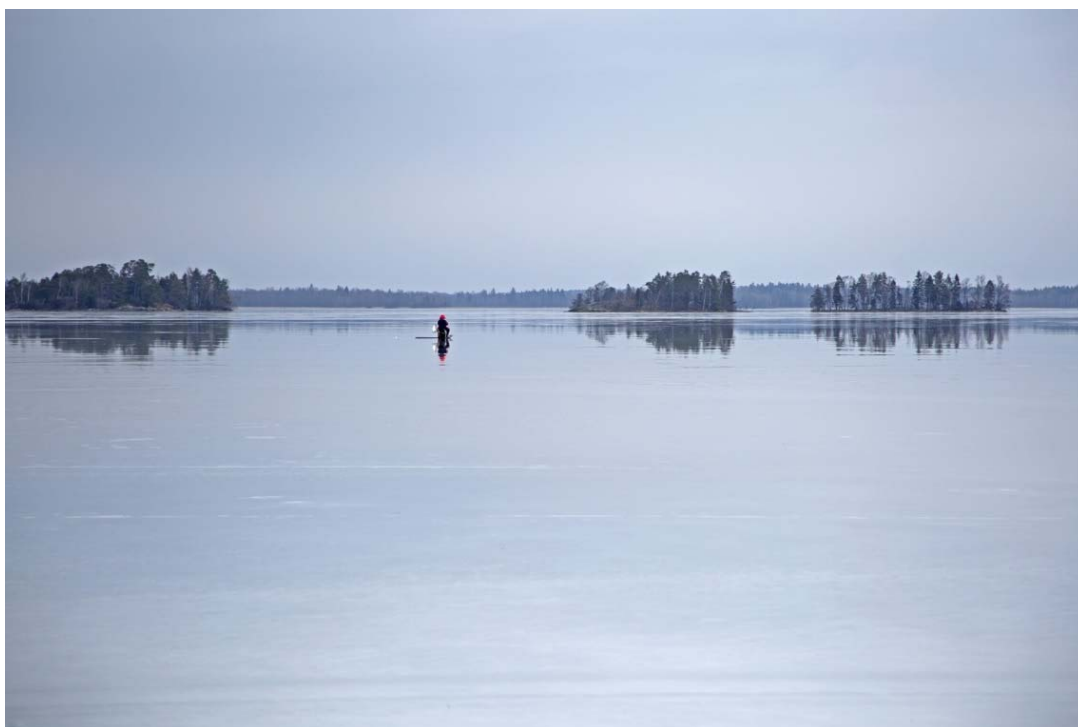


Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmarén

Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden

Anna Eklund, Anna Johnell, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Maria Andersson,
Cajsa-Lisa Ivarsson, Jonas German, Elin Sjökvist och Elinor Andersson



Pärmbild.
Bilden föreställer fiske från Hjälmarens is

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 43

Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmarén

Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden

Sammanfattning

Beräkningar har gjorts för hur vattennivåer, tappningar, vattentemperatur och is beräknas förändras i Hjälmaren fram till 2100 på grund av den globala uppvärmningen.

De tydligaste förändringarna i Hjälmaren i ett framtida klimat väntas bli att:

- Det blir vanligare med låga nivåer.
- De allra högsta nivåerna (så kallad beräknad högsta nivå) väntas öka något.
- Det blir högre vattentemperaturer.
- Det blir kortare period med is.

Vattennivån i Hjälmaren väntas förändras måttligt i framtida klimat. Den tydligaste förändringen är att det väntas bli vanligare med låga nivåer, främst under sommar och höst. Detta är en följd av att avdunstningen, både från växtligheten i Hjälmarens avrinningsområde och direkt från sjön, beräknas öka i framtiden. I dagens klimat är vattennivån lägre än 21,6 m (vilket motsvarar Hjälmarens sänkingsgräns) under i genomsnitt en månad per år. I framtiden väntas nivån vara lägre än 21,6 m under ca 3,5 månader.

För de allra högsta nivåerna (beräknad högsta vattennivå) syns en ökning för det kraftigaste utsläppsscenariot (RCP8.5) medan förändringarna är små för scenariot med begränsade utsläpp av växthusgaser (RCP4.5).

Vattentemperaturen i Hjälmaren väntas öka med cirka en halv grad till mitten av seklet och mellan 1 och 2,5 grader till slutet av seklet. Antal dagar per år med ytvattentemperaturer över 20 grader beräknas öka från dagens cirka sju veckor per år till cirka 9 veckor i mitten av seklet och upp till 12 veckor i slutet av seklet. I dagens klimat är Hjälmaren islagd varje vinter. I framtida klimat väntas isläggningen utebli vissa vintrar.

Abstract

Calculations have been made for how the water release, water abstraction, water temperature and ice extent are expected to change in Lake Hjälmaren up to the year 2100 due to global warming.

The most noticeable effects of the future climate on Lake Hjälmaren are expected to be:

- More frequent low water levels
- No change in the highest water levels (the calculated maximum water level)
- An increase in water temperature
- A shorter ice cover period.

The water level in Lake Hjälmaren is only expected to change by a small amount in the future climate. The most obvious change is that low water levels will be more frequent, especially during the summer and autumn. This is due to an expected increase in evaporation, both from vegetation in the lake's catchment area and from the surface of the lake. Currently the water level is lower than 21.6 m for about one month per year on average. In the future the water level is expected to be lower than 21.6 m for about 3.5 months.

For the highest water levels (calculated maximum water level) an increase is shown for the high emission scenario (RCP8.5) while changes are expected to be small for the scenario with limited emission of greenhouse gases (RCP4.5).

The water temperature in Lake Hjälmaren is expected to increase by about half a degree by the middle of the century and by 1 to 2.5 degrees by the end of the century. The

number of days per year where the surface water temperature exceeds 20 degrees is expected to increase from the current value of around 7 weeks per year to about 9 weeks per year by the middle of the century and up to 12 weeks per year by the end of the century. Currently Lake Hjälmaren is covered with ice every winter. In the future climate it is expected that there will be some winters without ice coverage.

Ordlista

100-årsnivå och 200-årsnivå	En nivå som inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under en period av 100 respektive 200 år.
Avrinningsområde	Det landområde från vilket nederbörden förr eller senare kommer ut som vatten i vattendraget vid en angiven plats.
Beräknad högsta nivå	En beräknad högsta vattennivå är en mycket extrem vattennivå. Bestämning av den beräknade högsta vattennivån bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. Även benämnd FN:s klimatpanel.
Klimatscenario	En beskrivning av en tänkbar klimatutveckling i framtiden med hjälp av antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser, en global och en regional klimatmodell.
Medelhög nivå	Medel av varje års högsta vattennivå
Medellåg nivå	Medel av varje års lägst vattennivå
Naturlig nivå	Vattennivån vid oreglerade förhållanden
Osäkerhet	Det finns olika källor till osäkerheter i frågan om framtidens klimat. Den största osäkerheten ligger i hur mycket växthusgaser människan kommer släppa ut i framtiden. Det finns även osäkerheter i klimatmodellerna, t.ex. beroende på begränsad upplösning i både tid och rum.
RCP	RCP:er är möjliga utvecklingsvägar för strålningsbalansen med det gemensamma namnet "representativa koncentrationsutvecklingsbanor" från engelskans "Representative Concentration Pathways (RCP)". RCP:erna är namngivna efter den nivå av strålningsdrivning i W/m ² som uppnås år 2100. RCP-scenarier låg till grund för IPCC:s rapport 2013.
Referensperiod	SMHI använder referensperioden 1961-1990 för att definiera dagens klimat. Nya observationer jämförs med medelvärdet för 1961-1990 för att säga hur de avviker från det normala. Meteorologiska världsorganisationen, WMO, definierar referensperioderna och nästa period blir 1991-2020.
Reglering	Mänsklig påverkan på vattenståndet i en sjö
Skiktning	Då vattenmassor med olika fysikaliska och kemiska egenskaper delas upp i ett ytskikt och ett bottenkikt. I denna rapport avses skiktning pga. temperatur.
Starttillstånd	Ett utgångsläge som används i modellberäkningar
Tappning	Den mängd vatten som tappas från en reglerad sjö.
Tillrinning	Det vatten som rinner till en sjö.
Återkomsttid	Ett mått på hur ofta förekomsten av extrema naturliga händelser kan förväntas. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Ett värde som har en återkomsttid på 100 år uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är en (1) procent varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade risken avsevärt större. För en konstruktion vars livslängd beräknas till 100 år blir den ackumulerade risken hela 63 % att 100-årsvärdet överskrids någon gång under 100 år. Om säkerhetsnivån väljs till 100-årsvärdet är risken att det värdet överskrids större än att det underskrids. Det är alltså troligare att konstruktionen, under sin livslängd, kommer att utsättas för förhållanden utöver den nivå som valts än att den nivån aldrig inträffar. För 10-årsvärdet är sannolikheten 65 % att det överskrids någon gång under 10 år.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND OCH SYFTE	1
1.1	Tidigare studier.....	1
2	HJÄLMAREN	1
2.1	Låga nivåer 2016/2017.....	2
3	METODIK	3
3.1	Beräkning för dagens klimat	3
3.1.1	Beräkningar av inflöde, vattennivåer och tappningar för Hjälmarén	3
3.1.2	Beräkningar av vinduppstuvning	5
3.1.3	Beräkning av vattentemperatur och is	6
3.2	Framtida klimat	7
3.2.1	Vattennivåer i framtida klimat	7
3.2.2	Vinduppstuvning i framtida klimat	8
3.2.3	Vattentemperaturer i framtida klimat	8
4	RESULTAT	9
4.1	Tillrinning, vattennivåer och tappning	9
4.1.1	Tillrinningens årsdynamik	9
4.1.2	Förändrad total medeltillrinning för år och säsonger	10
4.1.3	Vattennivåer i dagens och framtida klimat.....	11
4.1.4	Varaktigheter vattenstånd.....	13
4.1.5	Varaktigheter tappningar	16
4.2	Vinduppstuvning	17
4.3	Vattentemperatur och is	17
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	24
5.1	Vattennivåer i dagens klimat	24
5.2	Vattennivåer i framtida klimat	24
5.3	Vinduppstuvningen	25
5.4	Vattentemperatur och is	25
6	TACKORD.....	25
7	REFERENSER	25

1 Bakgrund och syfte

Sveriges stora sjöar används idag av många intressenter och för många verksamheter. Många människor bor längs med sjöarnas stränder, sjöarna fungerar som transportleder, dricksvattentäkter och som en del av vattenkraftproduktionen. De är också viktiga miljöer för växt- och djurliv. Ett förändrat klimat, med förändrade vattennivåer och vattentemperaturer påverkar sjöarnas framtida användning.

Den här rapporten syftar till att ge bättre förståelse för hur klimatförändringar påverkar Hjälmaren, samt att ta fram underlag som kan användas av beslutsfattare, exempelvis som underlag för samhällsplaneringen. Rapporten presenterar beräkningar av framtida vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och isförhållanden i Hjälmaren.

I denna rapport beskrivs klimatförändringarna, men inte konsekvenserna av dem. Det kommer att beskrivas mer utförligt i den kunskapssammanställning som ska tas fram under hösten 2017. I den rapporten kommer problematik relaterat till dagens och i framtida klimat kring Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren att beskrivas.

1.1 Tidigare studier

Beräkningar av vattennivåer i dagens och framtida klimat finns beskrivna i Klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande (SOU, 2006) och i SMHI:s underlag till utredningen (Bergström m.fl. 2006). Även Olofsson och German (2013) har gjort beräkningar av framtida årshögsta vattennivå i Hjälmaren. I denna rapport har nya beräkningar gjorts för vattennivåer i dagens och framtida klimat. Det som är nytt från föregående beräkningar är att vi nu har en ny generation klimatscenarier (IPCC, 2013) och att förbättringar har gjorts i den hydrologiska modellen.

I denna rapport visas också resultat från beräkningar av vattentemperatur och isförhållanden i Hjälmaren i framtida klimat. Den typen av beräkningar har inte gjorts förut.

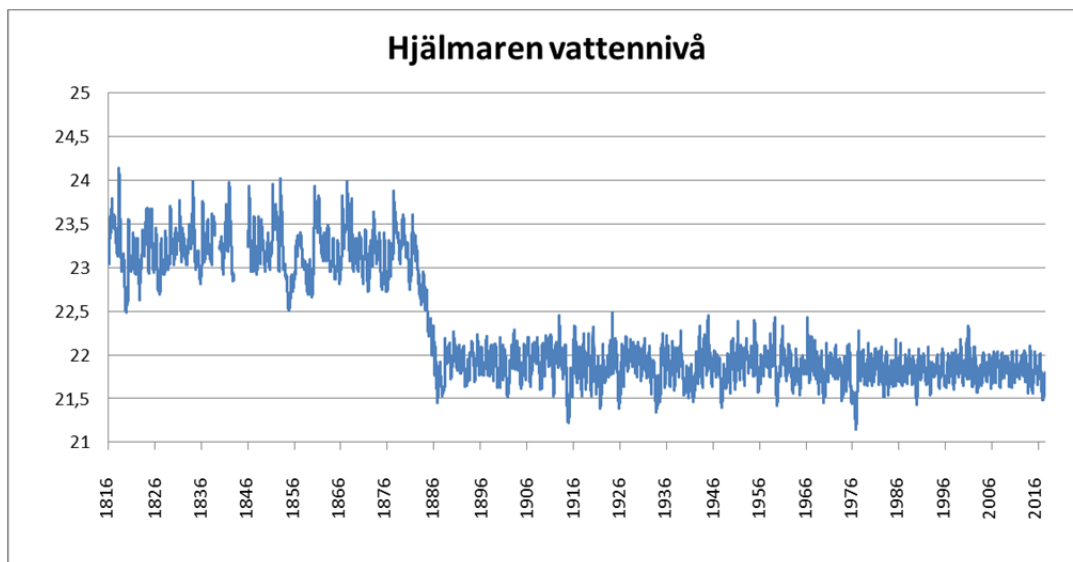
2 Hjälmaren

Hjälmaren är Sveriges fjärde största sjö och ligger i ett låglänt område med relativt mycket jordbruksmark. Sjön är också grund i förhållande till sin storlek med ett maxdjup på 20 meter och ett medeldjup på 6 m. Speciellt grunda är de västra delarna av sjön, Mellanfjärden och Hemfjärden. Hjälmarens area är nu ca 483 km², men var större innan den stora sjösänkningen i slutet av 1800-talet.

Hjälmarens avrinningsområde är knappt 4000 km² varav Hjälmaren utgör 12%. Det största tillflödet är Svartån, som mynnar i Hjälmaren vid Örebro. Ett annat stort inflöde är Täljeån/Kvismare kanal. Hjälmarens största utflöde är Eskilstunaån, som rinner från Hjälmaren till Mälaren. Hjälmaren är reglerad i Hyndevadsdammen i Eskilstunaån. En liten del av Hjälmarens utflöde går via Hjälmare kanal som förbinder Hjälmaren med Arbogaån.

