

Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vänern

Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden

Anna Eklund, Linda Tofeldt, Anna Johnell, Maria Andersson, Johanna Tengdelius-Brunell,
Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Ulrika Harbman, Elinor Andersson



Version 2017-10-12. Uppdatering av Bilaga A.

Pärmbild.

Bilden föreställer Vänern vid Mariestad.

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 44

Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vänern

Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden

Anna Eklund, Linda Tofeldt, Anna Johnell, Maria Andersson, Johanna Tengdelius-Brunell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Ulrika Harbman, Elinor Andersson

Sammanfattning

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

De tydligaste förändringarna i Vänern och Göta älv i ett framtida klimat beräknas bli att:

- Det blir vanligare med låga nivåer i Vänern.
- Det blir vanligare med höga nivåer i Vänern.
- Det blir vanligare med låga tappningar i Göta älv.
- Det blir vanligare med höga tappningar i Göta älv.
- Det blir högre vattentemperaturer.
- Det blir kortare perioder med is.

I denna rapport redovisas nya beräkningar för Vänerns nivåer som ersätter de tidigare beräkningarna från 2010 (Bergström m.fl. 2010).

Vattennivåer vid olika tappningsstrategier

Beräkningar har gjorts för den nuvarande tappningsstrategin, som tillämpats sedan 2008. Den nya strategin har inneburit att Vänerns vattennivå sänkts något. Om den nuvarande tappningsstrategin hade tillämpats under 2000/2001, när nivån i Vänern var mycket hög, hade det inneburit en sänkning av de högsta nivåerna med ca 2 dm. Om Vänern även hade haft en högre tappningskapacitet med 1500 m³/s (vilket kräver en ny vattendom) hade nivån kunnat sänkas ytterligare ca 2 dm. Det är dock inte säkert att det går att tappa ut så mycket vatten från Vänern med tanke på översvämningssrisker längs Göta älv.

Beräkningar har också gjorts för två naturanpassade tappningsstrategier, som innebär att Vänern får en större vattennivåvariation och därmed bättre förutsättningar för att minska igenväxningen längs Vänerns stränder.

Vattennivåer i dagens och framtidens klimat

Medelvattennivån i Vänern är i dagens klimat (perioden 1961–1990) och för den nuvarande tappningsstrategin 44, 21 m (i höjdsystem RH00 Vänersborg). Om den nuvarande tappningsstrategin behålls beräknas Vänerns medelnivå öka med några cm till slutet av seklet, men skillnaderna väntas bli stora mellan olika årstider.

Till slutet av seklet väntas nederbörden öka, framförallt under vintern. Nederbörden väntas också i större utsträckning falla som regn. Det gör att vattennivåerna i Vänern beräknas öka under vintern. I ett varmare klimat beräknas också avdunstningen öka, både från växtligheten i Vänerns tillrinningsområde och direkt från sjöns yta, vilket gör att vattennivån i Vänern beräknas bli lägre under sommaren och hösten i framtiden.

Nya beräkningar har gjorts för 100-årsnivå, 200-årsnivå och beräknad högsta nivå för både dagens och framtidens klimat. Enligt de nya beräkningarna för historiskt klimat är 100-årsnivån 45,32 m, 200-årsnivån 45,47 m och beräknad högsta nivå 46,27 m (höjdsystem RH00 Vänersborg). Den beräknade högsta nivån är i de nya beräkningarna högre än tidigare och är ett säkrare värde eftersom beräkningarna har förbättrats på flera punkter.

I framtida klimat beräknas 100-årsnivån öka med 4–5 dm, 200-årsnivån med 4,5–5,5 dm och beräknad högsta vattennivå med i medeltal drygt 3 dm till slutet av detta sekel om den nuvarande tappningsstrategin tillämpas. Ökningen för 100-årsnivån är högre än i tidigare beräkning medan ökningen i beräknad högsta nivå är ungefär lika stor som i tidigare beräkning.

Nya och mer detaljerade beräkningar har gjorts för påverkan på vattennivån vid kraftiga vindar, så kallad vinduppstuvning. Beräkningarna har gjorts för vinduppstuvning vid vindar på 20 m/s i den mest ogynnsamma riktningen för ett antal orter längs med Vänern.

För en del orter är vinduppstuvningen högre i den nya beräkningen jämfört med Bergström m .fl. (2010), medan den är lägre för andra orter.

Tappningar i framtida klimat

Även tappningarna från Vänern till Göta älv väntas förändras i framtida klimat. Både antal dagar per år med hög tappning och antal dagar per år med låg tappning beräknas bli fler i framtiden.

Vattentemperatur och is i framtida klimat

Vattentemperaturen i Vänerns ytvatten beräknas öka med ca en grad till mitten av seklet och ca 1,5 till 3 grader till slutet av seklet. Bottenvattnets temperatur väntas inte förändras lika mycket; en ökning på 0,5 grader till mitten av seklet och upp till en grad i slutet av seklet.

Antal dagar per år med ytvattentemperaturer över 20 grader beräknas öka från dagens ca två veckor per år till ca tre veckor i mitten av seklet och upp till 9 veckor i slutet av seklet. Antalet år då Vänern är islagd beräknas minska kraftigt till slutet av seklet.

Ordlista

100-årsnivå och 200-årsnivå	En vattennivå som inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under en period av 100 respektive 200 år.
Avrinningsområde	Det landområde från vilket den delen av nederbörden som inte avdunstar förr eller senare kommer ut som vatten i vattendraget vid en angiven plats.
Beräknad högsta vattennivå, BHW	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.
Dämningsgräns	En vattennivå som är kopplad till bestämmelser i en vattendom. För Väneren är dämningsgränsen den nivå när tappningen från Väneren enligt vattendomen ska ökas till ett visst flöde.
Hypsograf	Anger hur en sjös area varierar med djupet i sjön.
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.
Magasinstabell	En tabell som anger en sjös area vid olika vattennivåer.
Medelhög nivå, MHW	Medelvärde av varje års högsta vattennivå
Medelnivå, MW	Medelvärde för vattennivån
Medellåg nivå, MLW	Medelvärde av varje års lägsta vattennivå.
Naturlig nivå	Vattennivån vid oreglerade förhållanden.
RCP	RCP-scenarierna beskriver resultatet av växthusgasutsläpp, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären. I följande analyser används två RCP-scenarier, RCP4.5 som bygger på begränsade utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp.
Referensperiod	SMHI använder en referensperiod för att definiera dagens klimat. Oftast används perioden 1961-1990 för att definiera dagens klimat. Meteorologiska världsorganisationen, WMO, definierar referensperioderna. I denna rapport har även en annan referensperiod använts; 1997-2015 för beräkningen av vattentemperatur och is.
Vattenreglering	Mänsklig påverkan på vattenståndet i en sjö genom styrning av vattenflöden.
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. Anges oftast i kubikmeter per sekund, m ³ /s.
Tappningsstrategi	En strategi som anger hur tappningen från en sjö ska skötas.
Tappningsställare	En tabell som anger hur mycket som ska tappas från en sjö vid en given vattennivå och dag under året.
Tillrinning	Det vatten som rinner till en sjö.
Vattendom	Fastställer hur vatten ska tappas ur en sjö eller kraftverksmagasin. Är juridiskt bindande till skillnad från en tappningsstrategi.
Återkomsttid	Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND OCH SYFTE	1
1.1	Tidigare beräkningar	1
2	VÄNERN	1
2.1	Historiska händelser	2
2.2	Nuvarande tappningsstrategi	4
2.3	Naturanpassad strategi	4
2.4	Ökad tappningskapacitet	5
2.5	Tillämpning av den nuvarande tappningsstrategin	6
2.6	Sammanställning av tappningsalternativ	6
2.7	Vänerns höjdsystem och landhöjning	7
3	METODIK	8
3.1	Beräkningar för dagens klimat	8
3.1.1	Beräkning av inflöde, vattennivåer och tappningar för Vänern	8
3.1.2	Beräkningar av vinduppstuvning	11
3.1.3	Beräkning av vattentemperatur, isläggning och islossning	12
3.2	Framtida klimat	14
3.2.1	Vattennivåer i ett framtida klimat	15
3.2.2	Vinduppstuvning i ett framtida klimat	16
3.2.3	Vattentemperaturer i ett framtida klimat	16
4	RESULTAT	17
4.1	Jämförelse mellan olika tappningsstrategier	17
4.2	Tillrinning, vattennivåer och tappning i dagens och framtida klimat	22
4.2.1	Tillrinningens årsdynamik	22
4.2.2	Förändrad total medeltillrinning för år och säsonger	23
4.2.3	Medelnivå, medelhög nivå och medellåg nivå	24
4.2.4	100-årsnivå och 200-årsnivå	26
4.2.5	Beräknad högsta vattennivå	27
4.2.6	Årsvariation	28
4.2.7	Varaktigheter vattenstånd	30
4.2.8	Varaktigheter i tappning	31
4.3	Vinduppstuvning	34
4.4	Vattentemperatur och is	36
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	44
5.1	Vattennivåer och tappningar	44
5.2	Vattennivåer och tappningar i ett framtida klimat	45

5.3	Vinduppstuvning	46
5.4	Vattentemperatur	47
6	TACKORD.....	47
7	REFERENSER	48

1 Bakgrund och syfte

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

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

I denna rapport beskrivs förändringar i vattennivå, tappning, vattentemperatur och isförhållanden, men inte konsekvenserna för samhället och naturmiljön. De 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.

Alla höjder i rapporten är angivna i höjdsystemet RH 00 Vänersborg. För en översättning till RH 2000 hänvisas till Bilaga A.

1.1 Tidigare beräkningar

En rad studier kring Vänerns vattennivåer har tidigare gjorts. Till Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2006:94 och Bergström m. fl. 2006) beräknades nivåer för dagens och framtida klimat. Dessa justerades 2010 då nya beräkningar gjordes i ”Fördjupad studie rörande översvämningsriskerna för Vänern – slutrapport” (Bergström m.fl. 2010) med nya beräkningsmetoder och med en ny generation klimatscenarier. Dessa beräkningar utgör grunden till länsstyrelsernas rekommendationer för lokalisering av bebyggelse i översvämningskänsliga områden (Länsstyrelsen i Värmlands och Västra Götalands län, 2011).

I denna rapport visas resultat från nya beräkningar av vattennivåer i dagens och framtida klimat. Det som är nytt från föregående rapporter är att beräkningarna utgår från en ny generation klimatscenarier (IPCC, 2013). En rad förbättringar har också gjorts i beräkningarna, bland annat är beräkningarna för vindpåverkan mer detaljerade. Resultatet i denna rapport ersätter de tidigare från Bergström m.fl. (2010) och utgör ett nytt underlag till länsstyrelsernas rekommendationer för bebyggelse (Länsstyrelsen i Värmlands och Västra Götalands län, 2011). Under projektet har en dialog kring detta förts med länsstyrelserna. Under 2016 gjorde SMHI nya beräkningar åt Vattenfall. Dessa beräkningar är ännu inte publicerade, men SMHI har fått tillstånd att använda dem i denna rapport.

I denna rapport redovisas också resultat från beräkningar av vattentemperatur och isförhållanden i Vänern i ett framtida klimat. Dessa parametrar har inte tidigare beräknats.

2 Vänern

Vänern är Sveriges största sjö och Europas tredje största efter Ladoga och Onega i Ryssland. Runt Vänern bor ca 0,3 miljoner människor och ca 0,8 miljoner människor får sitt dricksvatten från Vänern och Göta älv (Vänerns vattenvårdsförbund, 2016). Av de 18

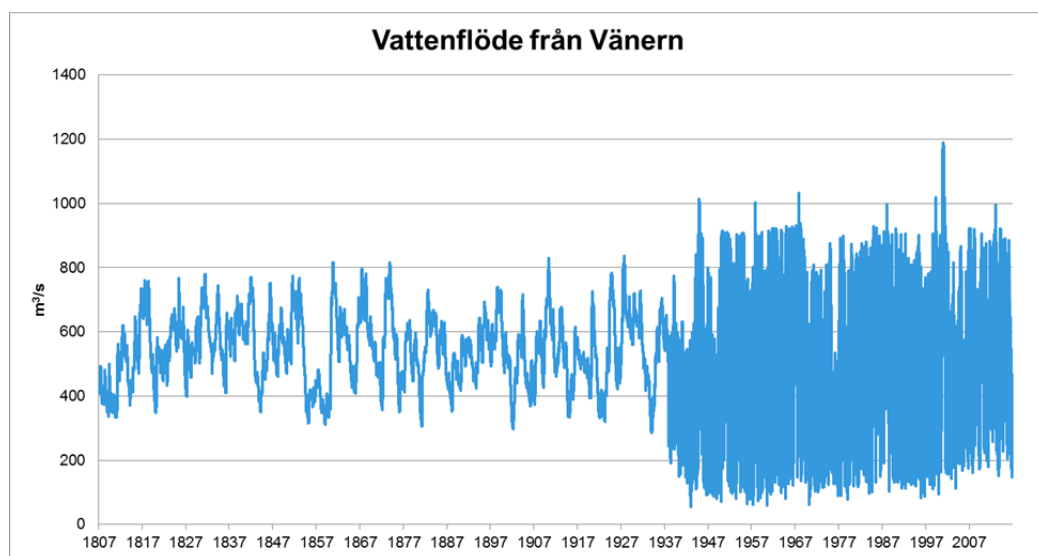
utpekade områdena i Sverige med betydande översvämningrisk finns två vid Vänern; Karlstad och Lidköping (MSB, 2011). Vänern har även stor betydelse för friluftsliv, sjöfart, yrkesfiske, turism och vattenkraftproduktion.

Vänern har ett stort tillrinningsområde, som motsvarar ca 10 % av Sveriges yta. Större vattendrag som rinner till Vänern är Klarälven, Gullspångsälven, Byälven, Norsälven, Upperudsälven, Lidan och Tidan.

Vattnet i Vänern tappas ut genom Göta älv, som är det vattendrag i landet med störst medelflöde, ca 550 m³/s. Vattenflödet i Göta älv är beroende av vattennivån i Vänern, Vänerns vattendom och den strategi som tillämpas vid tappning av vatten ut från Vänern.

2.1 Historiska händelser

Vänern började regleras på 1930-talet. Innan dess varierade inte vattenflödet ut från Vänern så mycket, utan var mellan ca 300 m³/s och ca 800 m³/s. Efter regleringen, däremot, ökade variationen (Figur 1).

