klimat bidrar vi till att öka hela samhällets hållbarhet.

Vi samlar in mängder av data som vi bearbetar, modellerar och visualiserar utifrån olika scenarier. Vi följer omvärldens utveckling och genom vår egen forskning utvecklar och sprider vi kunskap och tjänster som bygger på vetenskaplig grund. Vi utvärderar, analyserar, prognostiserar och följer upp. Varje dag, dygnet runt, året om.

Därför vågar vi lova dig ständigt aktuella beslutsunderlag som gör det lättare att planera på både kort och lång sikt – allt från din utflykt till framtidens infrastruktur. Våra underlag hjälper samhället att nå de nationella miljökvalitetsmålen och hantera morgondagens globala utmaningar.

SMHI. Alltid de bästa underlagen för dina beslut.