Uppströms Hjälmaren finns en del vattenkraftmagasin, främst i Svartån och dess biflöde Laxån. Den sammalagda reglervolymen i större magasin är ungefär 80 miljoner m³. Om hela denna volym skulle stå till förfogande att utnyttjas för flödesdämpning vid ett enskilt tillfälle så motsvarar det en vattenståndsförändring för Hjälmaren på 17 cm (Bergström m.fl. 2006).

Markerna vid Hjälmaren och den intilliggande Kvismaredalen är flacka och hade på 1800-talet ofta problem med översvämningar. För att få bukt med dessa problem och för att skapa ny jordbruksmark sänktes Hjälmaren och tillflödet Täljeån (Kvismare kanal) mellan åren 1877 och 1888. Hjälmarens sjösänkning syns tydligt i vattennivån (Figur 1).



Figur 1. Hjälmarens vattennivå från 1 januari 1816 till 31 maj 2017.

Det är den största sjösänkningen i Sveriges historia. I samband med det anlades också regleringsdammen vid Hyndevad i Hjälmarens utlopp (Ernfors, 1968).

Sjöns medelvattennivå sänktes ca 1,3 m och högvattenytan ca 1,8 m. Målet var också att minska variationen i vattennivå från tidigare 1,6 meter till 0,6 m (Jordbruksdepartementet 1979). Den högsta nivån på senare tid uppmättes i december 2000. Hjälmarens lägsta nivå uppmättes 1976.

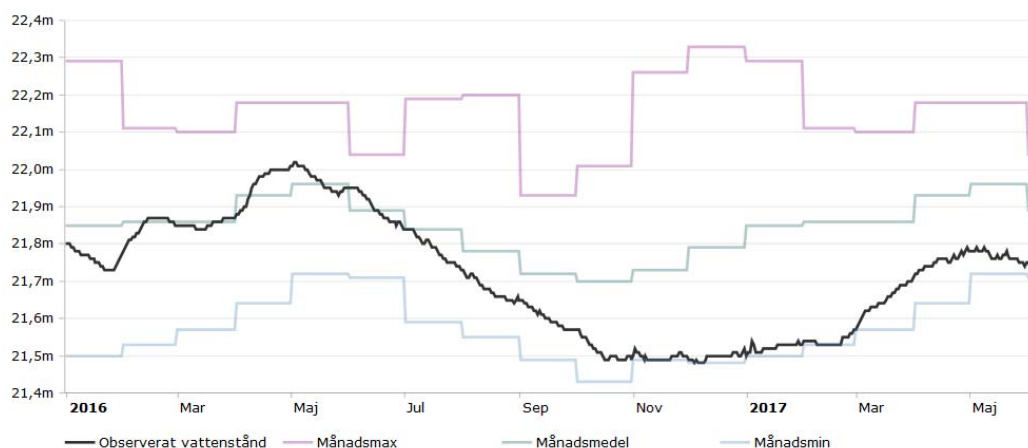
När Hjälmarens sänktes behövde sjön också regleras för att vattenflödet i Eskilstunaån inte skulle påverkas så mycket. Det var Hjälmare- och Kvismare sjösänkingsbolag som var ansvarig för regleringen. Målet var att sjöns nivå skulle ligga mellan dämningssgränsen 22,22 m och sänkingsgränsen 21,62 m, men vattennivån har många gånger blivit både högre och lägre (Jordbruksdepartementet, 1979). Därför togs en ny vattendom fram som blev klar 1988 (DOM 1988-07-29, DVA 53, VA 15/83) och enligt den ska dammen vara helt öppen över dämningssgränsen 22,10 m och man ska sträva efter att hålla vattennivån över sänkingsgränsen 21,62 m. Vattennivån får underskrida sänkingsgränsen för att upprätthålla mintappningen ($3 \text{ m}^3/\text{s}$ i Eskilstunaån och $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ i Hjälmare kanal) vid långvariga torrperioder. Vattennivån får sänkas under sänkingsgränsen om SMHI:s vårflodsprognos pekar på att vårfloden kan komma att överskrida dämningssgränsen. Dock får vattennivån inte bli lägre än 21,50 m. Under sommaren ska man sträva efter att vattennivån ska följa en rät linje från 21,95 m den 20 maj till 21,73 m den 1 oktober.

Efter att den nya vattendomen trädde i kraft har dämningssgränsen överstigits två gånger, vid vårfloden 1999 samt vid höst- och vinterfloden 2000/2001. Vid vårfloden 1999 var nivån strax över dämningssgränsen 21,175 m medan den 2000 nådde som högst 22,33 m i mitten av december. Tappningen från Hjälmarens var vid dessa tillfällen som mest ca $96 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket är den högsta som uppmätts efter att den nya vattendomen trädde i kraft.

Sänkingsgränsen har understigits 12 av de 28 år som gått sedan vattendomen trädde i kraft och alla dessa tillfällen har varit under hösten. Inför vårfloden har nivån aldrig sänkts av under sänkingsgränsen. Den undre gränsen 21,50 meter har understigits vid två tillfällen, hösten 1989 och 2016. Under 1989 var vattennivån under sänkingsgränsen i ett halvår och under 21,50 m i ungefär en månad.

2.1 Låga nivåer 2016/2017

Under 2016 och 2017 har det fallit lite nederbörd i Hjälmarens avrinningsområde. Det har lett till att nivån har sjunkit och varit som lägst 21,48 m i december (Figur 2). Det här är den lägsta nivå som uppmätts sedan 1989 då nivån var 4 cm lägre. Den lägsta nivå som uppmätts i Hjälmarens var 21,15 m i oktober 1976, dvs. 33 cm lägre än den lägsta 2016.



Figur 2. Observerad vattennivån i Hjälmaren juni 2016 till maj 2017 jämfört med max-, medel- och minvärden för perioden efter 1989, då nuvarande vattendom började gälla.

3 Metodik

3.1 Beräkning för dagens klimat

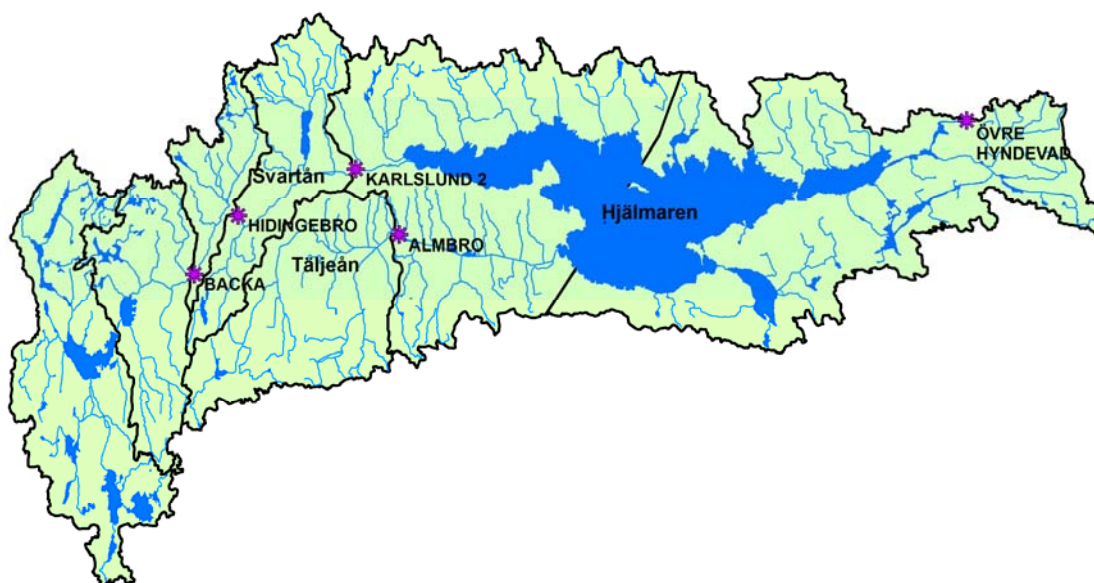
Beräkningar har gjorts för tillrinning, vattennivå, tappning, vattentemperatur och is i dagens och framtida klimat. Här beskrivs kortfattat hur dessa beräkningar gjorts.

3.1.1 Beräkningar av inflöde, vattennivåer och tappningar för Hjälmaren

För att kunna beräkna vattenståndsförändringar i Hjälmaren i dagens och ett framtida klimat krävs först en hydrologisk modell som kan beskriva tillrinning och vattenståndsförändring. Modellen kalibreras mot uppmätta data i dagens klimat. För att beräkna förändringar i ett framtida klimat matas modellen med temperatur och nederbördsdata från klimatmodeller.

HBV-modellen

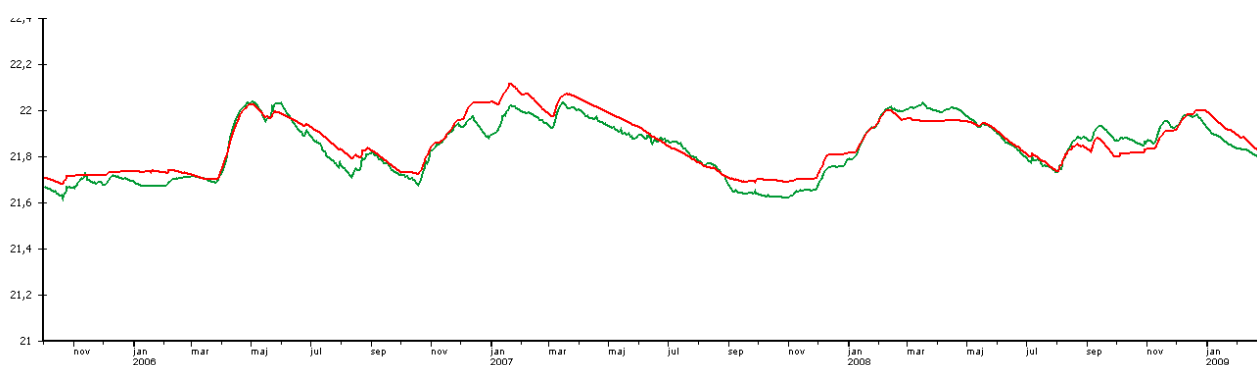
Den hydrologiska avrinningsmodell som används för beräkningar av de hydrologiska effekterna av ett ändrat klimat i Sverige är normalt HBV-modellen. Den har utvecklats vid SMHI sedan början av 70-talet (Bergström, 1995 och Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, d.v.s. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag.



Figur 3. Delavrinningsområden i HBV-modellen som har använts i studien.

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

I denna studie har vi utgått från den uppsättning av HBV-modellen som användes av Olofsson och German (2013), där hela avrinningsområdet uppströms Hydevads kraftverk finns med (Figur 3). Som indata till modellen används observerad nederbörd och temperatur som hämtats från SMHIs databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd med data från 1961 (Johansson, 2000 och Johansson och Chen 2005). För att kalibrera HBV-modellen har observerat vattenföringsdata för Backa, Hidingebro, Karlsund, Almbro och Hydevad hämtats in. Vattenståndsdata för Hjälmaren (stationen Notholmen 1961-01-01 – 1983-01-01 och ett medelvärde för stationerna Notholmen och Hampetorp för perioden 1983-01-01 – 2015-12-31) har lagts in i modellen. Ett avbördnings samband, dvs. förhållande mellan vattennivå och vattenflöde, har lagts in för sjön Toften. En magasinskurva som beskriver arean vid olika vattenstånd har tagits fram för Hjälmaren med hjälp av GIS analys på en digital höjdmodell samt uppskattning av areor från sjökort. Modellen har sedan kalibrerats för att kunna beräkna både låg och hög tillrinning och vattenståndet i Hjälmaren. Hjälmaren är reglerad och i den hydrologiska modellen har regleringen enligt vattendom VA 15/83 (som beskrivs i kapitel 2) lagts in. Exempel på kalibreringsresultatet visas i Figur 4.



Figur 4. Exempel på kalibreringsresultat för HBV-modellen. Grön linje observerat vattenstånd under perioden januari 2006 till januari 2009 och röd linje modellerat vattenstånd.

Metodik för beräknad högsta vattennivå

En beräknad högsta vattennivå är en mycket extrem nivå, som används för att dimensionera dammanläggningar för att undvika dammhaverier (Svensk Energi m.fl. 2015). Detta vattenstånd har använts i MSB:s översvämningskarteringar (MSB, 2014) och som en gräns i länsstyrelser rekommendationer för lokalisering av viss ny bebyggelse (Länsstyrelsen Västra Götalands län och Värmlands län, 2011).

Beräkningarna i den här rapporten har utförts enligt de riktlinjer för bestämning av beräknad högsta vattennivå som fastställts av Svensk Energi m.fl. (2015). Bestämning av det beräknade högsta vattenståndet bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas dessa extrema nederbörds mängder samverka med en föregående blöt höst, kraftig snösmältning och vattenmättade markförhållanden. Kritiska flöden och vattenstånd simuleras under minst en tioårsperiod genom att den verkliga observerade nederbörden i det beräknade området successivt byts ut mot en 14 dygn lång dimensionerande nederbördssekvens. De olika flödesskapande faktorerna, vilka var och en för sig ligger inom ramen för vad som har inträffat, kombineras på det sätt som ger den mest kritiska samlade effekten. Den samlade effekten, när de ogynnsamma förhållandena inträffar samtidigt, blir mycket extrema flöden. Flödenas återkomsttid kan inte anges med denna metod, men

jämförelser med frekvensanalys indikerar att flöden som beräknas på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider över 10 000 år (Svensk Energi m.fl. 2015).

Vid beräkningsstarten så ska vattenståndet för ett magasin (eller sjö) läggas på en nivå som är rimlig inför en förväntat kraftig vårflood. Erfarenheter från beräkningar visar att valet av startvattenstånd kan vara viktigt för slutresultatet i beräkningen. Därför valdes för i beräkningarna två olika startvattenstånd för att ta fram beräknad högsta vattennivå. En av bestämmelserna i Hjälmarens vattendom är att sänkingsgränsen, 21,62 m, i normalfallet inte ska understigas. Därför valdes 21,62 m som ett starttillstånd. Däremot får Hjälmaren sänkas under sänkingsgränsen till som lägst 21,50 m om SMHI:s vårfloodsprognos pekar på att dämningssgränsen (22,10 m) kan komma att överskridas. Därför valdes denna nivå (21,50 m) som ett alternativt starttillstånd.

Metodik för beräkning av 100-årsnivå och 200-årsnivå

För översvämningskarteringar, rekommendationer för ny bebyggelse samt dammsäkerheten används sjöars 100-årsnivåer eller 200-årsnivåer. Dessa är inte lika extrema som de beräknade högsta nivåerna. Med en händelses återkomsttid menas att den inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tid. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärd. För ett hus som står i 100 år i ett område som endast är skyddat mot ett 100-års flöde, är sannolikheten för översvämning under denna tid hela 63 %.