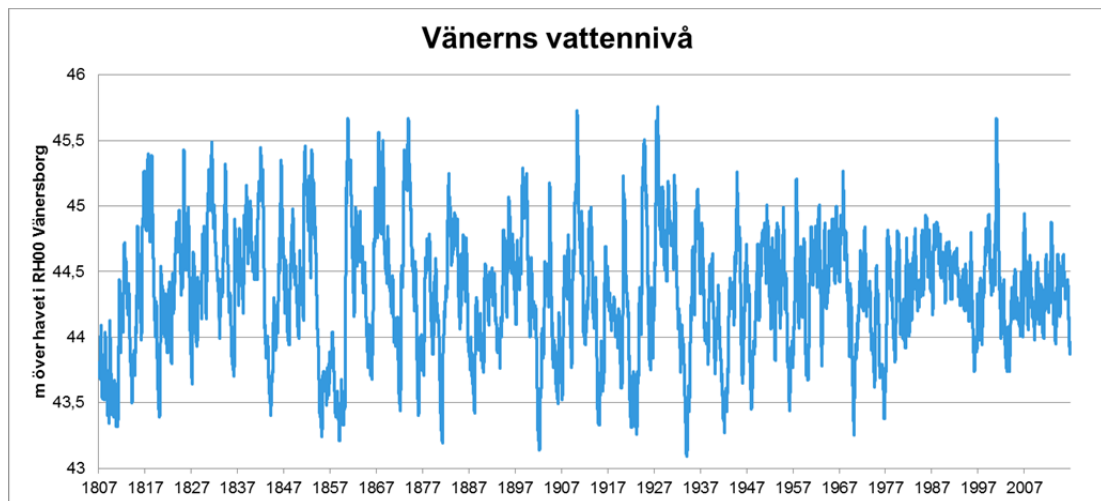


Figur 1. Vattenflöde från Vänern 1807 till 2016. Data efter regleringen 1937 kommer från Vattenfall.

Däremot varierade vattennivån i Vänern mycket innan regleringen och var ofta hög eller låg flera år i sträck (Figur 2). Efter regleringen har variationen minskat, speciellt sedan 1970-talet då fraktfartygen började trafikera Vänern även under vintern och regleringen anpassades för att de låga nivåerna ska inträffa mer sällan.

Den högsta vattennivån under reglerad tid uppmättes i januari 2001, efter en nederbördsrik höst. I en del områden runt Vänern föll under oktober och november 2000 ungefär dubbelt så mycket regn som normalt och tillflödena var mycket höga. Eftersom vädret också var mildt föll nederbörden som regn. Om den istället hade fallit som snö hade den lagrats på marken och inte bidragit till vattenstandsökningen förrän efter snösmältningen på våren. Eftersom Vänern har begränsade tappningsmöjligheter steg nivån i Vänern allt mer under en lång period och skadorna längs Vänerns stränder blev stora (Blumenthal, 2010). Som högst var nivån 45,67 meter över havet i höjdsystemet RH 00 Vänersborg i januari 2001. Det är drygt 40 cm lägre än det skulle ha blivit om Vänern varit oregerad.

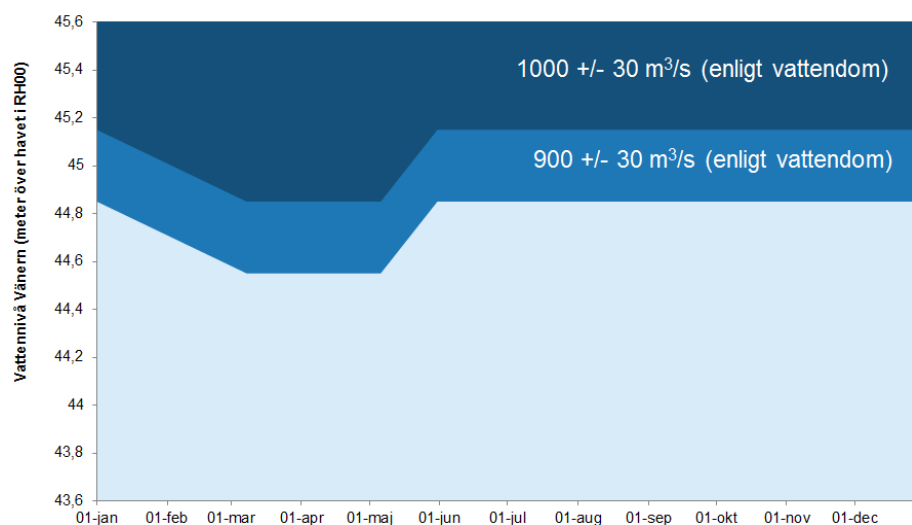
Den lägsta nivå som uppmätts under reglerad tid är 43,26 meter över havet och inträffade under våren 1970.



Figur 2. Vattennivån i Vänern 1807-2016 i meter över havet i höjdsystem RH 00 Vänersborg. Data efter regleringen 1937 kommer från Vattenfall.

I de flesta sjöar ökar tappningen med vattennivån, men för Vänern finns istället en övre gräns för hur stor tappningen får vara (Västerbygdsens vattendomstols dom 1937-06-19 i mål A.M. 27/1925). Orsaken till detta är både risken för skred och översvämningar längs Göta älv. För att minska dessa risker har tappningen begränsats vid nivåer över Vänerns dämningssgräns. Dämningssgränsen är bestämd i vattendomen och varierar under året mellan 44,55 m och 44,85 meter. Vid vattennivåer mellan dämningssgränsen och 30 cm över dämningssgränsen ska tappningen vara 900 m³/s. Vid vattennivåer på mer än 30 cm över dämningssgränsen ska tappningen vara 1000 m³/s, med en marginal på 30 m³/s, vilket betyder att den högsta tillåtna tappningen enligt vattendomen är 1030 m³/s (Figur 3). Det finns också en bestämmelse i domen som säger att tappningen ska sänkas från 1000 m³/s till 900 m³/s vid höga nivåer i havet, för att minska översvämningssrisken längs Göta älv.

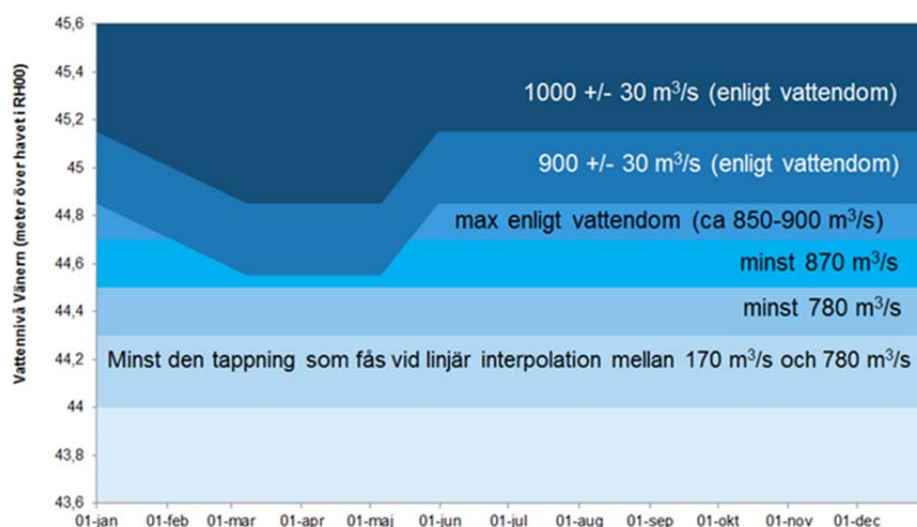
Vid nivåer under dämningssgränsen är det enligt vattendomen ganska fritt hur tappningen ska skötas. I vattendomen anges också att tappningen inte får bli för låg, detta för att minska risken att havsvatten tränger in till dricksvattenintaget i Göteborg. Vid låga nivåer i Vänern begränsas tappningen med hänsyn till sjöfarten. Detta är dock inte reglerat i vattendomen.



Figur 3. En förenklad skiss över Vänerns vattenhushållningsbestämmelser. Vid dämningssgränsen ska ca 900 m³/s tappas och 30 cm över dämningssgränsen ska ca 1000 m³/s tappas.

2.2 Nuvarande tappningsstrategi

Sedan oktober 2008 tillämpas en tappningsstrategi för Vänern för att minska risken för översvämningar, hädanefter kallas den strategin ”Nuvarande tappningsstrategi”. Kortfattat går strategin ut på att tappa ut mycket vatten från Vänern redan vid halvhöga vattennivåer för att minska risken att nå de höga nivåerna (Figur 4). Det betyder att Vänerns vattennivå nu permanent ligger på en något lägre nivå än den skulle gjort utan den nuvarande strategin. Strategin ligger inom vattendomen och är en överenskommelse mellan Vattenfall och Länsstyrelsen i Västra Götalands län (Länsstyrelsen Västra Götaland och Vattenfall, 2008).

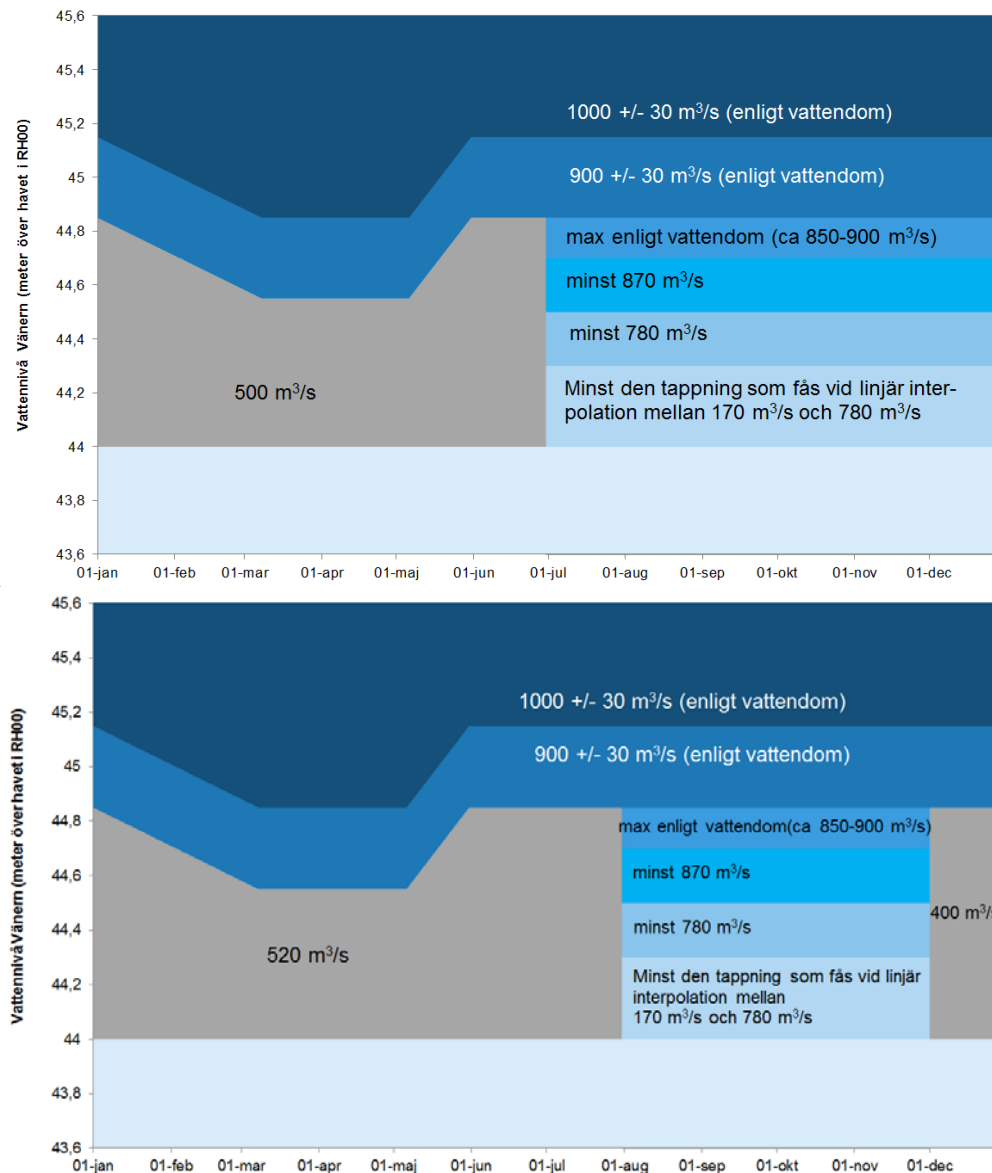


Figur 4. En förenklad skiss över nuvarande tappningsstrategi. Jämfört med tidigare är tappningen mer styrd även vid nivåer under dämningssgränsen.

2.3 Naturanpassad strategi

Sedan 2000 har det skett en signifikant ökning av ris, buskar, små träd och mellanstora träd längs med Vänerns stränder (Finsberg, 2015). En farhåga finns att den nuvarande tappningsstrategin ytterligare ska öka igenväxningen av Vänern i och med att vattenståndet varierar mindre (Koffman m.fl. 2014).

Diskussioner har förts kring att justera tappningsstrategin för att öka variationen i vattennivå och därmed minska igenväxningen. På uppdrag av Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län har två olika förslag på mer naturanpassade tappningsstrategier tagits fram (Koffman m.fl. 2014 och Eklund m.fl. 2014) (Figur 5). Båda strategierna, benämnda naturanpassad strategi 1 och 2, har större variation i vattennivå med en hög vattennivå under vår och försommar för att gynna bland annat värlekande fisk (Koffman m.fl., 2014) och en låg vattennivå under hösten. Detta efterliknar vattennivåvariationer under oreglerade förhållanden med en vårflodstopp och en lägre nivå under hösten. Naturanpassad strategi 2 har också en högre vattennivå under vintern för att gynna processer där isen skalar bort vegetation. De naturanpassade strategierna är bara förslag och har aldrig tillämpats.



Figur 5. Förenklade skisser över de naturanpassade tappningsstrategierna, strategi 1 överst och strategi 2 nederst. Tappningen är låg under första halvåret för att vattennivån ska öka. Under andra halvåret är tappningen densamma som för den nuvarande strategin. Naturanpassad strategi 2 har också en minskad tappning under december för att få en högre vintervattennivå.