Beräkningarna i denna rapport har gjorts utifrån Flödeskommittens riktlinjer (Svensk Energi m.fl. 2015). En tidsserie med varje års högsta vattenståndsvärde anpassas till en fördelningsfunktion. För beräkning av 100-årsnivå och 200-årsnivå blir resultatet bäst om en lång tidsserie används. Därför har vi utgått från en ny tidsserie som räknats fram med hjälp av HBV-modellen för perioden 1963 till 2015. Den beskriver hur Hjälmarens nivå skulle varit om den reglerats utifrån dagens vattendom under denna period. Beräkningar har gjorts med flera olika fördelningsfunktioner.

3.1.2 Beräkningar av vinduppstuvning

I samband med att vind blåser över en vattenyta i t.ex. en sjö förs vatten i vindens riktning från ena sidan av sjön till den motsatta. Vid höga vindhastigheter kan då vattenytan snedställas eller ”stuvass” upp. Denna effekt kallas vanligen vinduppstuvning och hur stor denna effekt blir beror på vindens hastighet och riktning och på lokala förhållanden såsom strandlinjens horisontella utsträckning och vattendjup. Vinduppstuvningen har samma varaktighet som vindens varaktighet för gällande riktning och vindhastighet. Vid ihållande vindhastighet och vindriktning når vattenytan efter en tid ett jämviktsläge, s.k. stationär vinduppstuvning. I början av ett förlopp när snedställningen etableras kan vattenytan kortvarigt svänga över sitt jämviktsläge, denna effekt benämns vanligen dynamisk vinduppstuvning.

I denna utredning används den tredimensionella numeriska beräkningsmodellen Delft3D-Flow (<http://delftsoftware.wldelft.nl>). Modellen har satts upp för hela Hjälmaren. Modellen arbetar i ett beräkningsnät och för varje cell i beräkningsnätet simuleras strömhastighet och riktning, turbulens, vattennivå med mera. Vid särskilt intressanta platser eller vid exempelvis trånga passager har beräkningsnätet i horisontalled gjorts finare medan ute på fritt vatten är beräkningscellerna något större. Beräkningscellernas storlek varierar från ca 40×30 m till ca 550×750 m i Hjälmaren. Därtill har modellen ett antal lager i vertikalled.

Modellernas djupdata har interpolerats från sjökort nr 114 över Hjälmaren.

Drivning av modellen

Vid kontroll av modellen används observerad vindhastighet och vindriktning från SMHI:s meteorologiska station Örebro. Vinden varierar således i tiden men inte i rummet. Lufttryck har inte använts som drivning och det ingår inga tillflöden eller utflöden i modellerna. Resultatet från valideringen visas i Bilaga A.

Vid simuleringar för att beräkna vinduppstuvningens effekt på vattenståndet drivs de respektive modellerna av vindar med en hastighet på 20 m/s i den för platsen mest ogynnsamma vindriktningen. Vindhastigheten antas gå från 0 till 20 m/s på 6 h och hålls därefter konstant på 20 m/s. Varje simulering fortlöper tills vattenståndet har nått ett stationärt tillstånd, vilket sker efter ca 12 h.

3.1.3 Beräkning av vattentemperatur och is

Kustzonsmodellen (PROBE-SCOBİ), är en biogeokemisk modell som beräknar tillståndet i kustvatten. Kustzonsmodellen är en så kallad endimensionell modell, som löser upp modellvariablerna i djupled med hög noggrannhet men är horisontellt homogen inom ett område (Sahlberg, 2009; Marmefelt et.al., 1999).

Då Kustzonmodellen har satts upp för Hjälmaren har endast en bassäng satts upp. Bassängen har inget till- eller utflöde och kan horisontellt sett ses som en homogen vattenmassa. Vertikalt är bassängen indelad i 29 djupnivåer. Efter att modellen kalibrerats för den historiska perioden 1997-2015 har modellen körts för två framtida perioder: 2032-2050 och 2080-2098.

Drivdata

Kustzonsmodellen drivs av observerad temperatur, vind, molnmängd och relativ luftfuktighet med tre timmars upplösning. Meteorologisk data har hämtats från SMHI:s väderstationer Visingsö och Såtenäs. Valet av stationer grundades på tillgång till data av god kvalitet samt stationens representativitet. Mätningar med 3 timmars upplösning startade först 1996, därför används perioden 1997-2015 för att beskriva det historiska klimatet.

En 3D-modell av Hjälmaren skapades i ArcGIS med hjälp av strandlinjer och historiska djupdata. Utifrån 3D-modellen kunde en hypsograf, som beskriver sambandet mellan sjödjup och area, beräknas. Äldre djupdata korrigerades med hänsyn till historiska regleringsförändringar.

Temperaturberäkningar

Temperaturen för ytvattnet respektive bottenvattnet beräknades genom att ett medelvärde från modellens 3 översta respektive understa beräkningsceller bildades. Utifrån detta medelvärde har medeltemperaturen under de tre perioderna 1997-2015, 2032-2050 och 2080-2098 beräknats. För samma perioder gjordes en sammanställning av maxtemperaturen i ytvattnet. En sammanställning gjordes också för antalet dagar med en ytvattentemperatur större än 5, 10, 15 och 20 grader under respektive period. Temperatur och förekomst av is har beräknats för varje enskild dag under 19-årsperioden för att sen divideras med 19 år för att få ut antal dagar med is, antal dagar med skiktning samt antalet dagar med temperaturer över ett visst värde.

Definitionen som ligger till grund för beräkningen av språngskiktet är: temperaturen ska skilja mer än 1 grad per meter. Då modellens vertikala upplösning varierar mellan 0,5 och 2 meter har definitionen översatts till att språngskiktet existerar om något av följande uppfylls:

- 1) Avståndet mellan cellerna är 0,5m och temperaturskillnaden är större än 0,5 grader.
- 2) Avståndet mellan cellerna är 0,75 m och temperaturskillnaden är större än 0,75 grader.
- 3) Avståndet mellan cellerna är 1 m och temperaturskillnaden är större än 1 grad.
- 4) Avståndet mellan cellerna är 2 m och temperaturskillnaden är större än 1 grad.

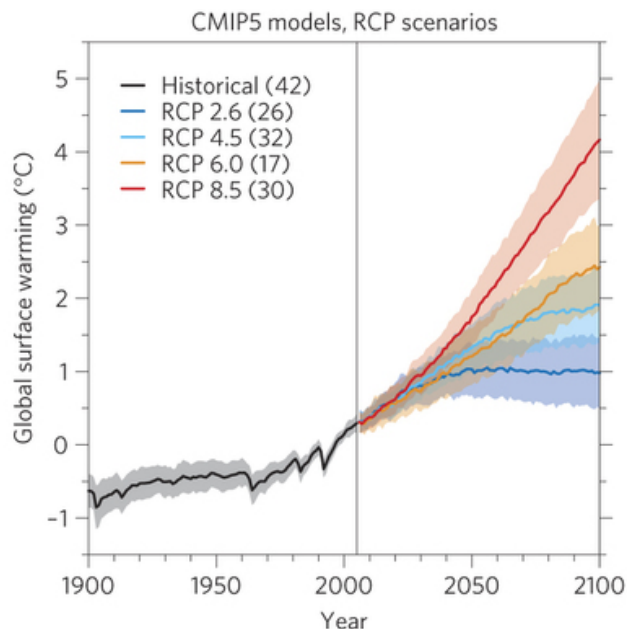
För att undvika att få med variationer i det översta ytvattnet eller understa bottenvattnet inkluderades inte de 2 övre/under beräkningscellerna i testet.

Beräkning av isläggning och islossning

Isläggningsdatum motsvarar den första dagen då istjockleken under minst tre dygn är större än 0. Islossningsdatum motsvara den första dagen då istjockleken är 0 efter en period (3 dagar eller längre) med is.

3.2 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. RCP-scenarierna beskriver resultatet av utsläppen, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären, fram till år 2100. I följande analyser används två RCP-scenarier, RCP4.5 som bygger på begränsade utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp (Figur 5)(IPCC, 2013).



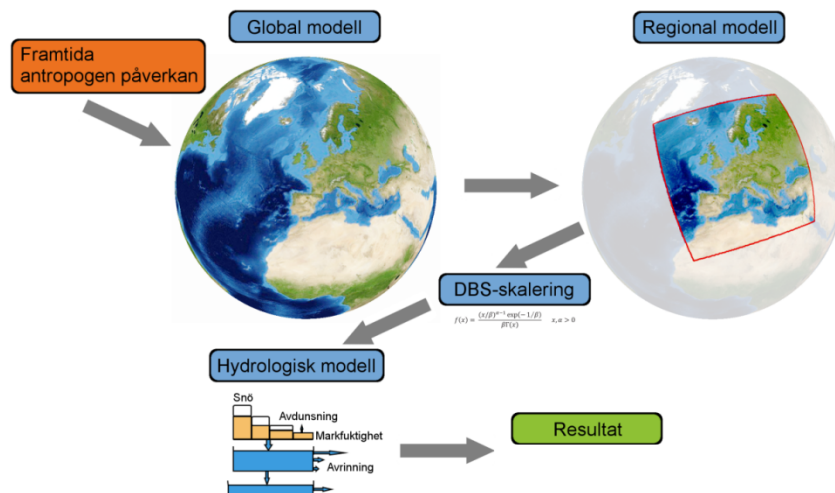
Figur 5. Global uppvärmning relativt år 2000 för de fyra olika RCP-scenarierna. Från IPCC (2013).

För att göra beräkningar av det framtida klimatet krävs klimatmodeller, som är matematiskt formulerade beskrivningar av de fysikaliska processerna i klimatsystemet. De globala klimatmodellerna beskriver hela jorden och de regionala beskriver mer förfinat ett delområde. Indelningen sker i så kallade gridboxar, ett 3-dimensionellt rutnät av atmosfären. Det är mycket omfattande beräkningar som görs på superdatorer.

Den globala klimatmodelleringen görs med en relativt grov upplösning, vilket betyder att storleken på rutorna vid jordytan kan vara ca $200 \times 200 \text{ km}^2$. Den regionala klimatmodelleringen utförs med högre upplösning, ca $50 \times 50 \text{ km}^2$, och ger därför mer detaljerade beräkningar. I beräkningarna för Hjälmaren har ett underlag med nio olika globala klimatmodeller från olika institut runt om i världen använts. Rossby Centre vid SMHI har utfört regional modellering med den regionala klimatmodellen RCA4 (Strandberg m.fl. 2014).

3.2.1 Vattennivåer i framtida klimat

För att utföra analyser på lokal skala, exempelvis för hydrologiska beräkningar, krävs data med högre geografisk upplösning än $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$. SMHI har därför tidigare utvecklat en metod, DBS (Distribution Based Scaling), för att öka upplösningen till $4 \times 4 \text{ km}^2$ (Yang m.fl. 2010). Därefter har hydrologiska beräkningar s med HBV-modellen utförts där temperatur och nederbörd från klimatscenarierna har använts som drivdata i beräkningarna (Sjökvist m.fl., 2015). Figur 6 visar kopplingen mellan klimatsimuleringarna som använts i den hydrologiska modellen. I beräkningarna för framtida klimat har vi antagit att dagens vattendom gäller.



Figur 6. Illustration av kopplingen mellan global- och regional klimatmodell samt hydrologisk modell vid studier av klimateffekter på beräkningar för vattenflöden och vattennivåer.

Beräkningarna har gjorts för perioden 1961 till 2098 och sedan har 30-åriga medelvärden för vattennivåer och flöden beräknats för perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Dessa har jämförts med den så kallade referensperioden 1961-1990. Vid beräkning av 100- och 200-års vattenstånd har en frekvensanalys med Gumbelfördelning utförts. Av beräkningstekniska skäl har endast en fördelning använts i detta fall.

För beräkningarna av framtida beräknad högsta vattennivå (BHW) har samma startvattenstånd använts som för dagens klimat (stycke 3.1.1).

3.2.2 Vinduppstuvning i framtida klimat

I dagsläget finns inget i klimatmodellerna som tyder på att vinden väntas förändras mycket i framtiden. Därför har ingen speciell beräkning gjorts för vinduppstuvning i framtida klimat. Effekten på vattenståndet av vinduppstuvningen väntas vara oförändrad i framtida klimat.

3.2.3 Vattentemperaturer i framtida klimat

Beräkningen för vattentemperatur och is för framtida klimat sker på samma sätt som för dagens klimat (se stycke 3.1.2) förutom att den indata som beskriver lufttemperaturen har ändrats till framtida förhållanden.

För att beskriva framtida klimat används den så kallade delta-metoden, som innebär att observerade data för en historisk period används och justeras för klimatförändringar. Klimatmodeller ger klimatscenarier, som kan innehålla flera olika kombinationer av modeller och framtida utsläpp. De beskriver flera olika väderparametrar men kvaliteten är inte tillräckligt bra för att användas direkt i Kustzonsmodellen. Därför används det historiska datasetet justerat för klimatförändringar.

Klimatförändringar för de fyra olika parametrarna; temperatur, vind, molnmängd och relativ luftfuktighet studeras hos nio olika klimatscenarier och slutsatsen är att temperatur är den parameter som ger den avsevärt största förändringen. Förändringen i temperatur mellan den historiska och de två framtida perioderna beräknas och de två deltavärdena adderas direkt på det historiska datasetet. På så vis skapas två dataset representativa för två framtida tidsperioder.

Även här används RCP4.5 och RCP8.5 för att beskriva framtida utvecklingsvägar i klimatmodellerna.

4 Resultat

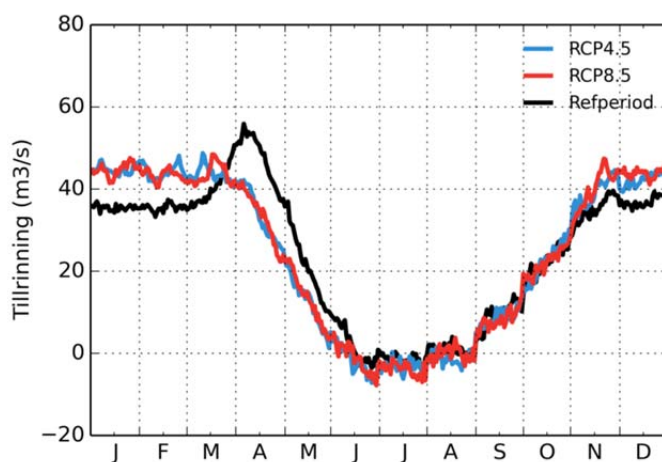
4.1 Tillrinning, vattennivåer och tappning

Resultaten presenteras för de flesta parametrar som 30-åriga medelvärden för referensperioden 1961-1990 samt som förändringar i ett framtida klimat för tidsperioderna 2021-2050 samt 2069-2098 jämfört med historiskt klimat. Varje enskilt klimatscenario har beräknats och bearbetats separat men resultaten presenteras som medelvärden för RCP4.5 respektive RCP8.5.

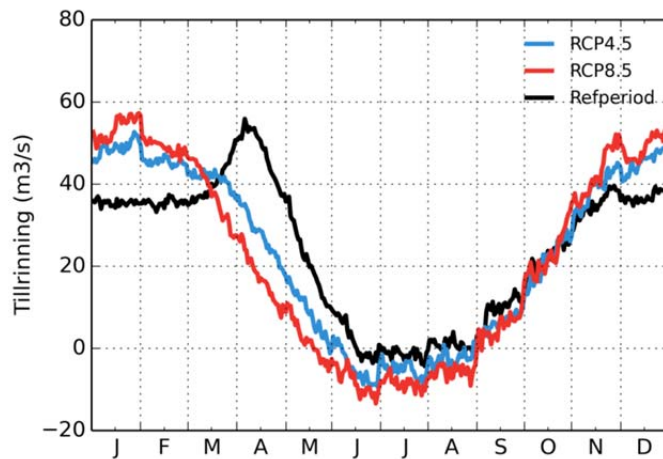
4.1.1 Tillrinningens årsdynamik

Tillrinningen varierar mellan år och under året beroende på hur nederbörd, temperatur, snötäcke, markfuktighet och avdunstning varierar och samspelar. För vattendragen ses dock vanligen en återkommande dynamik under året. Förändringar i årstidsförloppen kan ha stor betydelse för vattenförsörjning, miljö och biologisk mångfald, översvämningsrisker och vattenkraftsproduktion.

I figurerna 7 och 8 visas medelvärden för tillrinningens årsdynamik. Från tillrinningen har avdunstningen från Hjälmarens yta dragits bort. Hjälmarens tillrinning uppvisar en tydlig årstidsvariation för referensperioden, med vårflodestopp, låga sommarflöden, samt högre höst- och vinterflöden. Framtidsscenarierna visar på högre vinterflöden och att vårflodestopparna har försvunnit. Det beror på mer nederbörd under vintern och högre temperaturer gör att nederbörden inte lagras som snö utan rinner av vintertid. Därmed uteblir också vårflodestoppen. Diagrammen visar även på en längre säsong med låg tillrinning. Det kan kopplas till en längre vegetationsperiod när växterna tar upp mer vatten, som därför inte når vattendragen. De låga sommarnivåerna beror också på att avdunstningen direkt från Hjälmaren beräknas öka i ett varmare klimat. I slutet av seklet ger RCP8.5 högre vintertillrinning och lägre sommartillrinning samt längre period med låg tillrinning än vad RCP4.5 ger. Diagrammen visar medelvärden och därmed framträder de typiska dragen tydligare men variationen mellan år är stor.



Figur 7. Tillrinningens årsdynamik för Hjälmarens avrinningsområde för referensperioden 1961-1990 samt framtidsperioden 2021-2050. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Från tillrinningen har även avdunstningen från Hjälmarens yta dragits bort.

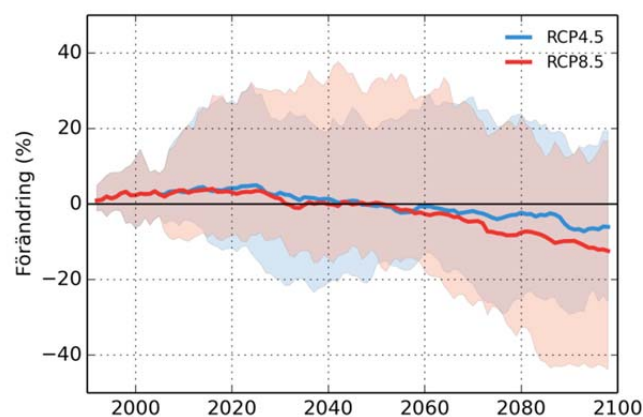


Figur 8. Tillrinningens årscykel för Hjälmarens avrinningsområde för referensperioden 1961-1990 samt framtidsperioden 2069-2098. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Från tillrinningen har även avdunstningen från Hjälmarens yta dragits bort.

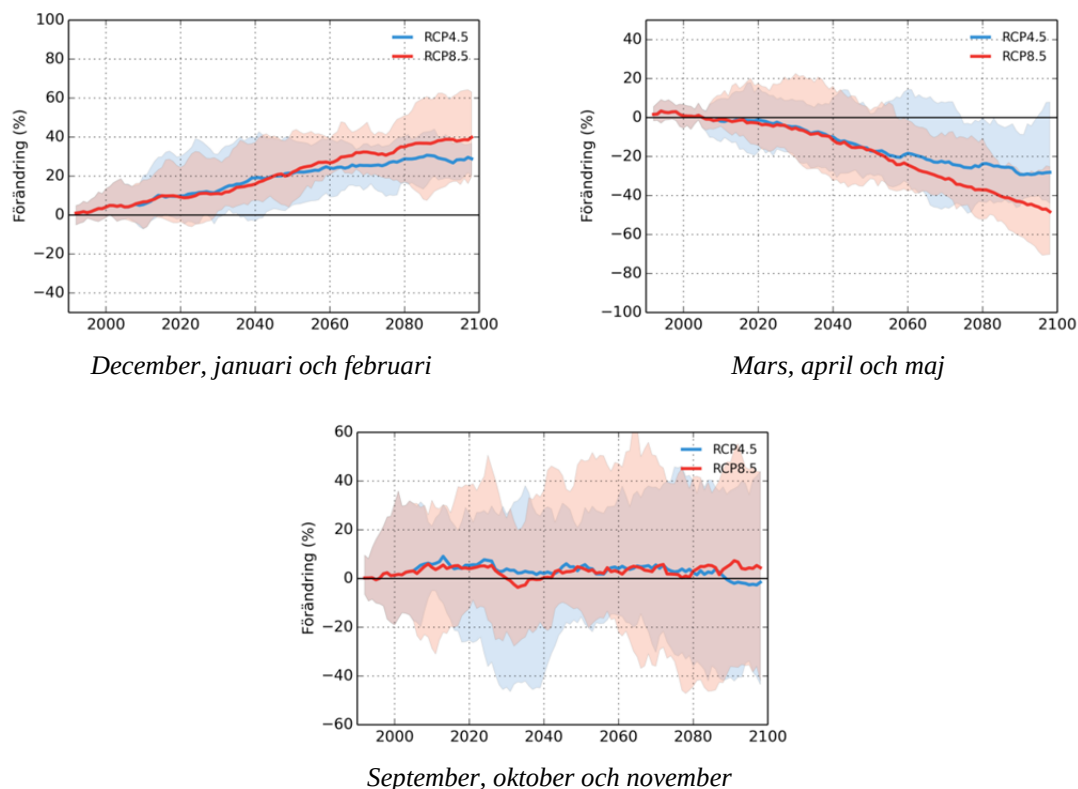
4.1.2 Förändrad total medeltillrinning för år och säsonger

I Figur 9 och 10 redovisas beräkningar av förändringen av årstillrinningen samt förändringen av tillrinningen under olika säsonger. Även den avdunstning som sker från sjöns yta är borträknad. Förändringen är beräknad som löpande 30-års medelvärden jämfört med referensperioden 1961-1990.

Den totala årstillrinningen väntas bli relativt oförändrad för de båda scenarierna vid mitten av seklet, i slutet av seklet pekar båda scenarierna på en minskning. RCP8.5 visar på störst minskning, ca 15 %. För säsongerna (Figur 10) ses den största minskningen av tillrinningen under våren, där minskningen ligger på 30 % för RCP4.5 och närmare 50 % för RCP8.5 vid slutet av seklet. Detta kan förklaras av den uteblivna vårfloden i ett varmare klimat. Tillrinningen väntas öka under vintermånaderna då nederbörden faller som regn istället för snö. Under hösten väntas tillrinningen bli relativt oförändrad. Säsongsgrafen för sommarperioden juni, juli och augusti redovisas inte i rapporten då tillrinningen till sjön under denna period blir negativ till följd av minskad tillrinning under sommaren och en ökad avdunstning från sjön till följd av ett varmare klimat.



Figur 9. Förändrad årstillrinning till Hjälmaren jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Linjerna visar medelvärden och de färgade fältet är spridningen mellan de olika modellerna.



Figur 10. Förändrad tillrinning till Hjälmaren under de olika säsongerna jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Linjerna visar medelvärden och de färgade fältet är spridningen mellan de olika modellerna. Säsongsgrafen för sommarperioden juni, juli augusti redovisas inte i rapporten då tillrinningen till sjön under denna period blir negativ till följd av avdunstning från sjön.

4.1.3 Vattennivåer i dagens och framtida klimat

Resultaten från vattenståndsberäkningar för dagens klimat redovisas i Tabell 1. Beräkningar har gjorts för medelvärdet av varje års lägsta nivå (medellågnivå eller MLW), medelvattenståndet (medelnivå eller MW) samt medelvärdet av varje års högsta nivå (medelhögnivå eller MHW) under tidsperioden 1963-2015.

För 100-årsnivån gjordes frekvensanalys med två olika fördelningar, se Bilaga B. Från dessa valdes resultat från Gumbel-fördelningen ut, eftersom den gav det bästa resultatet. Det är den som visas i Tabell 1. Trots att förutsättningarna för beräkningarna har ändrats (se stycke 3.1.1) blir 100-årsnivån densamma som tidigare (SOU, 2006).

Vid beräkningen av beräknad högsta vattennivå har två olika startvattenstånd valts (se stycke 3.1.1). Resultatet skiljer sig inte så mycket för de två olika startvattenstånden, nivåerna blir 23,08 m respektive 23,04 m. Tidigare beräkningar gav ett högre värde på beräknad högsta vattennivå, 23,30 m (SOU, 2006). Till de nya beräkningarna har förbättringar gjorts i modellen (se stycke 3.1.1).

Tabell 1. Beräknade vattennivåer i dagens klimat. Nivåerna anges i meter över havet i RH00. MLW, MW och MHW är beräknade för perioden 1961-1990. 100-årsnivå och 200-årsnivå har beräknats för perioden 1963-2015.

	Medellåg nivå	Medel- nivå	Medelhög nivå	100- års nivå	200- års nivå	Beräknad högsta vattennivå (startvattenstånd SG=21,62)	Beräknad högsta vattennivå (startvattenstånd lägsta nivå enligt vattendom= 21,50)
Dagens klimat	21,59	21,81	22,08	22,54	22,63	23,08	23,04

Beräkningen av vattennivåer för de 18 klimatscenarierna redovisas som förändringen mellan referensperioden 1961-1990 och en framtidsperiod för medelvattenstånd, medelhöga nivåer, 100- och 200-års nivåer samt beräknad högsta vattennivå. Beräkningar har gjorts för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I Tabell 2 redovisas klimatsceniernas medelförändring samt min- och maxvärden jämfört med klimatsceniernas referensperiod 1961- 1990 för RCP 4.5 respektive RCP 8.5.

Beräkningarna visar på en lägre medellågnivå samt relativt små skillnader för medelvattenståndet och medelhögvattenståndet (medel av varje års högsta vattennivå) i ett framtida klimat för både RCP4.5 och RCP8.5. För 100-årsnivån och 200-års-nivån ses en svag ökning till slutet av seklet. För den beräknade högsta vattennivån pekar RCP 4.5 på oförändrade vattennivåer medan RCP 8.5 visar på en ökning på ca 1 dm både i mitten och i slutet av seklet. Spridningen mellan de olika scenarierna är stor.

De relativt små förändringarna i framtida 100-årsnivå och beräknad högsta vattennivå ligger i linje med tidigare resultat (SOU 2006).

Tabell 2. Förändringen för beräknade vattennivåer i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

	Medellåg nivå	Medelnivå	Medelhög- nivå	100- års nivå	200- års nivå	Beräknade högsta vattennivå
RCP 4.5 (2021-2050)	- 2 (-7 till +4)	0 (-5 till +5)	+1 (-5 till +7)	- 1 (-18 till +25)	- 2 (-22 till +29)	0 (-26 till 23)
RCP 8.5 (2021-2050)	- 2 (-6 till +5)	- 1 (-5 till +7)	+1 (-3 till +14)	+4 (-15 till +22)	+5 (-17 till +26)	+11 (-29 till 57)
RCP 4.5 (2069-2098)	- 9 (-19 till +1)	- 3 (-9 till +5)	+1 (-7 till +10)	+5 (-11 till +20)	+6 (-12 till +22)	+2 (-15 till 20)
RCP 8.5 (2069-2098)	- 15 (-32 till +1)	- 4 (-18 till +5)	+4 (-9 till +13)	+7 (-15 till +24)	+8 (-16 till +27)	+11 (-25 till 50)

4.1.4 Varaktigheter vattenstånd

Beräkningar har gjorts med tidsserier från HBV-modellen där medelvärdet av antalet dagar/år över eller under olika vattennivåer har beräknats för referensperioden 1961-1990 samt två framtidsperioder, 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningarna för dagens klimat baseras på vattenståndsobservationer från Hjälmaren. Förändringen för framtidsperioderna är beräknade som klimatscenariernas medelvärden för RCP 4.5 samt RCP 8.5 jämfört med klimatscenariernas referensperioder.

I Tabell 3 visas medelvärdet av antalet dagar/år som vattenståndet ligger över eller under olika nivåer för referensperioden 1961-1990. Tabell 4 visar förändringen av medelvärdet samt min och max för klimatscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5 för de två framtidsperioderna. Beräkningarna visar på en tendens att de högre nivåerna blir något vanligare och även att de låga nivåerna blir vanligare i framtiden. Detta skiljer sig från tidigare resultat, som tydde på att höga och låga nivåer skulle bli mindre vanliga (Bergström m.fl. 2006). En tabell där antalet dagar med en viss nivå redovisas för fler intervall finns i Bilaga C.

Under maj månad är jordbruket särskilt känsligt för översvämningar och i Tabell 5 redovisas förändringar i antalet dagar över dämningssgränsen (22,1 m) under maj. De höga majnivåerna beräknas förekomma ungefär lika ofta som i dagens klimat.

Tabell 3. Beräknade medelvärden (antal dagar/år) mellan olika vattennivåer för dagens klimat, 1961-1990.