2.4 Ökad tappningskapacitet

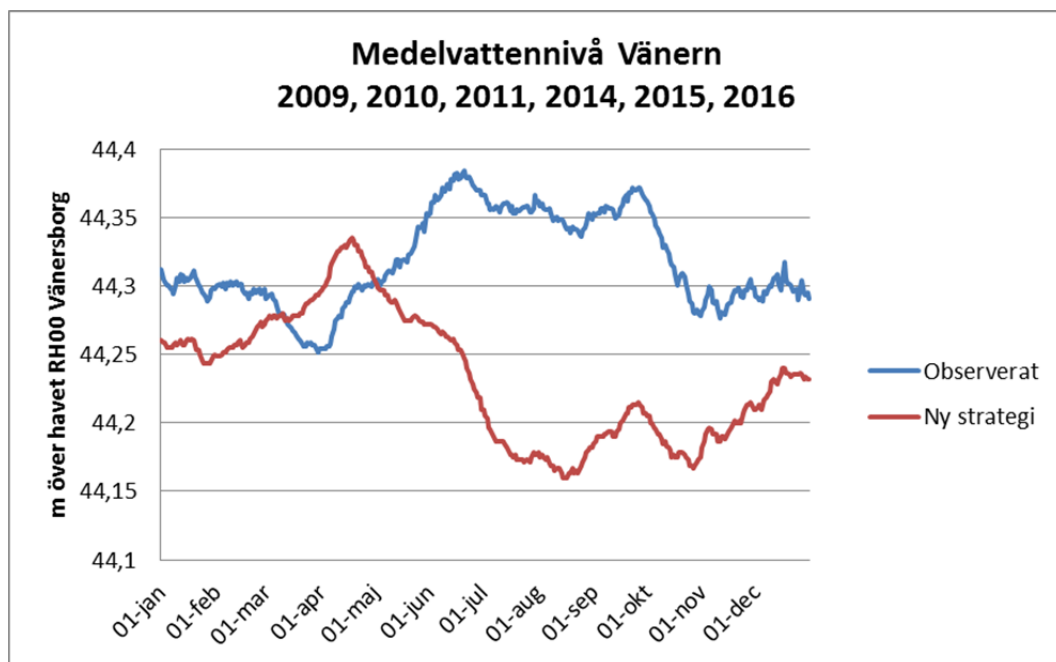
I klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande var ett av förslagen att tappningskapaciteten från Väner behöver öka, antingen genom att skredsäkra Göta älvdalen så att tappningen där kan öka eller genom en annan tappningsväg, t.ex. en tunnel mellan Väner och havet (SOU 2006:94).

Om tappningskapaciteten var högre skulle översvämningsrisken vid Väner minska. Vattennivån skulle då också troligtvis kunna tillåtas att variera mer för att minska igenväxningen. Med en ökad tappningskapacitet ökar möjligheten att ha en högre vattennivå under våren eftersom det då skulle gå att tappa av mer vatten om vattennivån skulle stiga så mycket att risk för översvämnings uppstår.

2.5 Tillämpning av den nuvarande tappningsstrategin

I den nuvarande tappningsstrategin finns en del friheter. De angivna tappningarna i Figur 4 är den tappning som *minst* ska ske, men tappningen *får* vara högre. Ett undantag från minsta tappning är när kraftverken behöver underhållas, då får tappningen underskridas. Vid regleringen har Vattenfall också tillgång till prognoser som de tar hänsyn till.

Den nuvarande tappningsstrategin har tillämpats under åtta år. De beräkningar som gjorts i denna studie har utgått från tappningsställaren som visas i Figur 4. Det vill säga med minsta tappning, utan hänsyn till begränsad tappning vid underhåll i kraftverken och utan hänsyn till prognoser. Därför avviker den en del från den verkliga tappningen (Figur 6).



Figur 6. Medelvattennivån för varje dag under året dels observerat och dels för den beräknade nuvarande strategin. I figuren finns inte åren 2012 och 2013 med. De åren påverkades vattennivån av en långvarig minskad tappning på grund av underhållsarbete.

I tidigare studier (Eklund och Bergström 2014) har ytterligare en tappningsstrategi använts som försökt beskriva hur tappningen verkligen gått till, kallad tillämpad strategi. Denna strategi har dock inte använts i denna studie, eftersom den inte gått att beskriva på ett tillförlitligt sätt.

2.6 Sammanställning av tappningsalternativ

I rapporten redovisas resultat där flera olika tappningsstrategier har använts (Tabell 1). För flera av dessa har också beräkningar gjorts för hur vattennivån skulle bli om tappningskapaciteten var högre än idag; 1200 m³/s eller 1500 m³/s istället för dagens 1030 m³/s. Det är i dessa beräkningar endast tappningen vid nivåer högre än 30 cm över dämningssgränsen (det översta fältet i figur 3-5) som ökas.

Tabell 1. Sammanfattning av de olika tappningsstrategierna som används i denna rapport.

Strategi	Beskrivning
Naturlig	Hur vattennivån och flödet hade varit vid helt oreglerade förhållanden.
Nuvarande strategi	Den strategin som har tillämpats sedan 2008. (Har tidigare kallats den nya strategin).
Naturanpassad strategi 1	En variant av naturanpassad strategi där nivån varierar mer än den nuvarande strategin med en hög nivå under vår och sommar samt en lägre nivå under hösten.
Naturanpassad strategi 2	En strategi som liknar Naturanpassad strtagei 1, men som även har en relativt hög nivå under vintern för att gynna isprocesser.

2.7 Vänerns höjdsystem och landhöjning

I denna rapport anges vattennivåerna som meter över havet i höjdsystem RH 00 Vänersborg. Översättning mellan detta höjdsystem och RH 2000 finns i en PM som Lantmäteriet tagit fram, Bilaga A.

I Bilaga A finns också en ny beräkning av landhöjningens effekt på vattennivån vid olika orter runt Väneren. De framtagna värdena för landhöjning bygger på den senaste landhöjningsmodellen NKGLU2016 och ersätter tidigare värden, framtagna med den äldre landhöjningsmodellen NKG2005LU.

3 Metodik

3.1 Beräkningar för dagens klimat

Beräkningarna för det vi benämner ”dagens klimat” i denna rapport baseras oftast på perioden 1961-1990. För beräkningarna av vattentemperatur och is har av beräkningstekniska skäl en annan period valts; 1997 till 2015.

3.1.1 Beräkning av inflöde, vattennivåer och tappningar för Vänern

För att kunna beräkna vattenståndsförändringar i Vänern både i dagens och i ett framtida klimat krävs en modell som kan beskriva tillrinningen och vattenståndsförändringen. Modellen sätts upp och kalibreras mot observationer i dagens klimat. För beräkningarna i Vänern har två olika modeller använts; en tappningsmodell som gör beräkningar utifrån tillrinningen till sjön och en given tappningsställare samt den hydrologiska HBV-modellen som drivs av temperatur och nederbörd. HBV-modellen har använts för att göra beräkningar med temperatur och nederbördsdata för dagens klimat men även använts med temperatur- och nederbördsdata från klimatmodeller för att beräkna förändringarna i ett framtida klimat. Nedan följer en beskrivning av tappningsmodellen och HBV-modellen.

Tappningsmodellen

En tappningsmodell för Vänern har använts för hydrologiska beräkningar. Tappningsmodellen beräknar ett vattenstånd för Vänern utifrån tillrinningen till sjön och en given tappningsställare. Tappningsmodellen har körts med data från 1810 till 2016. För att beräkna vattenståndet har en magasinstabell (hur sjöns area varierar med vattennivån) använts i tappningsmodellen. I beräkningarna har hänsyn inte tagits till att tappningen kan justeras utifrån prognoser för tillrinningen till Vänern.

I tappningsställaren varierar tappningen från Vänern med årstid och vattenstånd. Beräkningar har gjorts för hur vattennivån skulle ha varit 1810-2016 vid nedanstående tappningsförhållanden:

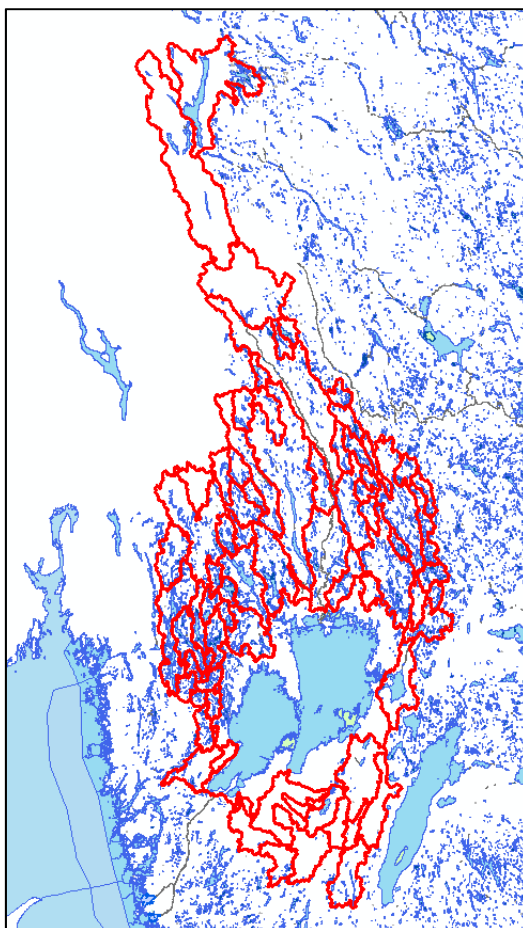
- Oreglerade förhållanden
- Nuvarande strategi med maxtappning 1030, 1200 resp. 1500 m³/s.
- Naturanpassad strategi 1 med maxtappning 1030, 1200 resp. 1500 m³/s.
- Naturanpassad strategi 2 med maxtappning 1030, 1200 resp. 1500 m³/s.

Där 1030 m³/s är maxtappningen i dagens vattendom medan en tappning på 1200 m³/s eller 1500 m³/s skulle kräva en ny vattendom

HBV-modellen

Den modell som använts för beräkningar av de hydrologiska effekterna av ett ändrat klimat i Sverige är HBV-modellen. Den har utvecklats vid SMHI sedan början av 1970-talet (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, dvs. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning av naturen och kalibreras för specifika vattendrag.

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 för beräkning av hur flödesförloppet påverkas av yttre faktorer såsom sjöar och dammanläggningar. I modellen delas avrinningsområdet in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras.



Figur 7. Delavrinningsområden i HBV-modellen som har använts i studien.

I denna studie har samma HBV-modell som sattes upp åt Vattenfall 2016 använts. Beräkningar har gjorts för avrinningsområdet fram till Vänerns utlopp vid Vargöns kraftverk. Drivdata till modellen är observerad nederbörd och temperatur som hämtats från SMHI:s databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2005). Databasen innehåller data från 1961. I modelluppsättningen har förbättringar gjorts jämfört med den HBV-modellen som användes vid de förra beräkningarna 2010 (Bergström m.fl. 2010). Nu finns en bättre beskrivning av regleringen av de större magasinerna uppströms Väner, vilket förbättrar beräkningen av tillrinningen till Väner. Modelluppsättningen omfattar sammanlagt 83 delområden (Figur 7).

Kalibrering av HBV-modellen

Vi kalibrering ställs modellen in för att modellberäknade värden ska stämma bra med observerade data för en historisk period. För tillrinningen till Väner har kalibreringar i första hand gjorts för den längst nedströms belägna mätstationen i respektive vattendrag. Speciellt stor vikt har lagts vid de stora tillrinningarna hösten 2000. Det viktigaste är att vattenståndsutvecklingen beskrivs på ett bra sätt. I Bilaga B visas modellerat och observerat vattenstånd i Väner för 2000/2001. Över lag beskrivs vattenståndet bra i modellen, men den har en något annorlunda vattenståndsutveckling än observerat. Detta beror delvis på att modellen har använt tappningsställaren från den nuvarande strategin, som inte hade börjat tillämpas 2000/2001.

Metodik för beräknad högsta vattennivå

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

Beräkningarna som redovisas 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 effekterna av att extremt stora nederbördsmängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas dessa extrema nederbördsmängder samverka med en föregående blöt höst, kraftig snösmältning och vattenmättade markförhållanden.

Kritiska flöden och vattenstånd simuleras under minst en tioårsperiod genom att den observerade nederbörden i det beräknade området successivt byts ut mot en 14 dygn lång dimensionerande nederbördssekvens. De olika flödesskapande faktorerna, som 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.

Flödets återkomsttid kan inte anges med denna metod, men jämförelser med frekvensanalys indikerar dock att flöden som beräknas på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider över 10 000 år (Svensk Energi m.fl. 2015).

Beräknad högsta vattennivå för Vänern har tagits fram av SMHI på uppdrag av Vattenfall vattenkraft AB och resultatet från dessa beräkningar visas i denna rapport. Det maximala snötäcket har tagits fram från perioden 1962-2015 och dimensioneringsberäkningen är gjord med data från 1995-2014. Då Vänern är en mycket stor sjö med begränsad tappningsförmåga har regleringsrutinen i beräkningen ändrats för att bli mer realistisk för Vänern. Startvattenståndet läggs på en medelnivå för startdagen på våren, den 22:e april, utan den avsänkning som föreskrivs i riktlinjerna. Startvattenståndet 44,3 m har använts i beräkningarna för beräknat högsta vattenstånd. Den höjning till dämningsskärmen den 1 augusti, som också föreskrivs enligt riktlinjerna, används inte vid beräkningarna för Vänern.

Förenklat visar beräkningen vad som hade hänt om vi år 2000 hade haft ett mycket stort snömagasin på våren och dessutom fått ett extra extremt regn under 14 dagar under hösten eller vintern.

Metodik för beräkning av 100-årsnivå och 200-årsnivå

För översvämningsskarteringar, 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-årsflöde 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 riktlinjer för beräkningar av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl. 2015). En tidsserie med varje års högsta vattenståndsvärde anpassas till en fördelningsfunktion, tidsserien har justerat så att maxnivån för de olika åren är oberoende av varandra.

För beräkningar av Vänerns 100-års- och 200-årsnivå har data för perioden 1810 - 2016 använts. För att få mer tillförlitliga resultat har beräkningarna gjorts med flera olika fördelningsfunktioner och den bästa anpassningen har sedan valts ut.