[m.ö.h]	Dagens klimat [Antal dagar]
>22,4	0
22,4-22,3	1
22,3-22,2	2
22,2-22,1	8
22,1-22	35
22-21,9	70
21,9-21,8	95
21,8-21,7	81
21,7-21,6	31
21,6-21,5	29
21,5-21,4	8
21,4-21,3	1
<21,3	5

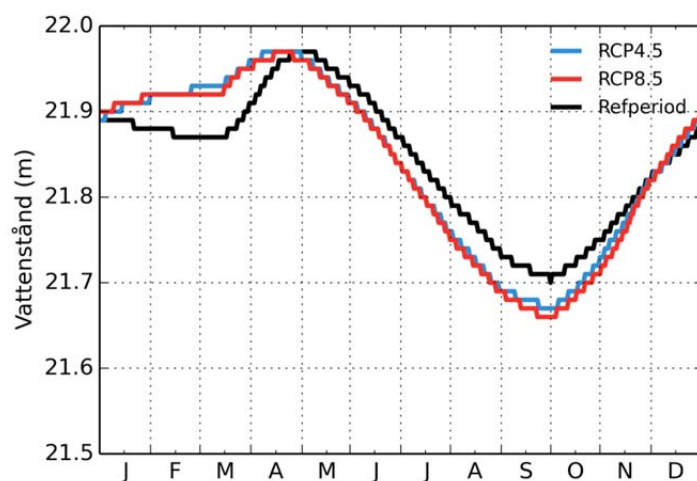
Tabell 4. Antal dagar per år över dämningssgränsen (22,10 m) och under sänkningsgränsen (21,60 m) i dagens klimat samt förändringen i ett framtida klimat. Resultatet redovisas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m.ö.h]	Dagens klimat 1961-1990 [Dagar]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>22,1	11	+3 (-8 till +14)	+8 (-5 till +31)	+5 (-6 till +14)	+10 (-10 till +24)
<21,6	43	+12 (-9 till +32)	+17 (-10 till +41)	+29 (-5 till +61)	+59 (+14 till +124)

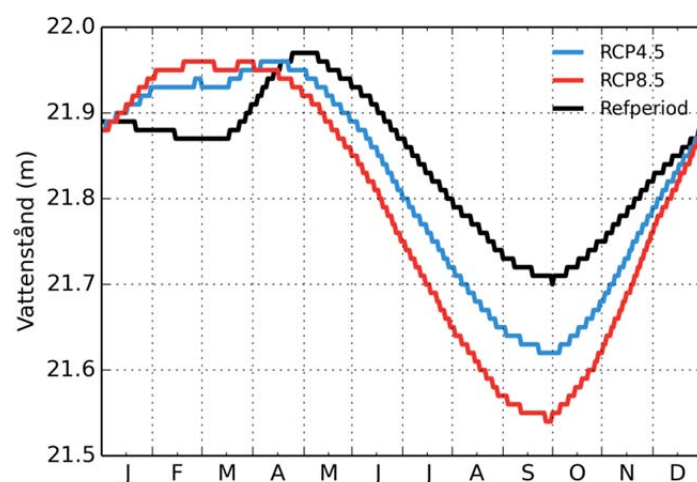
Tabell 5. Antal dagar per år med vattennivå över dämningssgränsen (22,10 m) i maj månad. i dagens klimat samt förändringen i ett framtida klimat. Resultatet redovisas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m.ö.h]	Dagens klimat 1961-1990 [Dagar]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>22,1	5	+1 (0 till +3)	+2 (0 till +6)	+1 (0 till +2)	0 (0 till +1)

Figur 11 och 12 visar hur vattennivån i Hjälmaren varierar under året. För perioden 2021-2050 visar de båda klimatscenierna RCP4.5 och RCP8.5 mycket lika förändring av vattenståndsvariationen, de visar båda på en ökning av vattenståndet under januari, februari, mars och april med ca 5 cm och en minskning av vattenståndet under sommar och höst. För perioden 2069-2098 visar RCP8.5 en större ökning under början på året och en större minskning av vattenståndet under sommar och höst. Den årslägst nivå beräknas minska med ca 1,5 dm.



Figur 11. Vattennivåns variation i Hjälmarén under året. Svart linje visar klimatsceneriarnas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 (långt utsläppsscenario) och röd linje RCP8.5 (høgt utsläppsscenario) för perioden 2021-2050.



Figur 12. Vattennivåns variation i Hjälmarén under året. Svart linje visar klimatsceneriarnas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 (långt utsläppsscenario) och röd linje RCP8.5 (høgt utsläppsscenario) för perioden 2069-2098.

4.1.5 Varaktigheter tappningar

Beräkningar har gjorts med tidsserier från HBV-modellen där medelvärdet av antalet dagar/år över eller under olika tappningar har beräknats för referensperioden 1961-1990 samt två framtidsperioder, 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningarna för dagens klimat baseras på modellberäkningar utförda med observerad temperatur och nederbördsdata. Förändringen för framtidsperioderna redovisas som klimatsceniernas medelvärden för RCP 4.5 samt RCP 8.5 jämfört med klimatsceniernas referensperioder. Antagande har gjorts att dagens vattendom gäller även i framtiden.

I Tabell 6 visas medelvärdet av antalet dagar/år som vattenföringen väntas vara mellan olika värden för referensperioden 1961-1990.

Tabell 7 visar förändringen av medelvärdet samt min och max för klimatscenierna RCP 4.5 och RCP 8.5 för de två framtidsperioderna. Beräkningarna visar på att höga vattenföringar blir något vanligare i framtiden och även de låga vattenföringarna förväntas förekomma oftare. En tabell där antalet dagar med en viss nivå redovisas för fler intervall finns i Bilaga C.

Tabell 6. Beräknade medelvärden (antal dagar/år) för vattenföringar mellan olika nivåer för dagens klimat, 1961-1990.

[m ³ /s]	Dagens klimat
	[Antal dagar]
>100	1
100-90	0
90-80	1
80-70	2
70-60	7
60-50	20
50-40	36
40-30	57
30-20	59
20-10	39
10-5	26
5-1	89
<1	28

Tabell 7. Antal dagar per år över och under olika tappningar från Hjälmaren i dagens klimat samt förändring till framtida klimat jämför med referensperioden 1961-1990. Beräkningarna är gjorda för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m ³ /s]	Dagens klimat 1961-1990 [Dagar]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>70	4	+1 (-4 till +6)	+3 (-4 till +19)	+2 (-6 till +7)	+6 (-4 till +13)
<5	117	+20 (+6 till +50)	+24 (-17 till +50)	+49 (+22 till +74)	+59 (-2 till +128)

4.2 Vinduppstuvning

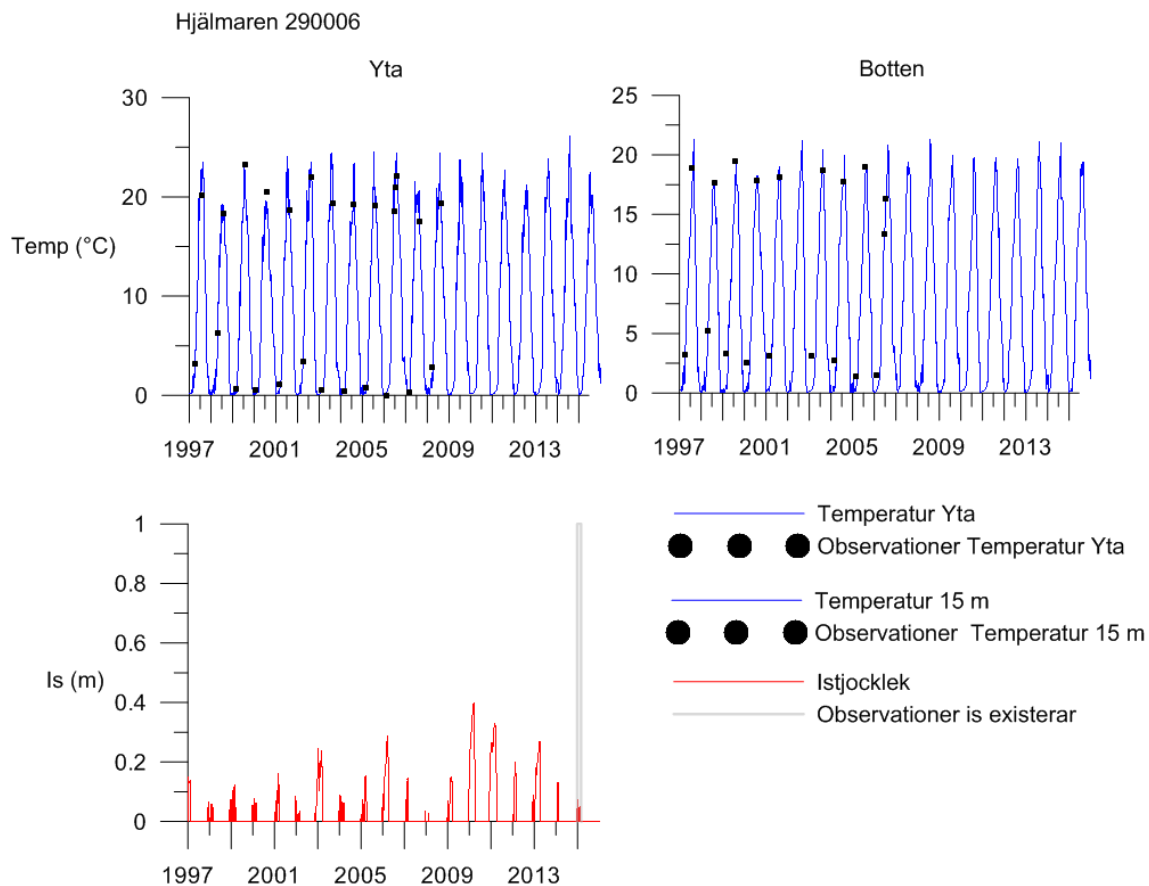
Simulerad vinduppstuvning vid vindar med en hastighet på 20 m/s i den för platsen mest ogynnsamma vindriktningen listas i Tabell 8.

Tabell 8. Beräknad vinduppstuvning i Hjälmaren vid Örebro vid en vindhastighet på 20 m/s.

Läge	Vindriktning	Vinduppstuvning (m)
Örebro	O	0.43

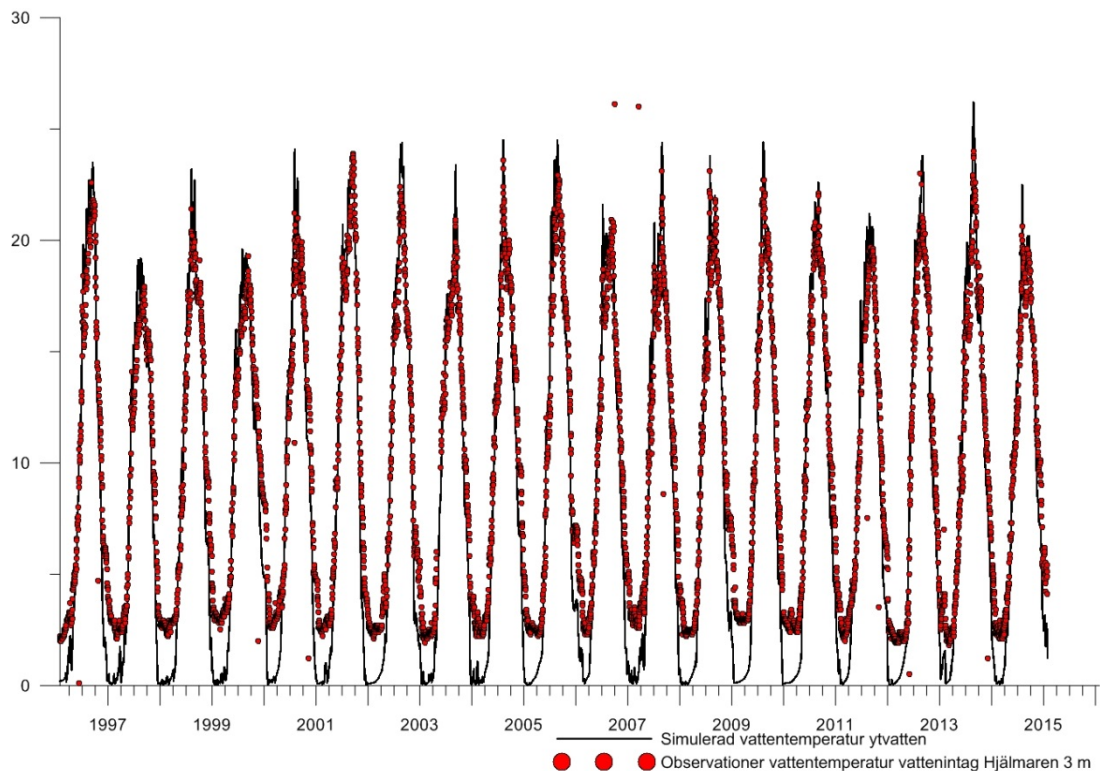
4.3 Vattentemperatur och is

I syfte att validera modellberäkningarna från Kustzonsmodellen i Hjälmaren har beräkningarna jämförts med uppmätta data, se Figur 13. Överst i figuren presenteras temperaturen i ytvattnet och bottenvattnet från modellen och stationen Storhjälmaren 8030. Observationerna finns inte tillgänglig för alla djup, därför har 15 m valts att motsvara botten. Den nedersta grafen i Figur 13 visar simulerad istjocklek. Beräkningen för förekomsten av is är grov eftersom hela Hjälmaren beskrivs på samma sätt över hela den horisontella ytan. Det går till exempel inte att beskriva förekomst av is i mindre vikar men ett öppet vatten i de mer öppna delarna. Simuleringarna av is ger dock ge en indikation på hur förekomsten av is påverkas i ett framtidaklimat. I grafen för istjocklek (Figur 13) visar modellen att det förekommer is under alla år mellan 1997-2015. Sista året finns en observation som visar att det finns is i Hemfjärdendelen. Den simulerade första isläggningen och sista islossningen stämmer ganska väl även om modellen simulerar att isen går upp vid ett par tillfällen där mellan. Under övriga år finns inga isobservationer.



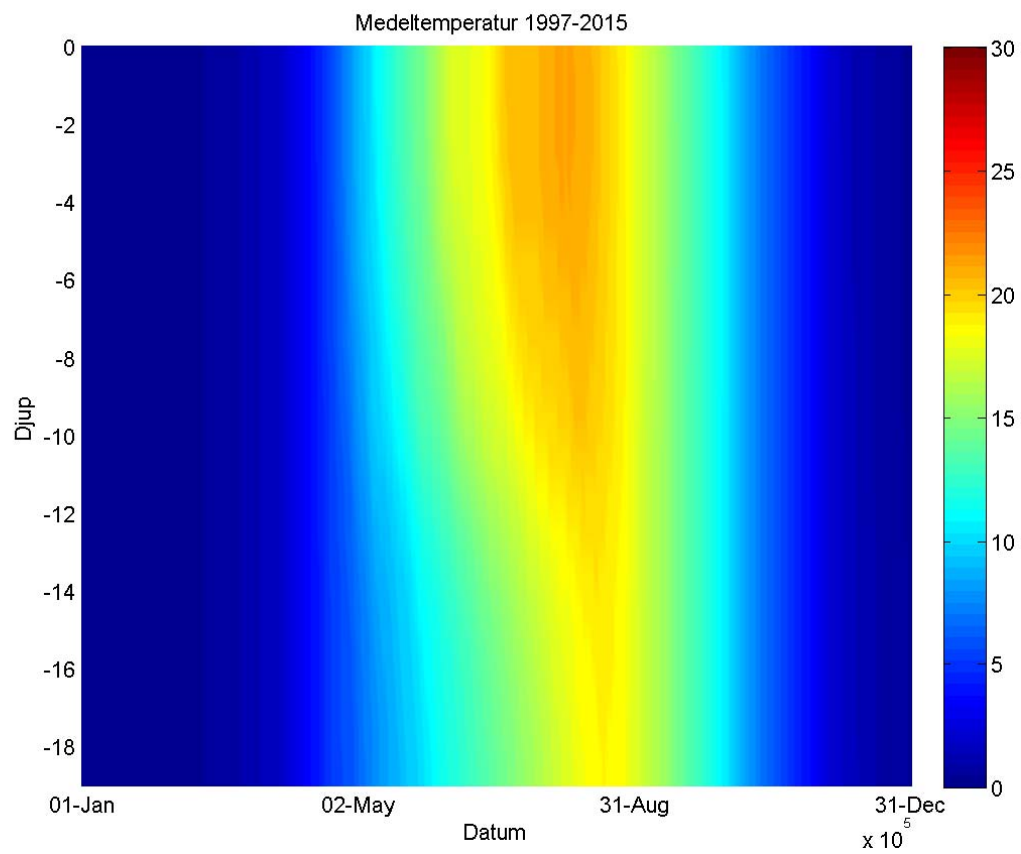
Figur 13. De två övre graferna visar simulerad temperatur °C (blå) i yta respektive botten (15 m) i Hjälmarén. Observationer är från stationen Storhjälmaren (svart). Den nedre grafen visar simulerad istjocklek i meter (röd) samt en markering om någon is har observerats (grå graf visar 1) i Hemfjärdendelen. Isobservationer finns bara för vintern 2014-2015.

Den simulerade temperaturen har också jämförts med dygnsdata som observerats vid Arboga vattenverk. Vattenintaget är på ca 3 meters djup och har innan mätning transporterats i en ledning till vattenverket. Den simulerade temperaturen som visas i Figur 14 representerar den översta metern i hela Hjälmarén. I stora drag fångar modellen variationerna bra även om vintertemperaturerna avviker tydligt. Det är osäkert varför vintertemperaturerna skiljer sig, eventuellt kan det vara en effekt av en lokal variation.

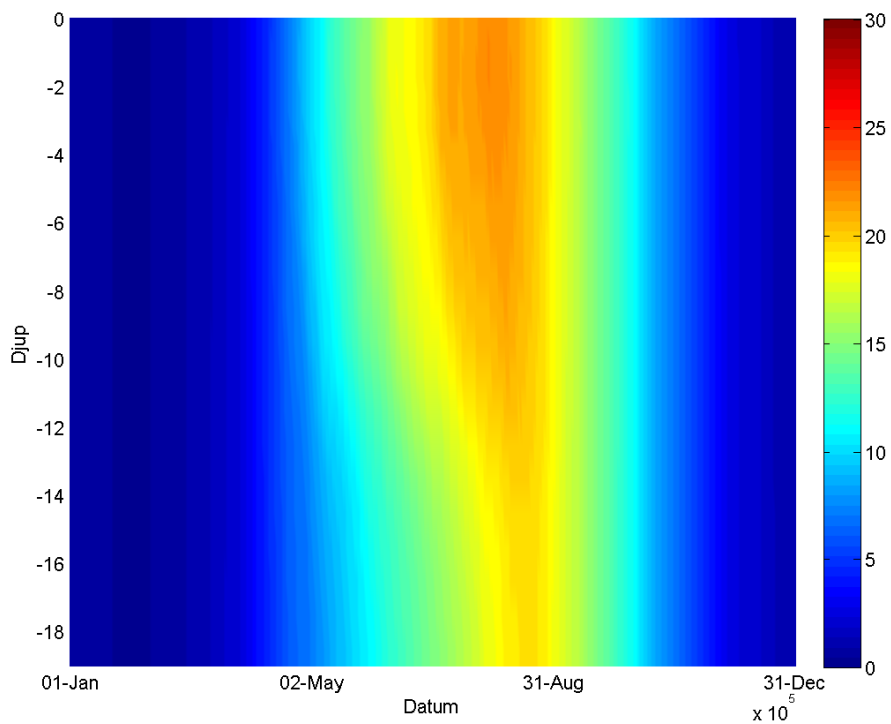


Figur 14. Observerad och simulerad vattentemperatur. Observerad vattentemperatur vid Arboga vattenverk. Den simulerade vattentemperaturen är ett medelvärde för modellens översta celler vilket motsvarar den översta metern i Hjälmaren.

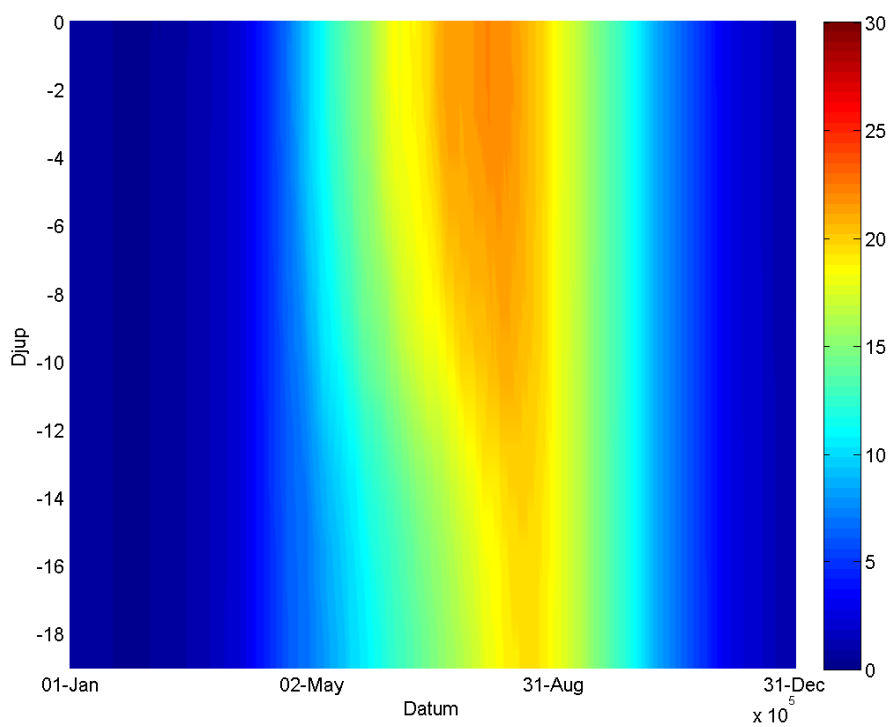
För att illustrera hur temperaturen ser ut i hela profilen visas den simulerade temperaturen för alla djup under ett normalår i Figur 15. Normalåret innehåller medelvärdesbildade temperaturer för varje dag under perioden 1997-2015. Inga tydliga skiktningar kan ses i profilen, detta betyder dock inte att tydligare skiktningar inte kan uppträda enskilda år. I framtiden (Figur 16-19) blir temperaturen högre både i ytvattnet och i bottenvattnet.



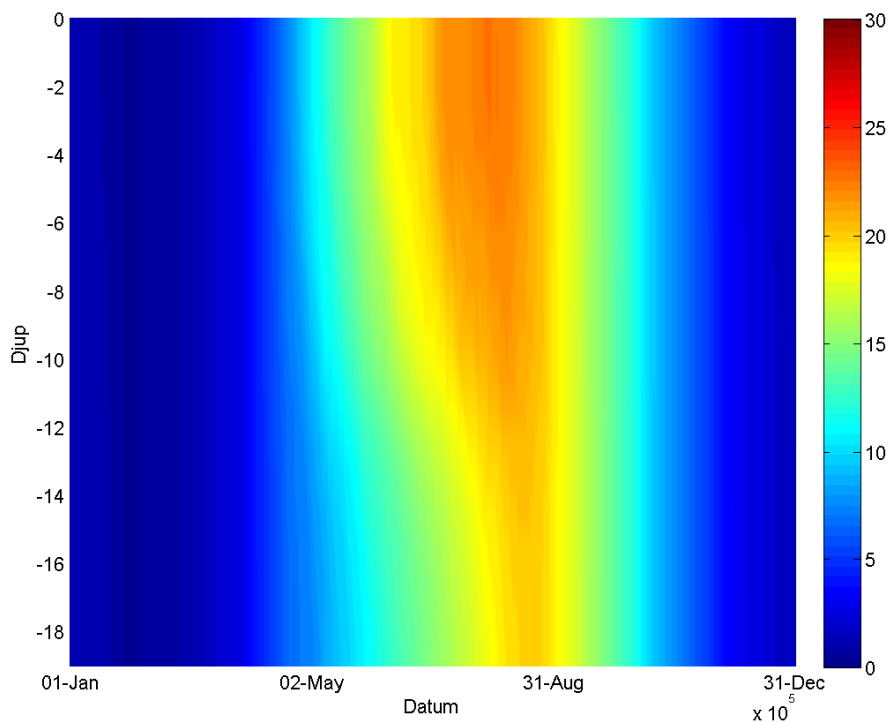
Figur 15. Simulerade temperatur för alla djup under ett normalår (1997-2015) i Hjälmarén.



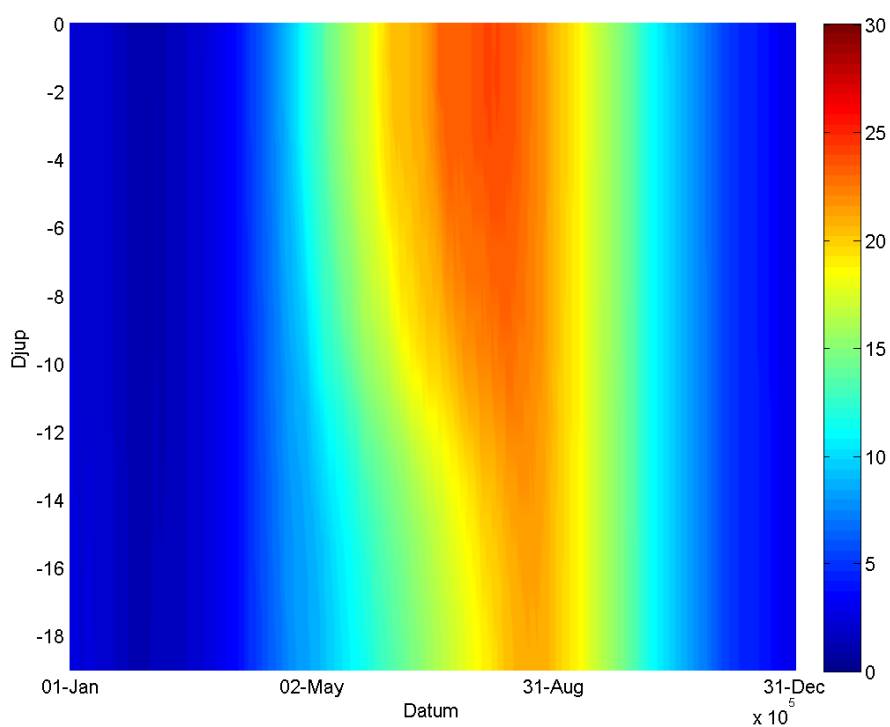
Figur 16. Simulerade temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2032-2050 och med RCP 4.5 i Hjälmarén.



Figur 17. Simulerade temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2032-2050 och med RCP 8.5 i Hjälmarén.



Figur 18. Simulerade temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2080-2098 och med RCP 4.5 i Hjälmarén.



Figur 19. Simulerade temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2080-2098 och med RCP 8.5 i Hjälmarén.

För att se hur temperatur och is förändras, enligt RCP 4.5 samt 8.5, under de framtida perioderna 2032-2050 och 2080-2098 har ett antal indikatorer valts ut, se Tabell 9. Medeltemperaturen ökar i både yt- och bottenvatten till perioden i mitten av seklet och ytterligare något till perioden i slutet av seklet. Skillnaden i medeltemperaturen är liten mellan RCP 4,5 och 8,5 i mitten av seklet men i slutet av seklet kan man se en större ökning då RCP 8,5 används.

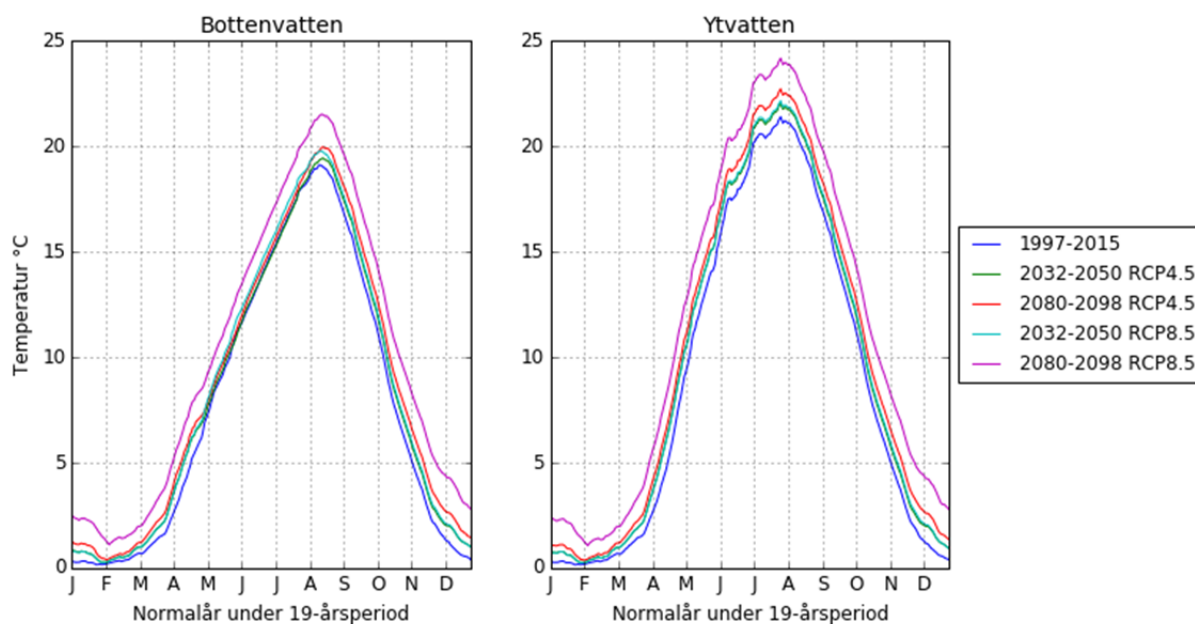
Förekomsten av dagar då temperaturen överstiger 5, 10, 15 respektive 20 grader i ytvattnet ökar i alla scenarier med störst ökning för RCP8.5 i slutet av seklet. Antalet dagar med skiktning ökar medan antalet dagar med is minskar då scenarierna jämförs med referensperioden. I dagens klimat blir Hjälmaren islagd varje vinter, men enligt beräkningarna väntas isläggning utebli helt vissa vintrar i framtiden.

Tabell 9. Olika parametrar för vattentemperatur och is i Hjälmaren, dels medelvärde för referensperioden 1997-2015, dels genomsnittlig förändring till de båda perioderna 2032-2050 och 2080-2098 samt de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 (lågt scenario) och RCP8.5 (høgt scenario). I detta fall har det av beräkningstekniska skäl inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena, men värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. Därför har vi valt att presentera resultaten i halvgrader och hela antal dagar.