3.1.2 Beräkningar av vinduppstuvning

I samband med att vind blåser över en vattenyta, 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 ”stuvras” upp. Denna effekt kallas vinduppstuvning och hur stor den blir beror på vindens hastighet och riktning och på lokala förhållanden som 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 eller temporär vinduppstuvning och kan orsaka 50-75 % högre nivåer än den stationära vinduppstuvningen (Bergström 2010). Den dynamiska vinduppstuvningen är en lång stående våg (även kallad seiche) med en våglängd i storlek med bassängens (sjöns) längd. Våghöjden är liten i förhållande till våglängden och vågperioden, tidsintervallet mellan två på varandra följande vågtoppar, är lång (storleksordning timmar). Vindgenererade vågor med kort våglängd och kort vågperiod (storleksordning sekunder) är inte inkluderade i denna studie.

I denna utredning används den tredimensionella numeriska beräkningsmodellen Delft3D-Flow (<http://delftsoftware.wldelft.nl>). Modellen har satts upp för hela Vänern. 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 110×155 m till ca 350×750 m. Modellen har också ett antal lager i vertikalled.

Modellens djupdata har interpolerats från sjökorten över Vänern (sjökort nr 13, 131, 132, 133, 134, 135).

Drivning av modellen

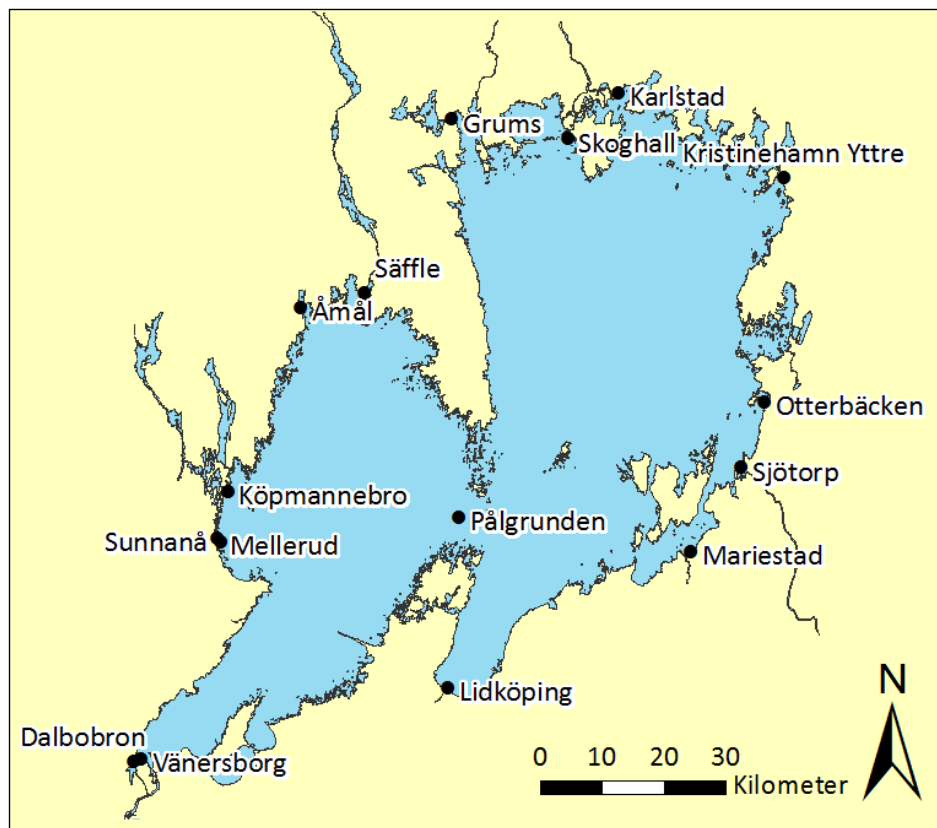
Vid kontroll av modellen används observerad vind från SMHI:s mätstation Pålgrunden (Figur 8). Observationer av vindens hastighet och riktning som 10 minuters medel för varje timme har använts. Vinden varierar således i tiden men inte i rummet. Lufttryck har inte använts som drivning i modellen.

I riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m. fl. 2015) formuleras hänsynstagande till vindeffekten på vattenytan på följande sätt:

”Vågor och snedställning av vattenytan på grund av vindpåverkan beaktas under antagande av vind i ogynnsammaste riktningen med hastigheten 25 m/s för dammanläggningar ovanför trädgränsen och med 20 m/s för övriga dammanläggningar.”

Vid simuleringar för att beräkna effekten av vinduppstuvning på vattenståndet drivs därför modellen av vindar med en hastighet på 20 m/s i den för platsen mest ogynnsamma vindriktningen. Detta är även i linje med vad som använts vid de tidigare beräkningarna av den stationära höjningen av vattennivån (Bergström 2010). I modellen antas vindhastigheten gå från 0 till 20 m/s på 6 timmar och hålls därefter konstant på 20 m/s. Varje simulering fortlöper tills vattenståndet har nått ett stationärt tillstånd, vilket sker efter ca 12 timmar.

Beräkningar har gjorts för ett antal orter runt Vänern (Figur 8). Samma orter som i tidigare beräkning har valts (Bergström 2010 och Länsstyrelsen i Värmland och Västra Götaland, 2011), samt en ny plats, Skoghall.

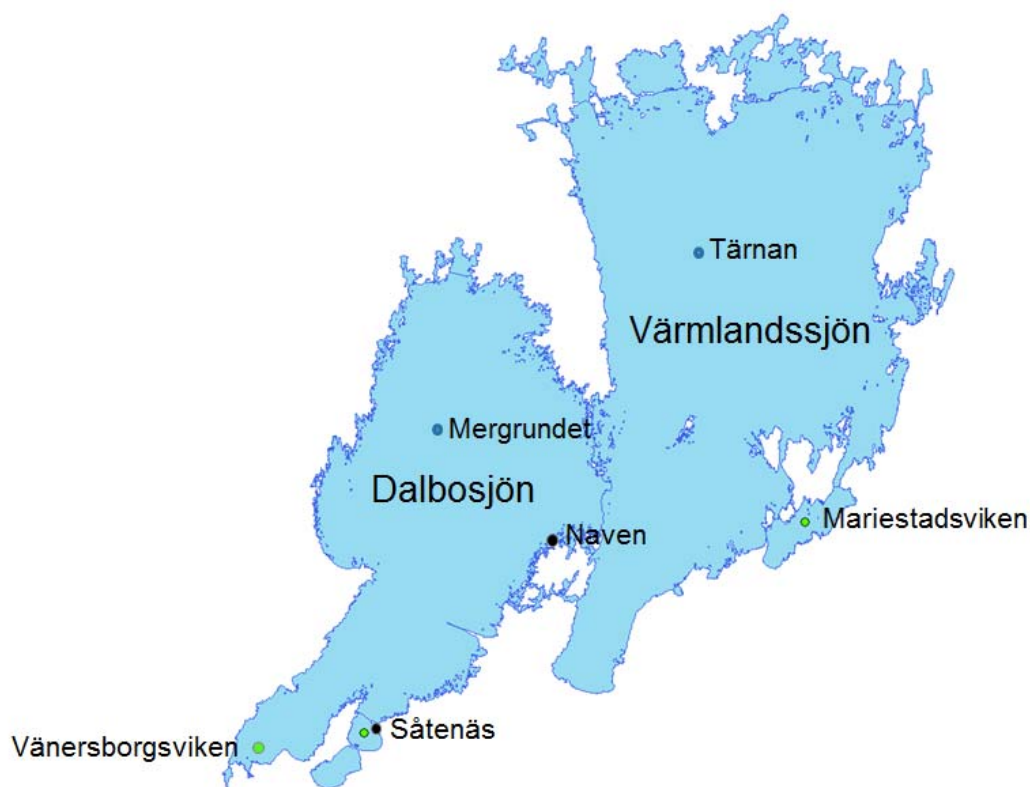


Figur 8. Översiktskarta över Vänern med platserna för vattenståndsobservationer vid Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp, plats för vindobservationer vid Pålgrunden samt platser för beräkning av stationär vinduppstuvning.

3.1.3 Beräkning av vattentemperatur, isläggning och islossning

Kustzonmodellen (PROBE-SCOBİ), är en biogeokemisk modell som beräknar tillståndet i kustvatten. Kustzonmodellen är en 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 Vänern har två bassänger använts. Bassängerna har inget till- eller utflöde och kan inom en bassäng horisontellt sett ses som en homogen vattenmassa. Den västra bassängen (Dalbosjön) är vertikalt indelad i 92 djupnivåer och den östra (Värmlandssjön) i 96 djupnivåer (Figur 9). Efter att modellen kalibrerats med data för den historiska perioden 1997-2015 har den körts för två framtida perioder: 2032-2050 och 2080-2098.



Figur 9. Karta över de båda bassängerna Dalbosjön och Värmlandssjön samt observationsstationerna för meteorologiska data (Naven och Såtenäs), för vattentemperatur (Tärnan och Mergrundet) och för is (Vänersborgsviken och Mariestadsviken).

Drivdata

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

En 3D-modell av Vänern skapades i ArcGIS med hjälp av strandlinjer och historiska djupdata. Utifrån 3D-modellen har hypsografer, som beskriver sambandet mellan sjödjup och area, beräknats. Äldre djupdata korregerades med hänsyn till historiska regleringsförändringar.

Temperaturberäkningar

Temperaturen för ytvattnet respektive bottenvattnet beräknades genom att ett medelvärde från modellens tre översta respektive understa beräkningsceller bildades. Utifrån detta medelvärde beräknades medeltemperaturen under de tre perioderna 1997-2015, 2032-2050 och 2080-2098. För samma perioder gjordes en sammanställning av maxtemperaturen i ytvattnet och för antalet dagar med ytvattentemperatur större än 5, 10, 15 och 20 grader under respektive period. Beräkningar har också gjorts för antal dagar per år med is, antal dagar per år med temperaturskiktning samt antalet dagar per år 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 språngskikt existerar om något av följande uppfylls:

- 1) Avståndet mellan cellerna är 0,5 m 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.

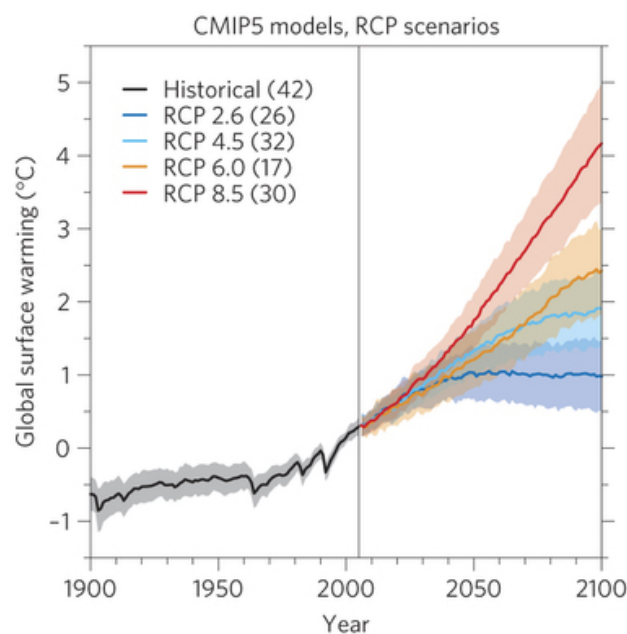
För att undvika att få med variationer i det översta ytvattnet eller understa bottenvattnet inkluderades inte de två övre/under beräkningscellerna i testet.

Beräkning av isläggning och islossning

Islägningsdatum motsvarar den första dagen då istjockleken under minst tre dygn är större än noll. Islossningsdatum motsvara den första dagen då istjockleken är noll 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 utvecklingsvägar och vilken av dem som slår in beror på människans förmåga att begränsa utsläppen. RCP-scenarier beskriver resultatet av utsläppen, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären, för olika utvecklingsvägar 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 10) (IPCC, 2013).



Figur 10. 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 medan de regionala beskriver ett mer förfinat delområde. Indelningen sker i så kallade gridboxar, ett 3-dimensionellt rutnät av atmosfären. Det är stora mängder data som bearbetas i klimatmodeller och därför görs beräkningar 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 Vänern 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).

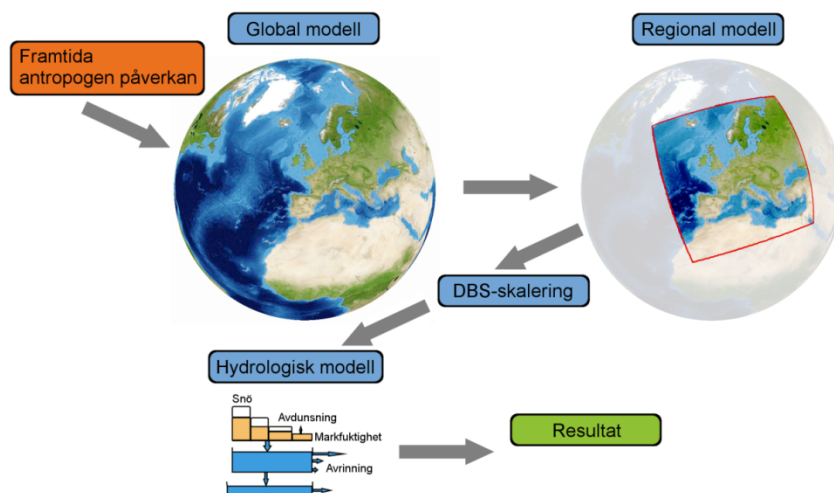
3.2.1 Vattennivåer i ett framtida klimat

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 med HBV-modellen utförts där temperatur och nederbörd från klimatscenarierna har använts som drivdata i beräkningarna (Sjökvist m.fl., 2015). Figur 11 visar kopplingen mellan klimatsimuleringarna som använts i den hydrologiska modellen.

Beräkningarna har gjorts för perioden 1961 - 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 beräknad högsta vattennivå (BHW) har samma startvattenstånd som för dagens klimat använts, 44,3 m. Dessa beräkningar har SMHI gjort i ett annat projekt åt Vattenfall Vattenkraft AB, men resultatet visas i denna rapport.

För framtida klimat har två strategier använts vid beräkningarna, nuvarande strategi och Naturanpassad strategi 1. I några beräkningar har också en ökad tappningskapacitet på $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ använts. Vi har antagit att magasinen uppströms Vänern kommer att regleras på samma sätt som nu.