	Period 1997- 2015	Period 2032- 2050 RCP4.5	Period 2032- 2050 RCP8.5	Period 2080- 2098 RCP4.5	Period 2080- 2098 RCP8.5
Medeltemperatur ytvatten (grader C).	9,0	+0,5	+0,5	+1,0	+2,5
Medeltemperatur bottenvatten (grader C)	7,5	+0,5	+0,5	+1,0	+2,0
Maxtemperatur ytvatten (grader C)	26,0	+0,5	+0,5	+1,5	+3,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >5 grader C	205	+11	+12	+20	+47
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >10 grader C	159	+8	+8	+13	+29
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >15 grader C	107	+9	+9	+16	+34
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >20 grader C	34	+13	+15	+24	+49
Antal dagar/år med skiktning *	48	+3	+4	+7	+18
Antal dagar/år med is	51	-25	-25	-32	-44
Antal år med is	19 av 19	18 av 19	18 av 19	17 av 19	11 av 19

*Skiktning definierats utefter den metod som beskrivs i stycke 3.1.3.

Temperaturen visar sig öka i Hjälmarens yt- och bottenvatten alla tider under året för de framtida scenarierna jämfört med referensperioden. Temperaturen för ett normalår som baseras på 19-årsperioden redovisas i Figur 20. Störst skillnad är det mellan referensperioden och den framtida perioden 2080-2098 (RCP8.5).



Figur 20 Simulerad temperatur för bottenvattnen och ytvatten under ett normalår i Hjälmarén för referensperioden 1997-2015 (blå) och framtidsscenarier (övriga).

5 Diskussion och slutsatser

I denna rapport redovisas resultat från beräkningar av bl.a. framtida vattennivåer och vattentemperaturer. Resultatet kan användas t.ex. som underlag till samhällsplaneringen och som ett underlag för studier av påverkan på Hjälmaréns ekosystem.

Konsekvenserna av dessa förändringar kommer att behandlas i en kommande rapport, där även Vänern, Vättern och Mälaren ingår.

5.1 Vattennivåer i dagens klimat

I detta projekt har nya beräkningar för Hjälmaréns vattennivå gjorts. Dagens 100-årsnivå har inte ändrats sedan tidigare beräkning medan beräknad högsta vattennivå är lägre i de nya beräkningarna jämfört med de som redovisas i Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2006). Det har gjorts förbättringar i modellerna och det finns nu ytterligare ca 10 års observationsdata att utgå från. Sammantaget gör detta att de nya beräkningarna borde vara säkrare än de tidigare.

5.2 Vattennivåer i framtida klimat

Beräkningar av vattennivåer i Hjälmarén i framtida klimat har gjorts i Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2006) och av Olofsson och German (2013). De nya beräkningarna för 100-årsnivå och beräknad högsta vattennivå, liksom de tidigare, visar små förändringar till framtida klimat. Något som skiljer sig i de nya beräkningarna jämfört med de tidigare är att de låga nivåerna i de nya beräkningarna väntas bli vanligare i framtiden. Beräkningarna i Klimat- och sårbarhetsutredningen tydde på att de låga nivåerna skulle bli mindre vanliga. Förutsättningarna för beräkningarna har dock ändrats, dels är modellerna förbättrade och det finns nu en ny generation klimatscenarier (IPCC 2013).

Det finns en del osäkerheter i beräkningarna. Den största osäkerheten ligger i hur mycket växthusgaser människan kommer släppa ut i framtiden. Det finns även osäkerheter i klimatmodellerna, t.ex. beroende på begränsad upplösning i både tid och rum.

I samtliga beräkningar för vattennivåer och tappningar har vi antagit att Hjälmaréns kommer att regleras på samma sätt i framtiden som idag, eftersom det i dagsläget inte finns några planer på att ändra Hjälmaréns vattendom.

5.3 Vinduppstuvningen

Den hydrodynamiska tredimensionella beräkningsmodellen för Hjälmaren har kontrollerats mot observerat vattenstånd. Friktionen från vinden på vattenytan samt friktionen mot botten har anpassats, inom rimliga gränser, för att ge en tillfredställande beskrivning av vattenståndet i sjön. Det hade varit möjligt att skruva på friktionerna ytterligare för att exempelvis inte vattenståndshöjningar underskattas men det är samtidigt inte lämpligt att använda orimliga värden. En möjlig förklaring till diskrepans mellan observerat och simulerat vattenstånd är att vindens variation över sjön inte beskrivs helt korrekt. Observationer från en plats, Örebro, har använts som drivning men det vore önskvärt att använda ett vindfält som varierar i både tiden och rummet. Det är svårt att ange en felmarginal för beräkningsmodellen eftersom det inte går att avgöra vad som orsakas av att vindfältet inte är beskrivet fullt ut.

5.4 Vattentemperatur och is

Det här är första gången beräkningar av vattentemperaturer i framtida klimat görs för Hjälmaren. Trots att modellen är enkel ger den bra resultat för dagens klimat. Vi har dock haft vissa svårigheter att validera beräkningsresultatet eftersom det inte finns så mycket mätningar. Vi har dock kunnat jämföra resultatet för ytvattnet med en längre mätserie från Arboga vattenverk.

Med den metoden vi har använt för beräkning av vattentemperatur och isförhållanden har vi av beräkningstekniska skäl inte kunnat beräkna någon osäkerhet i vattentemperaturen. Det ska dock påpekas att det i resultatet för framtida vattentemperaturer och is finns osäkerheter och att värdena ska betraktas som ungefärliga.

6 Tackord

Denna rapport har tagits fram i samarbete med en referensgrupp bestående av Anders Larsson, Länsstyrelsen Örebro, Kaj Hellner, Länsstyrelsen Södermanland, Måns Enander, Länsstyrelsen Västmanland, Per Wedholm, Örebro kommun, Ulf Zackrisson, Arboga kommun, Lotta Carlström, Hjälmarens vattenvårdsförbund, Ingegerd Oberg, Hjälmarens vattenvårdsförbund, Åsa Wolgast-Broberg, LRF och Bengt Dalme, Hjälmare och Kvismare sjösänkingsföretag. Vi vill tacka referensgruppen för värdefulla synpunkter och diskussioner.

Vi vill också tacka Johan Andreasson, Sten Bergström, Niclas Hjerdt, Jonas Sjögren, Walter Gyllenram, Lena Lindström och Sian de Koster på SMHI för stor hjälp under olika delar av arbetet med rapporten.

7 Referenser

Bergström, S. (1995). The HBV Model. In. Singh, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 443-476.

Bergström, S., Hellström, S.-S. och Andréasson, J. (2006) Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem–Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. SMHI Reports Hydrology nr 20.

Ernfors, S. (1968). Mälaren-Norrström. Hjälmaren. Viktigare fakta och data. Internt PM SMHI.

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

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

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

- Jordbruksdepartementet (1979). Ändrad vattenhushållning i Hjälmaren. Betänkande avgivet av Hjälmarrutredningen 1976 (Jo 1976:10).
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2011). Stigande vatten. En handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden.
- Marmefelt, E., Arheimer, B. and Langner, J. (1999). An integrated biochemical model system for the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 393, 45-56.
- Marsaglia G, Tsang WW, Wang J (2003). "Evaluating Kolmogorov's Distribution". *Journal of Statistical Software* 8 (18): 1–4.
- MSB (2014). Vägledning för översvämningskartering av vattendrag. Fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning.
- Olofsson, J. och German, J. (2013). MHW Hjälmaren. PM SMHI Dnr: 2013/135/9.5.
- Sahlberg, J. (2009). The Coastal Zone Model. SMHI Reports Oceanography. No.98
- SOU (2006) Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Väneren. Delbetänkande av klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU2006:94
- 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. SMHI Klimatologi Nr 15.
- Strandberg, G., Bärring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A. och Wang, S. (2014). CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Reports Meteorology and Climatology, 116, SMHI.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2015). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J., and F. Wetterhall (2010) Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impact studies, *Hydrol. Res.*, 41, 211-229.

Bilaga A. Kontroll av vinduppstuvningen i modellen

För att kontrollera att beräkningsmodellen simulerar vattenståndet på ett tillfredställande sätt jämförs simulerat vattenstånd med observerat vattenstånd.

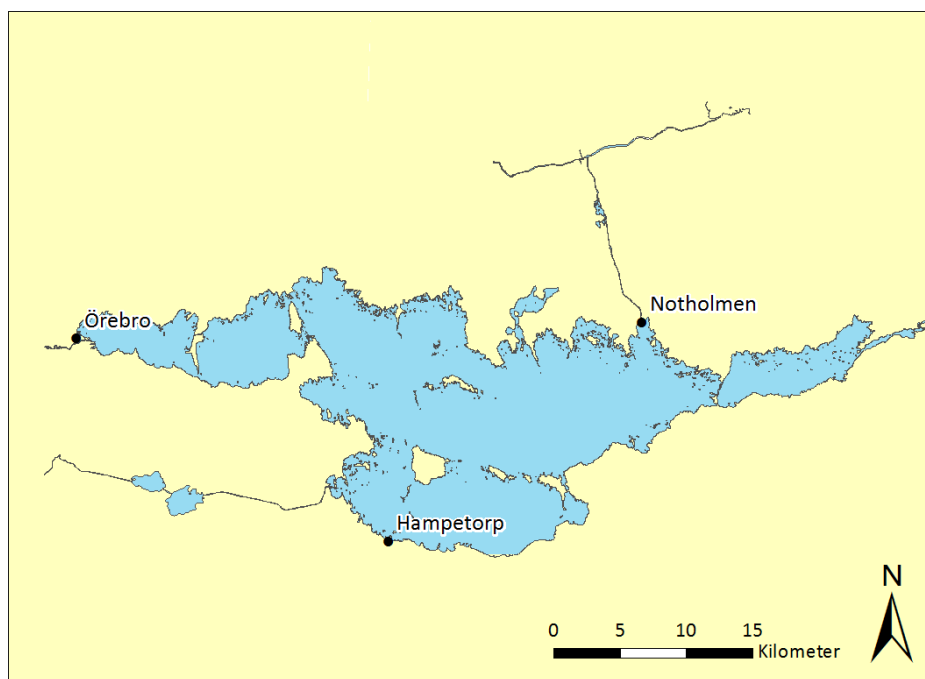
Flera simuleringar med olika inställningar i modellen på exempelvis vind- och bottenfriktion har utförts. Varje simuleringsfall har jämförts med observerat vattenstånd. I figurerna nedan visas resultat från de simuleringar med den inställning som genererat minst fel vid jämförelse av simulerat och observerat vattenstånd sammantaget för de tre tidsperioderna. Det är dessa inställningar som använts vid simuleringarna för stationär vinduppstuvning.

I Hjälmaren utför SMHI vattenståndsmätningar vid Notholmen i norr och vid Hampetorp i söder. Observationer av vattenståndet startade 1815 vid Notholmen och 1982 vid Hampetorp. Högupplöst data finns för var femtonde minut från 1996 och framåt.

De båda pendlarna är placerade på ett sådant sätt att de observerade värdena skall utgöra ett bra underlag för att beräkna medelvattenståndet i Hjälmaren. Detta medför att vattenståndsobservationerna inte fångar händelser som inträffar vid friska pålandsvindar vilket i sin tur leder till att dessa observationer inte är optimala att jämföra med simulerat vattenstånd då det är just dessa händelser som är intressanta. Eftersom det inte finns några andra observationer av vattenstånd att tillgå har ändå dessa mätningar använts för att kontrollera modellen.

Som drivning av modellen har observerade vindar från SMHI:s automatstation vid Örebro flygplats använts (se Figur 21). Det är troligt att vindhastigheterna är något högre över Hjälmaren än vad som uppmätts vid stationen. Tidsserien baseras på observationer av 10 minuters medelvind för varje timme.

Kontrollsimuleringar har utförts för två tidsperioder, från 25 november till 7 december 1999 och från 7 till 20 januari 2007. Tidsperioderna har valts utifrån inträffade intressanta händelser med avseende på vindhastighet och riktning samt att man kan se en respons av vindhändelsen i det observerade vattenståndet.



Figur 21 Översiktskarta över Hjälmaren med platserna för vattenståndsobservationer vid Hampetorp och Notholmen.

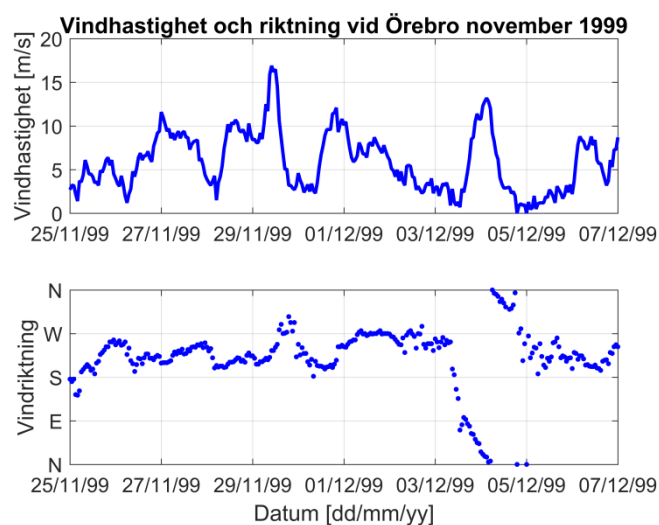
November – december 1999

Vindens hastighet och riktning vid Örebro för perioden 25 november till 7 december 1999 visas i Figur 22. Under perioden inträffar flera intressanta händelser. I början av perioden varierar vindens

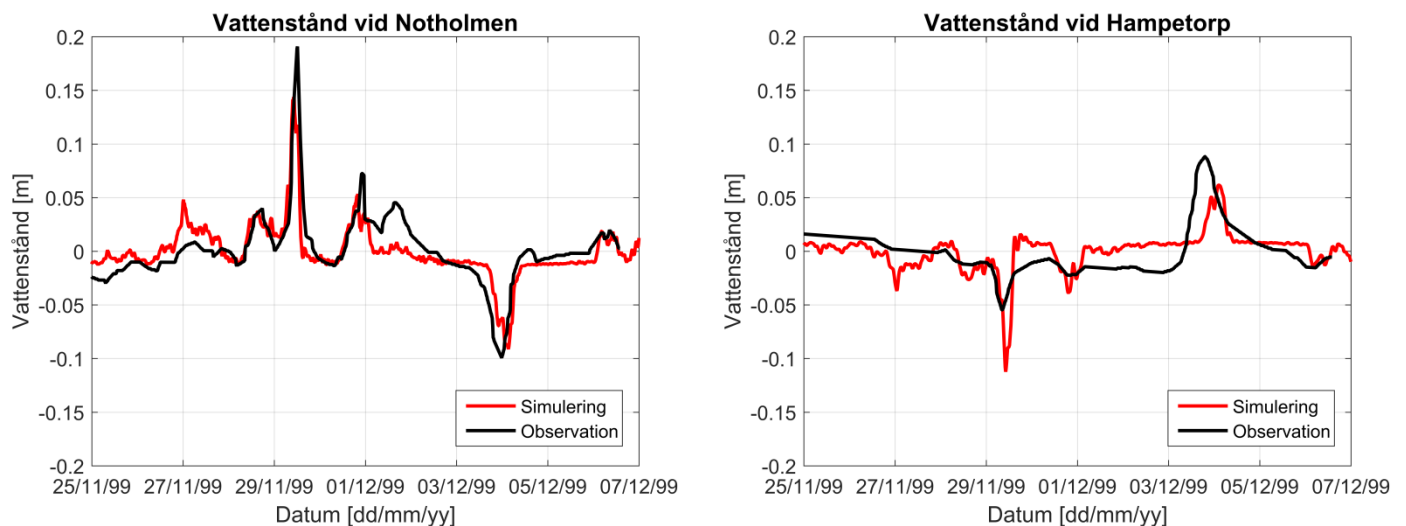
riktning inom sektorn från S till V. De högsta vindhastigheterna på strax över 15 m/s inträffar den 29 november. Runt den 4 december är vindhastigheten uppe på ca 13 m/s med en vindriktning från NO-N-NV.

Simulerat och observerat vattenstånd vid Notholmen och Hampetorp visas i Figur 23. Vid Notholmen är överensstämmelsen mellan simulerat och observerat vattenstånd relativt god. Den högsta höjningen av vattenståndet vid Notholmen inträffar vid syd- till sydvästliga vindar med den högsta vindhastigheten. Därefter sker en sänkning av vattenståndet vid friska vindar från den nordliga sektorn.

Vid Hampetorp uppvisar det observerade vattenståndet inte lika tydlig respons på vinden. Det är en viss sänkning av vattenståndet vid vindhändelsen med syd- till sydvästliga vindar och en höjning av vattenståndet vid nordliga vindar. Det simulerade vattenståndet uppvisar tydligare respons på vinden jämfört med det observerade vattenståndet särskilt vid Hampetorp men till viss del även vid Notholmen. Att det observerade vattenståndet uppvisar mindre variationer tyder på att peglarna inte är optimalt placerade för att studera vindresponsen.



Figur 22 Vindhastighet och riktning vid Örebro i november och december 1999.



Figur 23 Simulerat (röd linje) och observerat (blå linje) vattenstånd vid Notholmen och Hampetorp november-december 1999.

Januari 2007

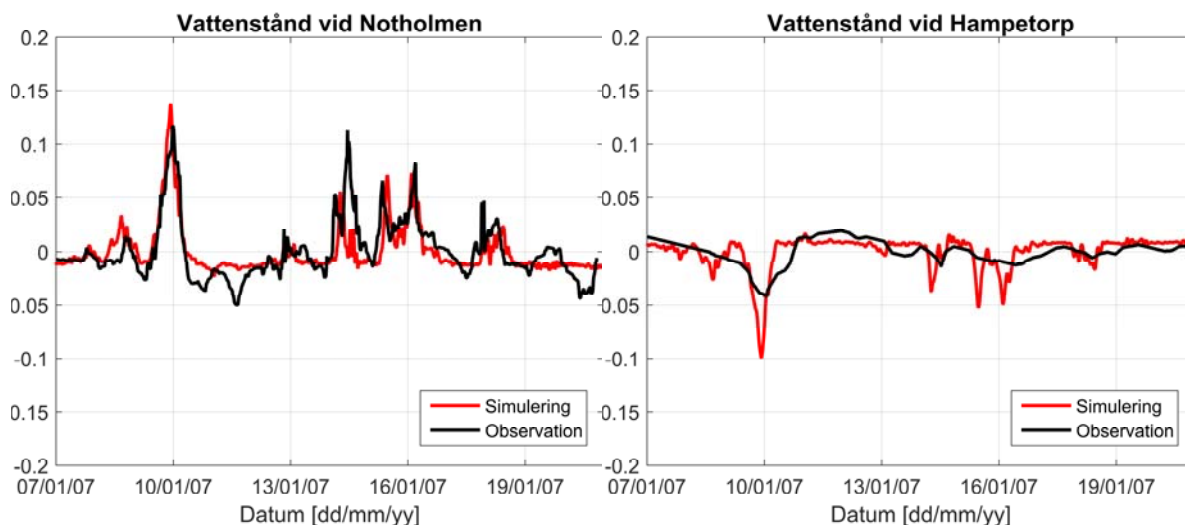
Vindens hastighet och riktning vid Örebro för perioden från 7 till 21 januari 2007 visas i Figur 24. Under perioden inträffar flera intressanta händelser. I början av perioden når vinden en hastighet på över 15 m/s och med en riktning på SV. Under senare delen av perioden förekommer flera mindre händelser efter varandra med vindhastigheter på 10 till 15 m/s. Även under denna del är vindens riktning främst från SV.

Simulerat och observerat vattenstånd vid Notholmen och Hampetorp visas i Figur 25. Överensstämmelsen mellan simulerat och observerat vattenstånd är relativt god vid Notholmen. Den första vattenståndshöjningen överskattas något av modellen medan vattenståndshöjningen underskattas i mitten av perioden.

Vid Hampetorp uppvisar det observerade vattenståndet inte lika tydlig respons på vinden. Det är en viss sänkning av vattenståndet vid första händelsen med vindar från SV men utöver detta syns ingen större respons. Det simulerade vattenståndet uppvisar däremot tydlig respons på vinden. Att det observerade vattenståndet uppvisar mindre variationer tyder på att pegeln inte är optimalt placerad för att studera vindrespons.



Figur 24 Vindhastighet och riktning vid Örebro i januari 2007.

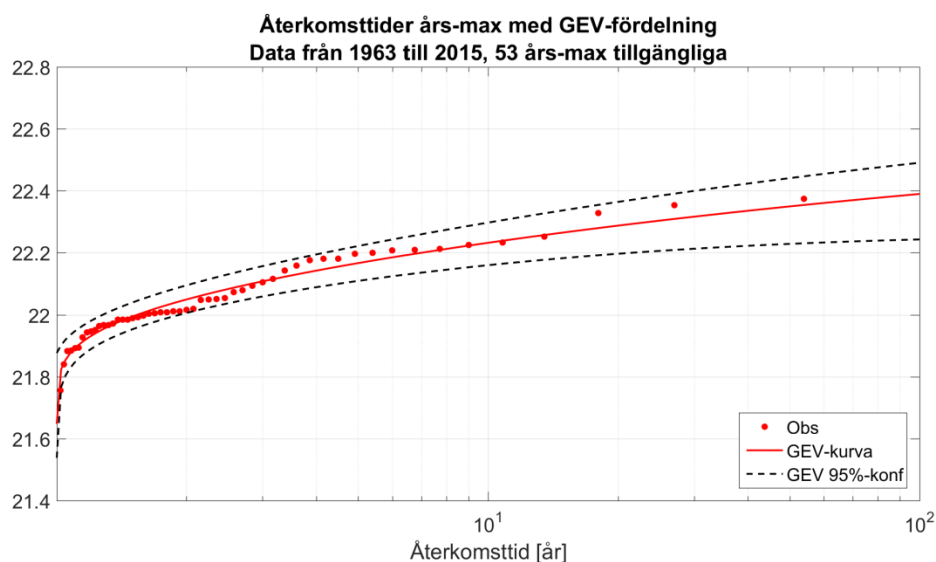


Figur 25 Simulerat (röd linje) och observerat (blå linje) vattenstånd vid Notholmen och Hampetorp i januari 2007.

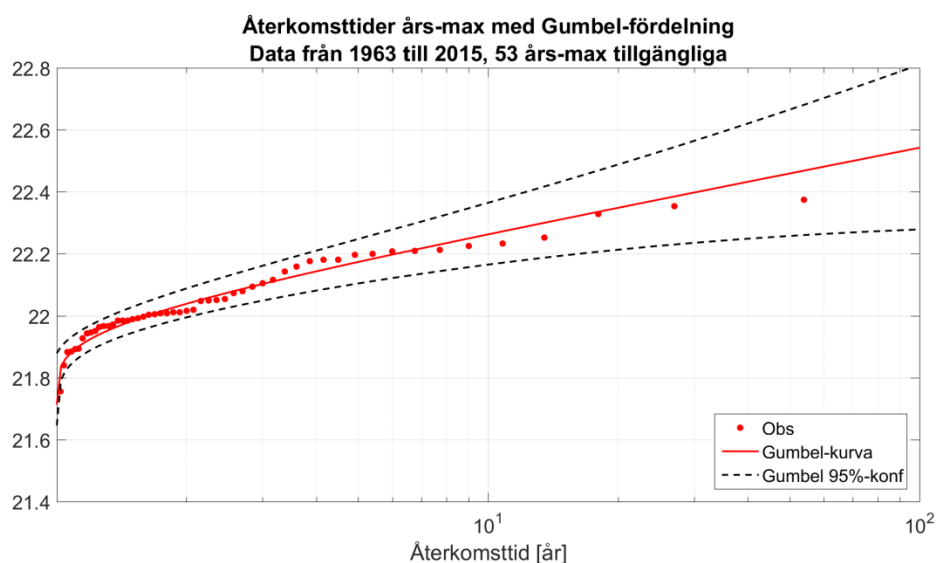
Bilaga B. Beräkning av 100-årsnivå och 200-årsnivå.

I tabellen visas resultat från beräkningen av 100-års- och 200-årsnivån. KS-testet tittar på största avvikelserna mellan datamaterialets empiriska fördelningsfunktion, och fördelningens fördelningsfunktion. Kolmogorov Smirnovs anpassningstest finns beskrivet av t.ex. Marsaglia m.fl. (2003).

Fördelnings-funktion	100-årsnivå		200-årsnivå		KS-test
	Värde (m)	95% konfidens-intervall	Värde (m)	95% konfidens-intervall	
GEV	22,39	22,24-22,49	22,43	22,25-22,53	0,73
Gumbel	22,54	22,28-22,81	22,63	22,29-22,96	0,38



Figur 26. Återkomsttidsplot för Hjälmarens vattennivå för GEV-fördelning.



Figur 27. Återkomsttidsplot för Hjälmarens vattennivå för Gumbel-fördelning.

Bilaga C. Varaktigheter Vattenstånd och tappning

Förändringen i dagar mellan olika vattenstånd i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m.ö.h]	RCP 4.5 2021-2050	RCP 8.5 2021-2050	RCP 4.5 2069-2098	RCP 8.5 2069-2098
>22,4	0 (-2 till +1)	0 (-2 till +2)	0 (-2 till +2)	0 (-2 till +1)
22,4-22,3	0 (-1 till +1)	+1 (-2 till +4)	0 (-3 till +3)	0 (-3 till +3)
22,3-22,2	- 1 (-5 till +3)	+1 (-5 till +10)	+1 (-7 till +8)	+2 (-7 till +6)
22,2-22,1	+4 (-4 till +11)	+5 (0 till +15)	+3 (-1 till +7)	+7 (-5 till +20)
22,1-22	+9 (-16 till +26)	+4 (-6 till +17)	+7 (-3 till +23)	+3 (-10 till +24)
22-21,9	+1 (-20 till +22)	- 3 (-33 till +24)	- 7 (-25 till +13)	- 19 (-41 till +9)
21,9-21,8	- 16 (-27 till -3)	- 11 (-35 till +18)	- 28 (-46 till -6)	- 33 (-46 till -16)
21,8-21,7	-17 (-25 till -7)	- 22 (-45 till -1)	- 23 (-47 till -3)	- 33 (-55 till -7)
21,7-21,6	+8 (-19 till +39)	+8 (-17 till +26)	+16 (-11 till +39)	+13 (-9 till +33)
21,6-21,5	+8 (-4 till +21)	+9 (-4 till +23)	+14 (-1 till +27)	+23 (+9 till +40)
21,5-21,4	+3 (-3 till +9)	+6 (-2 till +16)	+8 (-2 till +21)	+17 (+6 till +31)
21,4-21,3	+1 (-1 till +7)	+2 (-1 till +9)	+3 (-1 till +7)	+9 (0 till +25)
<21,3	0 (-3 till +1)	+1 (-3 till +6)	+4 (-3 till +10)	+7 (-3 till +28)

Förändringen i dagar mellan olika vattenföringar i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m ³ /s]	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
	2021-2050	2021-2050	2069-2098	2069-2098
>100	0 (-2 till +1)	0 (-1 till +2)	0 (-2 till +3)	0 (-2 till +2)
100-90	0 (-1 till +1)	+1 (-1 till +3)	0 (-1 till +1)	+1 (-1 till +3)
90-80	0 (-4 till +3)	+1 (-4 till +4)	0 (-5 till +3)	+2 (0 till +4)
80-70	+1 (-2 till +3)	+3 (-1 till +10)	+1 (-1 till +5)	+3 (-2 till +8)
70-60	+4 (-5 till +11)	+4 (+1 till +9)	+2 (-2 till +5)	+6 (-3 till +11)
60-50	+5 (-10 till +17)	+3 (-3 till +12)	0 (-6 till +9)	+6 (-7 till +13)
50-40	0 (-13 till +16)	- 3 (-16 till +14)	- 10 (-19 till -1)	- 3 (-17 till +9)
40-30	- 9 (-17 till +1)	- 7 (-28 till +9)	- 21 (-40 till -2)	- 18 (-28 till -1)
30-20	- 12 (-19 till -6)	- 12 (-21 till -2)	- 20 (-33 till -8)	- 20 (-26 till -10)
20-10	- 6 (-16 till +4)	- 7 (-13 till -4)	- 2 (-20 till +9)	- 11 (-18 till 0)
10-5	- 4 (-11 till +2)	- 4 (-6 till -1)	- 16 (-101 till -2)	- 6 (-11 till -1)
5-1	+16 (-2 till +36)	+14 (-8 till +30)	+40 (+20 till +66)	+26 (+2 till +42)
<1	+5 (-3 till +14)	+9 (-9 till +23)	+16 (+2 till +30)	+26 (-4 till +62)

SMHIs publiceringar

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

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

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

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

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

27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kronobergs län – Enligt RCP-scenarier.
28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Hallands län – enligt RCP-scenarier.
29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier.
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.
31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier.
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier.
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier.
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier.
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier.
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier.
37. Jonas Olsson, Weine Josefsson (red.) (2015) Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI
38. Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist (2015)
Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker
39. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist (2015)
Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån. Underlag till Dricksvattenutredningen.
40. Anna Bohman (Centrum för klimatpolitisk forskning, CSFR) vid Linköpings universitet, Lotta Andersson, SMHI och CSFR, Linköpings universitet samt Åsa Sjöström, SMHI. (2016)
Förslag till en metod för uppföljning av det nationella klimatanpassningsarbetet. Redovisning av ett regeringsuppdrag. December 2016.

41. Johan Södling (2016)
Statistisk metodik för beräkning
av dimensionerande havsvattenstånd
(Ej publicerad)
- 42 Anna Eklund, Linda Tofeldt, Johanna
Tengdelius-Brunell, Anna Johnell,
Jonas German, Elin Sjökvist, Maria
Rasmusson, Elinor Andersson (2017).
Vattennivåer, tappningar, vatten-
temperaturer och is i Vättern.
Beräkningar för dagens och framtidens
klimatförhållanden.



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

ISSN 1654-2258