Figur 11. Illustration av kopplingen mellan global- och regional klimatmodell samt hydrologisk modell vid studier av klimateffekter för vattenflöden och vattennivåer.

3.2.2 Vinduppstuvning i ett framtida klimat

Någon beräkning av vinduppstuvningen i framtida klimat har inte gjorts. Enligt de regionala klimatscenarierna sker inga signifikanta ändringar av vindklimatet i Sverige i framtiden (Kjellström m.fl. 2014).

3.2.3 Vattentemperaturer i ett framtida klimat

Beräkningen för vattentemperatur och is i ett framtida klimat sker på samma sätt som för dagens klimat (se stycke 3.1.2) förutom att drivdata som beskriver lufttemperaturen har ändrats till framtida förhållanden för perioderna 2032-2050 och 2080-2098

För att beskriva framtida klimat används den så kallade delta-metoden, som innebär att observerade data för en historisk period används och justeras för klimatiförändringar. 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 klimatiförändringar.

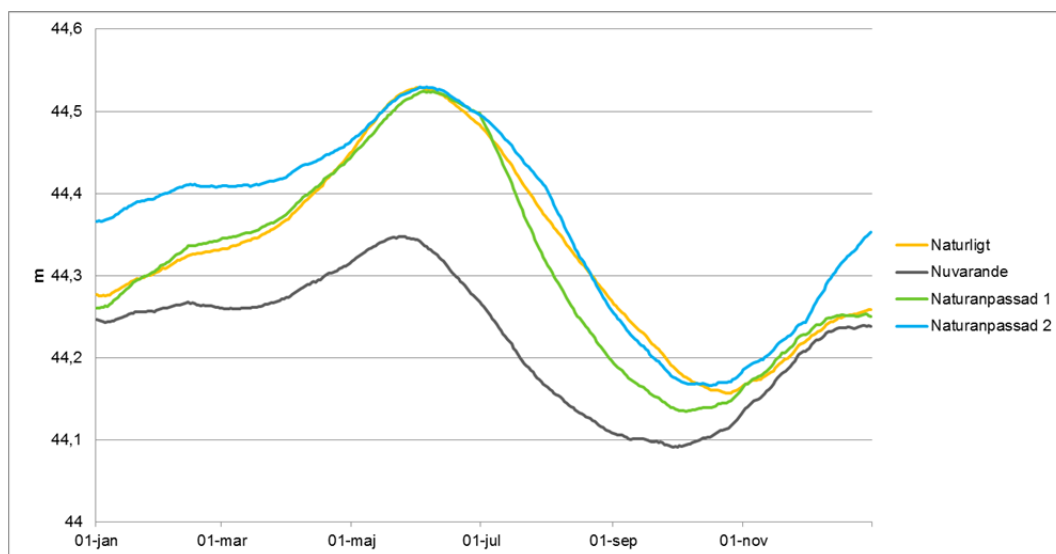
Klimatiförändringar för de fyra olika parametrarna; temperatur, vind, molnmängd och relativ luftfuktighet studeras hos nio olika klimatscenarier och slutsatsen är att temperatur är den parameter som ger den avsevärt största förändringen. Förändringen i temperatur mellan den historiska perioden och de två framtida perioderna beräknas och förändringen i månadsmedelvärden 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

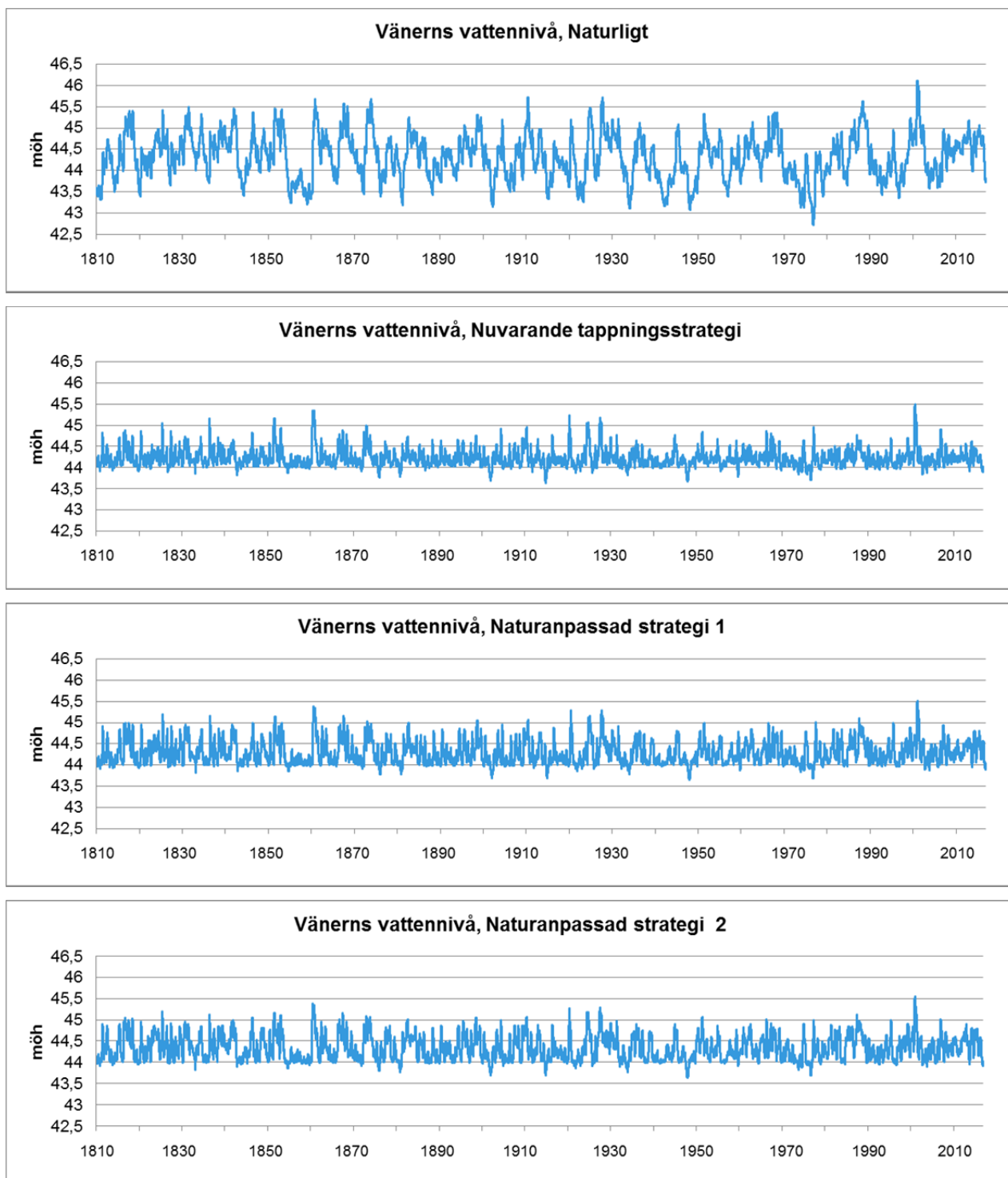
4.1 Jämförelse mellan olika tappningsstrategier

I Figur 12 visas hur medelvattennivån under perioden 1961-2016 för varje dag under året hade blivit om olika tappningsstrategier hade tillämpats. Vattennivån i den nuvarande tappningsstrategin varierar mindre än de andra. Variationen i Naturanpassad tappningsstrategi 1 och 2 är större och togs fram med målet att variationen i medelnivå under året skulle likna det naturliga (Eklund m.fl. 2014 och Koffman m.fl. 2014). Strategin Naturanpassad 2 har en högre vattennivå under vintern för att gynna processer då isen skalar bort vegetationen.



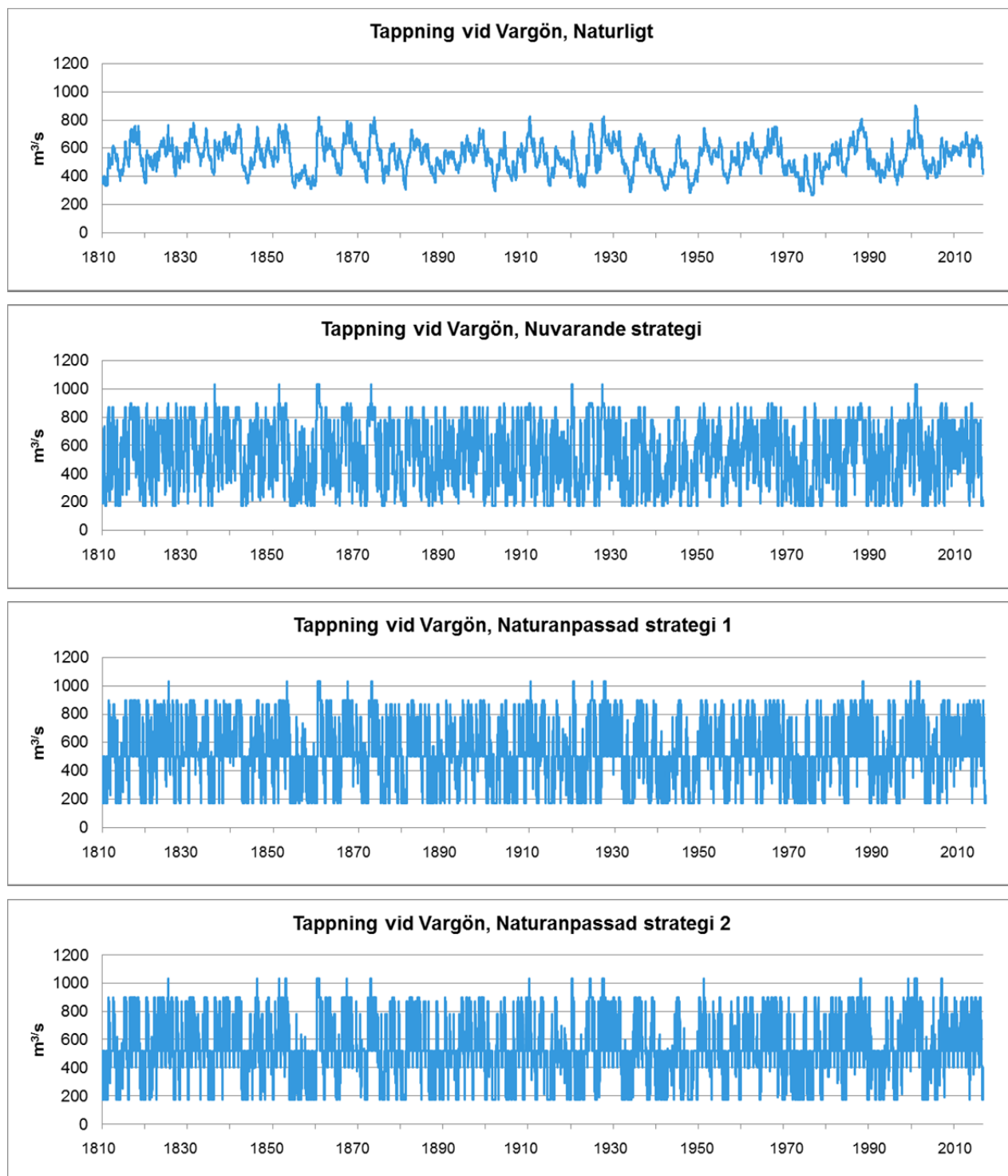
Figur 12. Medelvattennivå för varje dag under året. Nivåerna bygger på beräkningar av hur vattennivån hade varit under perioden 1961-2016 om de olika strategierna hade tillämpats under denna period.

Observera att det i Figur 12 endast visas medelnivåer och att variationen mellan åren är mycket större för det oreglerade fallet. I Figur 13 visas hur Vänerns vattennivå hade blivit om olika tappningsstrategier hade tillämpats för perioden 1810-2016. Variationen hade varit mycket större om Vätern varit oreglerad hela perioden jämfört med den nuvarande tappningsstrategin. För de båda naturanpassade strategierna hade nivåvariationen varit större än med nuvarande strategi, men långt ifrån den naturliga variationen. De låga nivåerna hade varit ungefär desamma med nuvarande tappningsstrategi och de naturanpassade, men de höga nivåerna hade varit vanligare med de naturanpassade.



Figur 13. Vänerns vattennivå 1810-2016 om olika tappningsstrategier hade tillämpats under denna tid. Meter över havet i RH 00 Vänersborg.

Tappningen vid Vargön varierar betydligt mer vid reglerade förhållanden än oreglerade. För de naturanpassade strategierna skulle tappningen ofta ha varit runt 500 m³/s (Figur 14).



Figur 14. Tappningen vid Vargön 1810-2016 om olika tappningsstrategier hade tillämpats under denna tid.

Diskussioner har tidigare förts kring en ökad tappningskapacitet från Vänern (SOU 2006:94). Förslagen har främst gällt en ökad tappningskapacitet för nivåer högre än 0,3 m över dämningsskän. Om den nuvarande tappningsstrategin hade använts under

perioden 1810 - 2016 hade denna nivå nåtts vid 7 tillfällen under perioden, i snitt ungefär 1 av 30 år (Tabell 2). Motsvarande siffra för de naturanpassade strategierna är 12 respektive 16 tillfällen under perioden eller i genomsnitt en gång på 13-17 år.

Antalet tillfällen med låga nivåer hade blivit ungefär lika många med den nuvarande tappningsstrategin och de naturanpassade.

Tabell 2. Antal tillfällen med nivåer över dämningssgränsen plus 0,3 m respektive under 43,8 m om olika tappningsstrategier hade tillämpats för perioden 1810 till 2016.

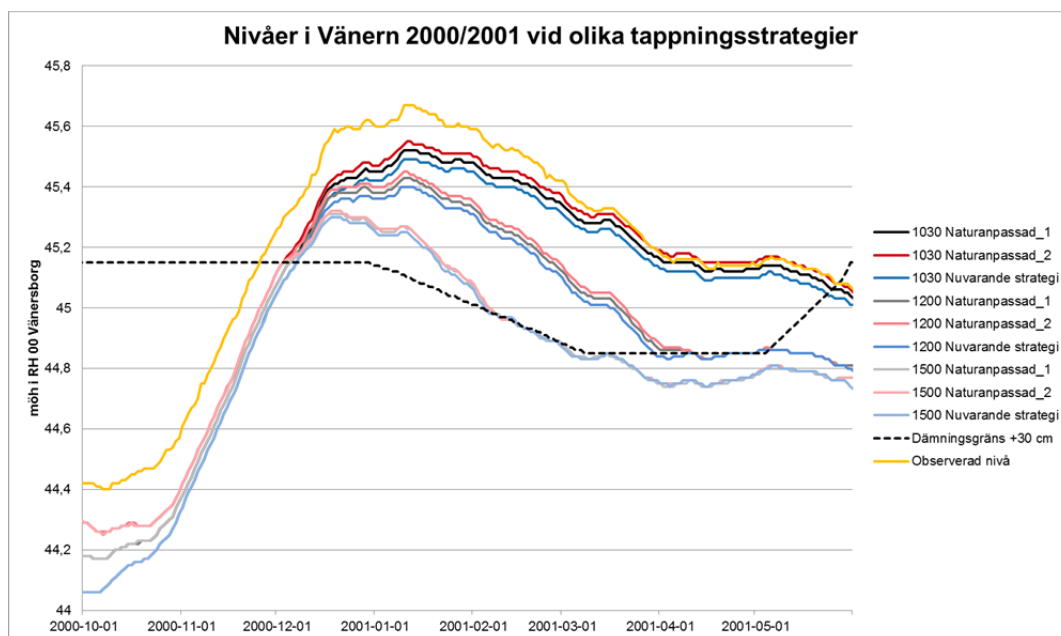
	Antal tillfällen med nivåer högre än DG+0,3 m	Antal tillfällen med nivåer lägre än 43,8 m
Nuvarande tappningsstrategi	7	7
Naturanpassad strategi 1	12	7
Naturanpassad strategi 2	16	6
Naturligt	36	40

Om den nuvarande tappningsstrategin hade tillämpats 2000/2001 hade nivån blivit ca 2 dm lägre än den blev (Tabell 3 och Figur 15). Med en maxtappning på 1200 m³/s hade nivån sänkts ytterligare ca 1 dm och med en maxtappning på 1500 m³/s ytterligare ca 1 dm. Perioden med höga nivåer skulle också ha blivit mycket kortare.

De höga nivåerna 2000/2001 inträffade under vintern, vilket gör att vattennivån inte skulle ha blivit så mycket högre med de naturanpassade strategierna jämfört med den nuvarande strategin, eftersom vattennivån i de naturanpassade strategierna är avsänkt under hösten.

Tabell 3. Observerad vattennivå samt modellberäknad maxnivå 2000/2001 om olika tappningsstrategier och olika maxtappning (m^3/s) hade tillämpats.

Strategi		Max vattenstånd 2000/2001 (m)
Observerat		45,67
Naturlig		46,10
Nuvarande strategi	Maxtappning 1030	45,49
	Maxtappning 1200	45,40
	Maxtappning 1500	45,30
Naturanpassad strategi 1	Maxtappning 1030	45,52
	Maxtappning 1200	45,43
	Maxtappning 1500	45,31
Naturanpassad strategi 2	Maxtappning 1030	45,55
	Maxtappning 1200	45,45
	Maxtappning 1500	45,32



Figur 15. Nivåer i Vänern 2000/2001 om olika tappningsstrategier hade tillämpats. I beräkningarna har maxtappningen (1030, 1200 respektive 1500) börjat gälla vid nivåer över 30 cm över dämningsgränsen.

4.2 Tillrinning, vattennivåer och tappning i dagens och framtida klimat

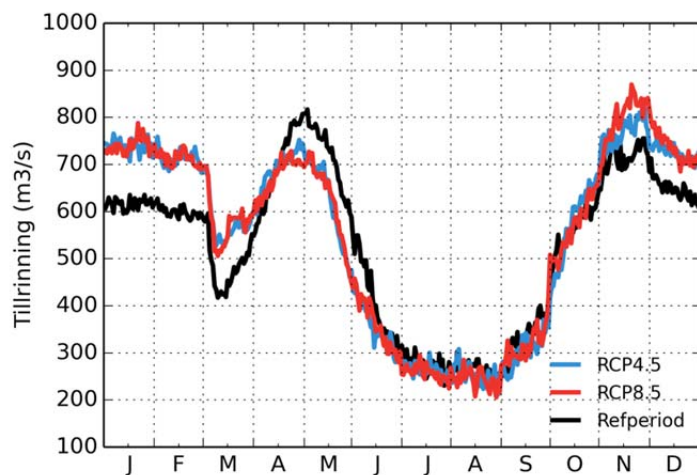
För en sammanfattning av de nivåer som är underlag till länsstyrelsernas rekommendationer för bebyggelse hänvisas till Bilaga E.

4.2.1 Tillrinningens årsdynamik

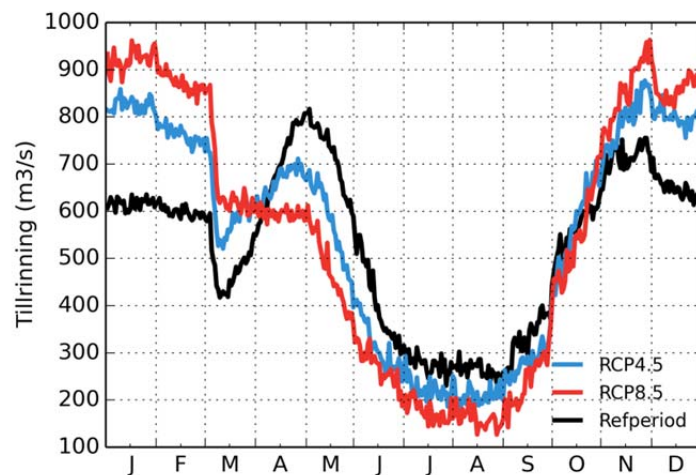
Tillrinningen varierar mellan år och under året beroende på hur nederbörd, temperatur, snötäcke, markfuktighet och avdunstning varierar och samspelar. För vattendragen ses dock vanligen en återkommande dynamik under året. Förändringar i årstidsförloppen kan ha stor betydelse för vattenförsörjning, miljö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

I Figur 16 och 17 visas medelvärden för tillrinningens årsdynamik. Tillrinningen till Vänern visar en tydlig årstidsvariation för referensperioden, med vårflödestopp, låga sommarflöden, och högre höst- och vinterflöden. Framtidsscenarierna i Figur 16 och 17 visar på högre vinterflöden och att vårflödestopparna minskar eller försvinner mot slutet av seklet. Det beror på ökad nederbörd under vintern och högre temperaturer som gör att nederbörden inte lagras som snö utan rinner av vintertid. Därmed minskar eller uteblir vårflödestoppen. I diagrammen ses också en tydlig minskning av tillrinningen under mars månad, för både referensperioden och framtidsperioderna. Detta beror på att magasinen uppströms Vänern fylls på i samband med vårflo den.

Resultatet visar även på en längre säsong med låga tillrinningar, vilket kan kopplas till en längre vegetationsperiod. Växterna tar upp mer vatten och det når då inte vattendragen. RCP8.5 ger högre vintertillrinning, framförallt i slutet på seklet 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 enskilda år är stor.



Figur 16. Tillrinningens årsdynamik för Vänern för referensperioden 1961-1990 samt perioden 2021-2050. Resultatet visas för utsläppsscenario RCP4.5 och RCP8.5.

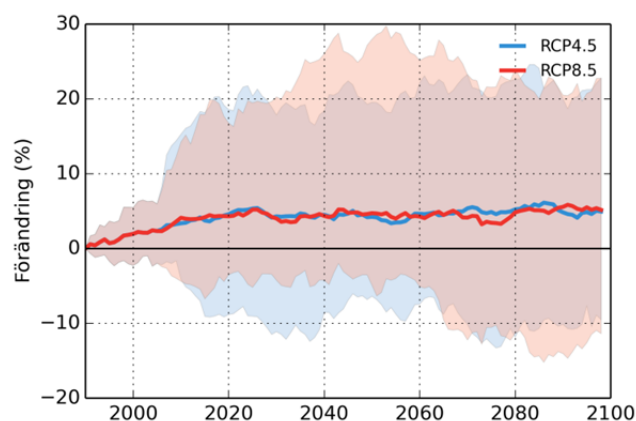


Figur 17. Tillrinningens årssdynamik för Vänern för referensperioden 1961-1990 samt perioden 2069-2098. Resultatet visas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

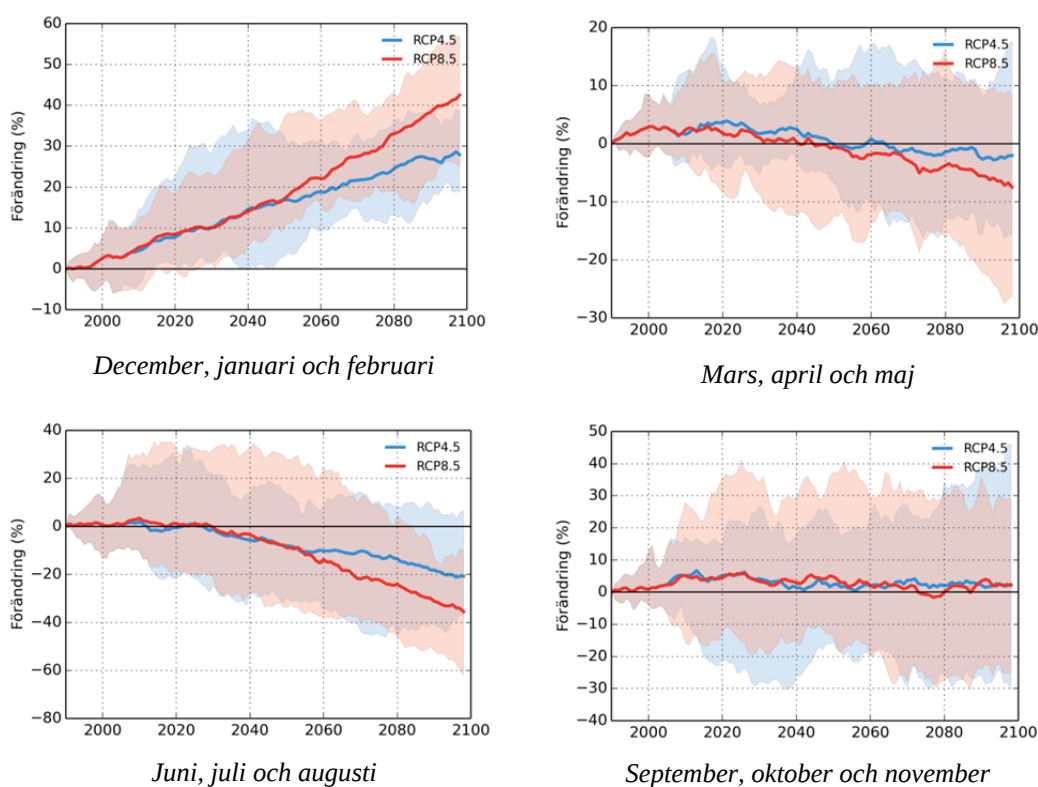
4.2.2 Förändrad total medeltillrinning för år och säsonger

I Figur 18 och Figur 19 redovisas beräkningar av förändringen av årstillrinningen samt förändringen av tillrinningen under olika säsonger. Den avdunstning som sker direkt från sjön är borträknad och den nederbörd som faller direkt på sjön har lagts till. Förändringen är beräknad som löpande 30-års medelvärden jämfört med referensperioden 1961-1990.

Den totala årstillrinningen beräknas öka och ökningen är ungefär lika stor för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5, ca 5 % i slutet av seklet. För säsongerna ses den största minskningen av tillrinningen under sommarmånaderna, där minskningen ligger på 20 % för RCP4.5 och närmare 40 % för RCP8.5 vid slutet av seklet. Minskningen kan förklaras av en ökad avdunstning i ett varmare klimat. Tillrinningen väntas minska även under våren och under hösten ser den ut att vara relativt oförändrad. För vintersäsongen ser tillrinningen ut att öka med närmare 30 % för RCP4.5 och drygt 40 % för RCP8.5 vid slutet av seklet.



Figur 18. Förändrad årstillrinning till Vänern. Resultatet visas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärden och de färgade fältet är spridningen mellan de olika modellerna.



Figur 19. Förändrad tillrinning till Vänern under de olika säsongerna. Resultatet visas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärden och de färgade fältet är spridningen mellan de olika modellerna.

4.2.3 Medelnivå, medelhög nivå och medellåg nivå

Resultaten från vattenståndsberäkningar med HBV-modellen för dagens klimat redovisas i Tabell 4. Beräkningar har gjorts för medelvärdet av varje års lägsta nivå (medellåg nivå eller MLW), medelvattenståndet (medelnivå eller MW) samt medelvärdet av varje års högsta nivå (medelhög nivå eller MHW) under tidsperioden 1961-1990. Medelnivån är ca en dm högre med den naturanpassade strategin än med den nuvarande strategin. De

medellåga nivåerna skiljer inte så mycket medan den medelhöga nivån är ungefär 1,5 dm högre för den naturanpassade strategin.

Tabell 4. Beräknade vattennivåer i dagens klimat, för perioden 1961-1990. Nivåerna anges i meter över havet i RH 00 Vänersborg.

Dagens klimat	Medellåg nivå (m)	Medelnivå (m)	Medelhög nivå (m)
Nuvarande strategi	44,01	44,21	44,49
Naturanpassad 1	44,03	44,30	44,65

Beräkningen av vattennivåer för de 18 klimatscenarierna redovisas som förändringen mellan referensperioden 1961-1990 och en framtidsperiod för medelvattenstånd, medelhöga nivåer. Beräkningar har gjorts för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098 och för de två tappningsstrategierna Nuvarande tappningsstrategi och Naturanpassad 1.

I Tabell 5 presenteras beräkningarna för den nuvarande tappningsstrategin. Beräkningarna pekar på att medelvattenståndet kommer att öka med ca 5 cm för de båda klimatscenarierna i slutet av seklet. Även medelhögvattenstånd (medel av varje års högsta vattennivå) beräknas öka i ett framtida klimat, med ca 15 cm för RCP 4.5 och ca 20 cm för RCP 8.5 vid slutet av seklet. Medellågvattenståndet (medel av varje års lägsta vattennivå) ser ut att minska något för RCP4.5 och knappt 1 dm för RCP8.5 vid slutet av seklet. Förändringen av medellågnivå, medelnivå och medelhög nivå är densamma för de båda maxtappningarna 1030 respektive 1500 m³/s.

Tabell 5. Förändringen i beräknade vattennivåer för de två perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för den nuvarande tappningsstrategin och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

Nuvarande tappningsstrategi			
	Förändring i medellåg nivå (cm)	Förändring i medelnivå (cm)	Förändring i medelhög nivå (cm)
RCP 4.5 (2021-2050)	0 (-7 till +6)	+3 (-2 till +11)	+8 (-2 till +20)
RCP 8.5 (2021-2050)	0 (-6 till +7)	+3 (-2 till +16)	+8 (-1 till +35)
RCP 4.5 (2069-2098)	-3 (-13 till +6)	+5 (-3 till +16)	+15 (+4 till +38)
RCP 8.5 (2069-2098)	-8 (-18 till +2)	+6 (-5 till +15)	+22 (+8 till +33)

I Tabell 6 presenteras beräkningarna för tappningsstrategin Naturanpassad 1. Beräkningarna pekar på att medelvattenståndet kommer att öka med knappt 1 dm för de båda scenariona i slutet på seklet. Även medelhög vattenstånd (medel av varje års högsta vattennivå) väntas öka i ett framtida klimat, med ca 15 cm för RCP 4.5 och ca 20 cm för RCP 8.5 vid slutet av seklet. Medellågvattenståndet (medel av varje års lägsta vattennivå) ser ut att minska med några cm till slutet av seklet. Förändringen av medellågnivå, medelnivå och medelhög nivå är densamma för de båda maxtappningarna 1030 respektive 1500 m³/s. Förändringarna skiljer sig inte så mycket för de båda strategierna (Tabell 5 och 6).

Tabell 6. Förändringen i beräknade vattennivåer för de två perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för Naturanpassad tappningsstrategi 1 och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenariona.

Naturanpassad strategi 1			
	Förändring i medellåg nivå (cm)	Förändring i medelnivå (cm)	Förändring i medelhög nivå (cm)
RCP 4.5 (2021-2050)	+2 (-4 till +9)	+6 (0 till +16)	+8 (-3 till +24)
RCP 8.5 (2021-2050)	+1 (-5 till +11)	+6 (-1 till +22)	+9 (-2 till +34)
RCP 4.5 (2069-2098)	-1 (-13 till +8)	+7 (-3 till +16)	+14 (+3 till +32)
RCP 8.5 (2069-2098)	-5 (-15 till +6)	+8 (-3 till +19)	+20 (+6 till +34)

4.2.4 100-årsnivå och 200-årsnivå

Vänerns 100-årsnivåer och 200-årsnivåer har beräknats för den nuvarande tappningsstrategin och flera olika fördelningsfunktioner. För detaljerade resultat hänvisas till Bilaga D. Den fördelningsfunktion som passade bäst var GEV-fördelningen och det är värden från den som visas i Tabell 7. 100-årsnivån för perioden 1810 till 2016 och med nuvarande tappningsstrategi är 45,32 m och 200-årsnivån 45,47 m.

Någon noggrann beräkning för 100-årsnivåer för den nuvarande tappningsstrategin finns tidigare inte redovisad. De översiktliga beräkningarna i Bergström m.fl. (2010) är nära den nu beräknade nivån.

Tabell 7. 100-års och 200-årsnivåer för perioden 1810-2016 för den nuvarande tappningsstrategin. I parentes visas 95 % konfidensintervall.

100-årsnivå (m)	200-årsnivå (m)
45,32 (45,05-45,60)	45,47 (45,11-45,85)

Beräkningar har även gjorts för 100-årsnivåer och 200-årsnivåer för den naturanpassade tappningsstrategin, samt för de båda strategierna med maxtappning 1200 och 1500 m³/s. Värdena blir mycket lika de för den nuvarande strategin (Tabell 7) och det finns ingen signifikant skillnad mellan de olika strategierna.

Beräkningen av 100-årsnivåer och 200-årsnivåer för de olika klimatscenarierna redovisas som förändringen mellan referensperioden 1961-1990 och de båda framtidsperioderna 2021-2050 samt 2069-2098 (Tabell 8). Resultaten visar att 100- och 200-års nivåerna ser ut att öka. Vid mitten av seklet är förändringen för de båda scenarierna lika och visar på en ökning med ca 20 cm för både 100- och 200-års nivån. Vid slutet av seklet är ökningen större. Störst ökning fås med RCP8.5; ca 50 cm för 100 årsnivån och ca 55 cm för 200-årsnivån.

Detta är en större ökning jämfört med tidigare beräkningar. Bergström m.fl. (2010) angav en förändring på ca 20 cm av 100-årsnivån till slutet av seklet.

Tabell 8. Förändringen för beräknade vattennivåer för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för Nuvarande strategi och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

	Förändring i 100-års nivå (cm)	Förändring i 200-års nivå (cm)
RCP 4.5 (2021-2050)	+19 (-8 till +56)	+21 (-9 till +62)
RCP 8.5 (2021-2050)	+20 (-2 till +82)	+23 (-3 till +91)
RCP 4.5 (2069-2098)	+41 (+14 till +110)	+45 (+15 till +122)
RCP 8.5 (2069-2098)	+49 (+12 till +76)	+54 (+13 till +84)

4.2.5 Beräknad högsta vattennivå

I Tabell 9 visas beräknad högsta vattennivå för olika tappningsstrategier och maxtappning. Generellt ligger nivåerna för de naturanpassade strategierna något högre än nivån för den nuvarande strategin. Om maxtappningen vid Vargön ökas till 1200 m³/s medför detta en sänkning av beräknad högsta vattennivå med ca 2 dm och om maxtappningen höjs till 1500 m³/s sänks den beräknade högsta nivån med ca 4,5 dm.

I tidigare beräkningar (Bergström m.fl. 2010) var den beräknade högsta vattennivån 46,08 m för den nuvarande tappningsstrategin, vilket är ca 2 dm lägre än de nya beräkningarna.

Tabell 9. Beräknad högsta vattennivå vid olika tappningsstrategier. Värden för den Nuvarande strategin är framtagna åt Vattenfall Vattenkraft AB.

	Maxtappning 1030 (m)	Maxtappning 1200 (m)	Maxtappning 1500 (m)
Nuvarande tappningsstrategi	46,27	46,09	45,83
Naturanpassad strategi 1	46,33	46,13	45,86
Naturanpassad strategi 2	46,35	46,13	45,86

För den beräknade högsta vattennivån har beräkningar i ett framtida klimat gjorts för den nuvarande strategin med maxtappningen 1030 m³/s (Tabell 10). Vid mitten av seklet visar RCP4.5 ingen stor förändring medan RCP8.5 pekar på en ökning med ca 16 cm. Vid slutet av seklet är förändringen större, då pekar både RCP4.5 och RCP8.5 på en ökning med drygt 30 cm, men spridningen mellan de olika scenariona är stor. Denna förändring är ungefär lika stor som i tidigare beräkningar (Bergström m.fl. 2010).

Tabell 10. Förändring i beräknad högsta vattennivå (cm) för de två perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för den nuvarande tappningsstrategin och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenariona. Beräkningarna är ursprungligen framtagna på uppdrag av Vattenfall Vattenkraft AB.

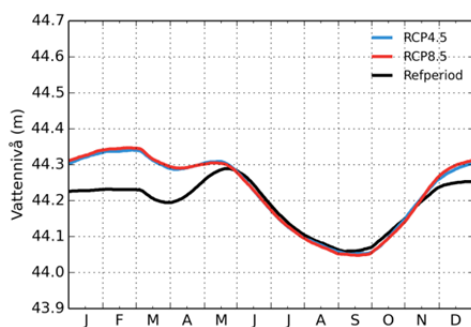
	Förändring i beräknad högsta vattennivå (cm)
RCP 4.5 (2021-2050)	+1 (-39 till +80)
RCP 8.5 (2021-2050)	+16 (-16 till +66)
RCP 4.5 (2069-2098)	+34 (-8 till +82)
RCP 8.5 (2069-2098)	+33 (-15 till +76)

4.2.6 Årsvariation

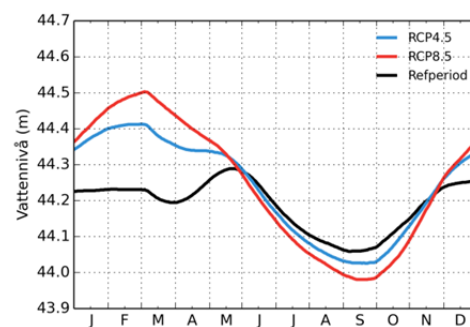
Figur 20 visar hur vattennivån i Vänern varierar under året för de båda tappningsstrategierna Nuvarande strategi och Naturanpassad strategi 1.

För Nuvarande strategi visar de båda klimatscenarierna RCP4.5 och RCP8.5 mycket lika förändring av vattenståndsvariationen för perioden 2021-2050. Även för regleringsalternativet Naturanpassad 1 är de båda klimatscenarierna mycket lika vid

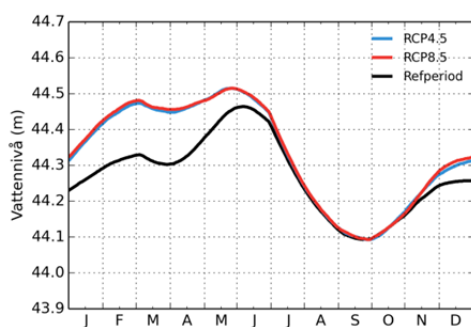
mitten av seklet. Vid slutet på seklet är förändringen större för RCP8.5, med högre nivåer i början på året och lägre nivåer under sommarmånaderna. För den naturanpassade strategin blir vattennivåerna högre i början av året än med den nuvarande strategin.



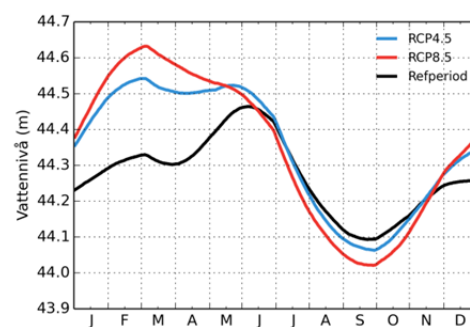
Nuvarande strategi, period 2021-2050



Nuvarande strategi, period 2069-2098



Naturanpassad 1, period 2021-2050



Naturanpassad 1, period 2069-2098

Figur 20. Vattennivåns variation i Vänern under året för den Nuvarande tappningsstrategin och för den Naturanpassade tappningsstrategin 1. Svart linje visar klimatsceneriarnas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 och röd linje RCP8.5 för framtidsperioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

Den årliga vattenståndsvariationen är viktig för att förhindra igenväxning av Vänerns stränder. Beräkningar har gjorts av hur många år som vattenståndsvariationen över året är större än 0,7 meter (Tabell 11). Nivån 0,7 m är vald eftersom det är medelvariationen inom ett år för perioden 1939-2007, dvs. från att Vänern reglerades tills den nuvarande tappningsstrategin började tillämpas.

För den naturanpassade strategin blir vattenståndsvariationerna större än 0,7 m under 11 av 30 år i dagens klimat. Motsvarande siffra för den nuvarande strategin är 3 av 30 år. För båda strategierna blir det vanligare med stor vattennivåvariation i framtiden.

Tabell 11. Antal år som vattenståndsvariationen är större än 0,7 m för dagens klimat, 1961-1990 samt förändringen av antalet år till perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningarna är gjorda för två olika tappningsstrategier samt för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

Tappningsstrategi	Dagens klimat [Antal år]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring antal år]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring antal år]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring antal år]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring antal år]
Nuvarande strategi	3	+1 (-4 till +5)	+3 (-2 till +12)	+6 (+1 till +18)	+13 (+5 till +19)
Naturanpassad 1	11	+2 (-2 till +7)	+4 (0 till +9)	+8 (+4 till +17)	+13 (+7 till +19)

4.2.7 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 för två framtidsperioder, 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningarna för dagens klimat baseras på beräknat vattenstånd från tappningsmodellen, där vattenståndet har beräknats baserat på tillrinningen till sjön och given tappningsställare. Förändringen för framtidsperioderna är beräknade som klimatsceniernas medelvärden för RCP 4.5 samt RCP 8.5 jämfört med klimatsceniernas referensperioder.

Tabell 12. Beräknade medelvärden (antal dagar/år) över eller under olika vattennivåer för dagens klimat, 1961-1990. Fyra olika tappningsstrategier har använts, nuvarande strategi och naturapassad 1 med dagens maxtappning 1030 m³/s samt den högre maxtappningen 1500 m³/s.

Tappningsstrategi	[m.ö.h]	Dagens klimat [antal dagar]
Nuvarande strategi 1030	>45	2
	<43,8	3
Nuvarande strategi 1500	>45	0
	<43,8	3
Naturanpassad 1 1030	>45	2
	<43,8	3
Naturanpassad 1 1500	>45	2
	<43,8	3

I Tabell 12 visas medelvärdet av antalet dagar/år som vattenståndet i Vänern ligger över eller under olika nivåer för referensperioden 1962-1990. Tabell 13 visar förändringen av medelvärdet samt min och max för klimatscenierna RCP 4.5 och RCP 8.5 för de två framtidsperioderna. Beräkningarna visar att höga nivåer beräknas bli vanligare och även

låga nivåer väntas förekomma oftare. Vattennivån beräknas alltså variera i ökad utsträckning jämfört med dagens förhållanden.

Tabell 13. Förändringen i dagar över eller under olika vattenstånd för de två perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Beräkningarna har gjorts för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna. Fyra olika tappningsstrategier har använts, nuvarande strategi och naturanpassad 1 med dagens maxtappning 1030 m³/s samt den högre maxtappningen 1500 m³/s.

Tappningsstrategi		RCP 4.5 2021-2050 (Förändring i antal dagar)	RCP 8.5 2021-2050 (Förändring i antal dagar)	RCP 4.5 2069-2098 (Förändring i antal dagar)	RCP 8.5 2069-2098 (Förändring i antal dagar)
	[m.ö.h]				
Nuvarande strategi 1030	>45	+1 (-1 till +4)	+1 (-1 till +8)	+4 (0 till +14)	+5 (0 till +14)
	<43,8	- 2 (-6 till +1)	0 (-6 till +7)	+2 (-5 till +12)	+7 (-6 till +26)
Nuvarande strategi 1500	>45	+1 (0 till +3)	0 (0 till +4)	+2 (0 till +10)	+2 (0 till +5)
	<43,8	- 2 (-6 till +1)	0 (-6 till +6)	+2 (-5 till +12)	+7 (-6 till +26)
Naturanpassad 1 1030	>45	+1 (-1 till +5)	+2 (0 till +12)	+5 (0 till +17)	+6 (0 till +15)
	<43,8	- 2 (-5 till 0)	0 (-5 till +4)	1 (-5 till +11)	+3 (-5 till +16)
Naturanpassad 1 1500	>45	+1 (-1 till +4)	0 (0 till +5)	+2 (0 till +10)	+2 (0 till +5)
	<43,8	- 2 (-5 till 0)	0 (-5 till +4)	+1 (-5 till +11)	+3 (-5 till +17)

4.2.8 Varaktigheter i tappning

Beräkningar har gjorts med tidsserier från HBV-modellen där medelvärden 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 tidsserier från tappningsmodellen, där tappningen beräknats utifrån tillrinningen till sjön och given tappningsställare. Förändringen för framtidsperioderna

redovisas som klimatsceniernas medelvärden för RCP 4.5 samt RCP 8.5 jämfört med klimatsceniernas referensperioder.

I Tabell 14 visas medelvärdet av antalet dagar/år som tappningen ligger över 900 m³/s och under 170 m³/s för referensperioden 1962-1990.

Tabell 14. Beräknade medelvärden (antal dagar/år) med tappning över 900 m³/s och under 170 m³/s för dagens klimat, 1961-1990. Fyra olika tappningsstrategier har använts, nuvarande strategi och naturanpassad 1 med dagens maxtappning 1030 m³/s samt den högre maxtappningen 1500 m³/s.

Tappningsstrategi	[m ³ /s]	Dagens klimat [Antal dagar]
Nuvarande strategi 1030	>900	4
	<170	40
Nuvarande strategi 1500	>900	4
	<170	40
Naturanpassad 1 1030	>900	29
	<170	41
Naturanpassad 1 1500	>900	29
	<170	41

Tabell 15 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 tappningar beräknas bli vanligare i framtiden, och att även de låga tappningarna väntas förekomma oftare.

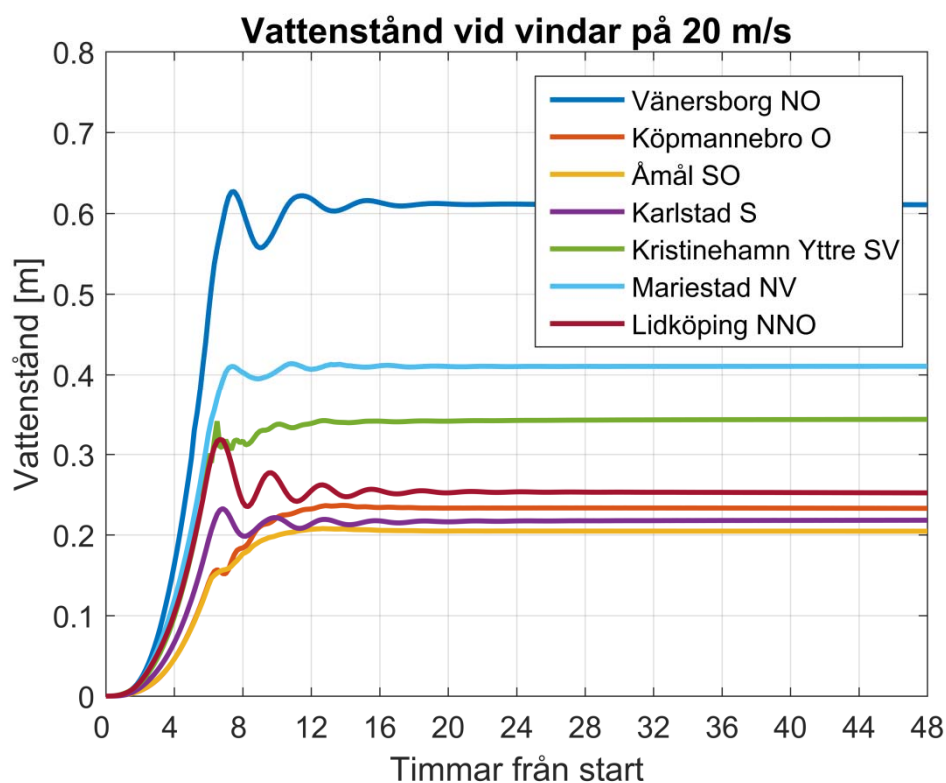
Tabell 15. Förändringen i dagar över eller under olika tappningar för de två perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Resultatet visas för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max- och minvärden för de olika scenarierna. Fyra olika tappningsstrategier har använts, nuvarande strategi och naturanpassad 1 med dagens maxtappning 1030 m³/s samt den högre maxtappningen 1500 m³/s.

Tappningsstrategi		RCP 4.5 2021-2050 (Förändring i antal dagar)	RCP 8.5 2021-2050 (Förändring i antal dagar)	RCP 4.5 2069-2098 (Förändring i antal dagar)	RCP 8.5 2069-2098 (Förändring i antal dagar)
Nuvarande strategi 1030	>900	+8 (-5 till +22)	+9 (-1 till +43)	+16 (+2 till +43)	+29 (+8 till +50)
	<170	+5 (-17 till +35)	+9 (-19 till +31)	+19 (-14 till +58)	+34 (-1 till +78)
Nuvarande strategi 1500	>900	+8 (-4 till +22)	+9 (-1 till +42)	+15 (+1 till +40)	+28 (+7 till +47)
	<170	+5 (-17 till +35)	+9 (-17 till +42)	+20 (-14 till +58)	+28 (+7 till +47)
Naturanpassad 1 1030	>900	+18 (+1 till +39)	+20 (+9 till +50)	+30 (+12 till +56)	+43 (+22 till +63)
	<170	-5 (-28 till +13)	+1 (-28 till +21)	+7 (-23 till +42)	+17 (-20 till +28)
Naturanpassad 1 1500	>900	+17 (+1 till +39)	+19 (+9 till +47)	+29 (+12 till +51)	+41 (+21 till +48)
	<170	-4 (-28 till +14)	+1 (-27 till +21)	+7 (-23 till +42)	+18 (-19 till +59)

4.3 Vinduppstuvning

Simulerad vinduppstuvning vid vindar med en hastighet på 20 m/s i den för platsen mest ogynnsamma vindriktningen listas i Tabell 16 för orterna i Figur 8. Exempelvis har den stationära vinduppstuvningen vid Vänersborg beräknats till 0,6 m och till 0,25 m i Köpmannebro. Anledningen till att det skiljer i nivå beror på lokala förhållanden såsom strandlinjens utsträckning och vattendjup. Ner mot Vänersborg är det en relativt långsmal grund vik medan det är större vattendjup och mera öppna förhållanden vid Köpmannebro. Den stationära vinduppstuvningen beräknad för Kristinehamn gäller utanför Vålösundet och Varnumsviken. För nivåer inne i Varnumsviken krävs mer detaljerade studier vilket inte ryms inom ramen av detta projekt. Positionerna för beräknad stationär vinduppstuvning är markerade i Figur 8 för respektive plats.

I Figur 21 visas det simulerade vattenståndets utveckling för ett antal platser vid Vänern vid vind med en hastighet som går från 0 till 20 m/s på 6 timmar och därefter hålls konstant på 20 m/s. Figuren visar att vattenståndet når en stationär nivå efter ca 12 timmar från simuleringsstart. Därtill syns svängningar i början av simuleringen när vattenståndet etablerar sig, särskilt tydligt vid Lidköping och Vänersborg.



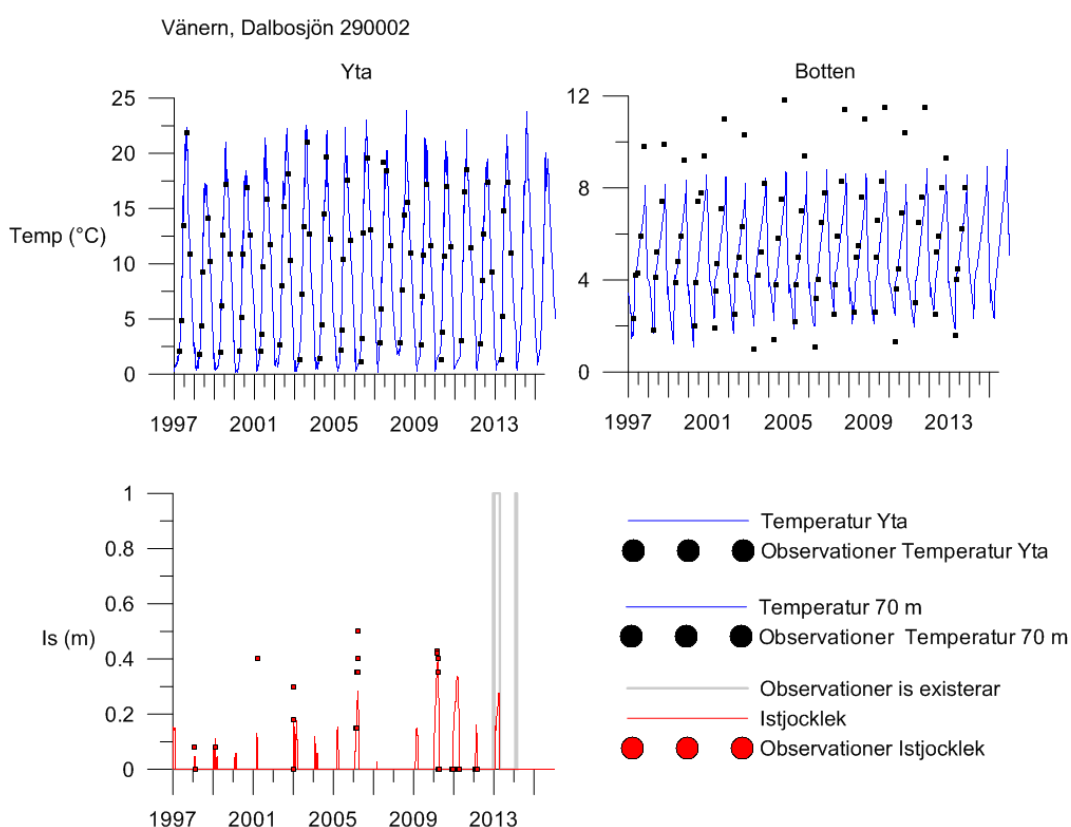
Figur 21. Vattenståndets utveckling för ett antal platser vid Vänern vid vind med en hastighet som går från 0 till 20 m/s på 6 timmar och därefter hålls konstant på 20 m/s. Vindriktningen är den för platsen mest ogynnsamma.

Tabell 16. Beräknad stationär vinduppstuvning för olika platser runt Vänern vid en vindhastighet på 20 m/s.

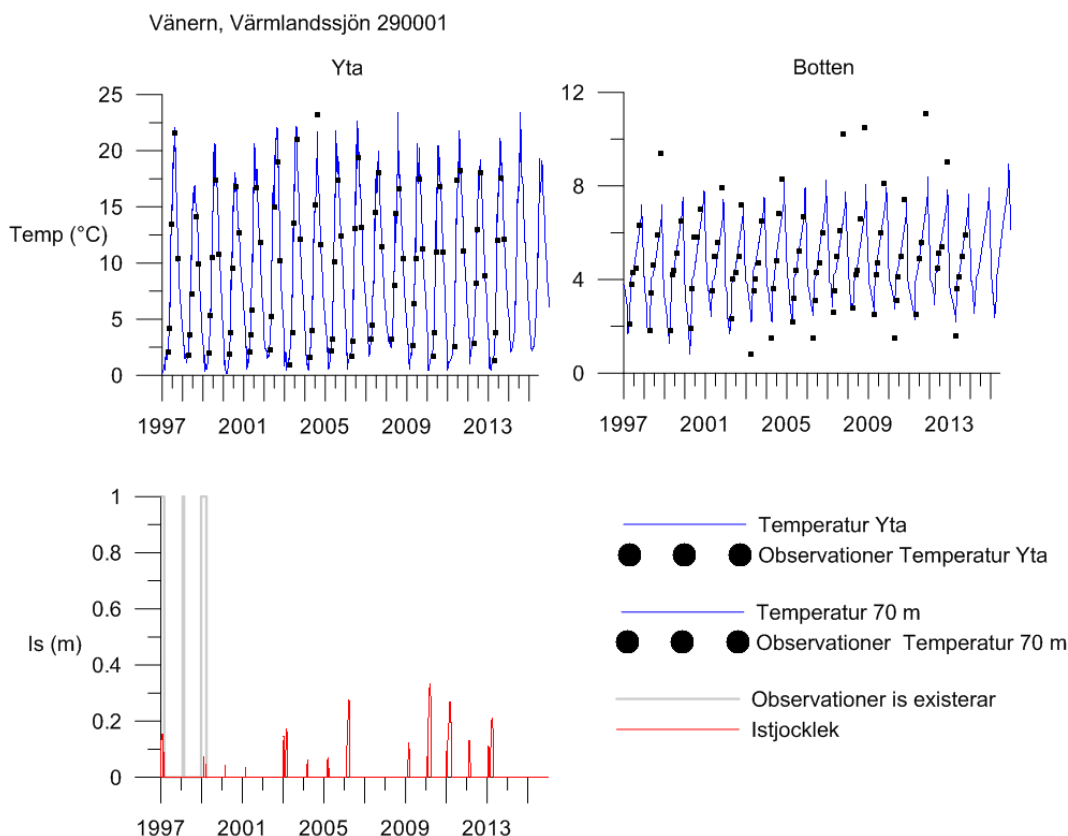
Läge	Vindriktning	Vinduppstuvning (m)
Vänersborg	NO	0,60
Mellerud	O	0,25
Köpmannebro	O	0,25
Åmål	SO	0,20
Säffle	SSO	0,15
Grums	SSO	0,15
Karlstad	S	0,20
Skoghall	SSV	0,15
Kristinehamn yttre	SV	0,35
Otterbäcken	V	0,25
Mariestad	NV	0,40
Lidköping	NNO	0,25

4.4 Vattentemperatur och is

I syfte att validera modellberäkningarna från Kustzonsmodellen i Dalbosjön och Värmlandssjön har beräkningarna jämförts med uppmätta data (Figur 22 och 23). Överst i figurerna presenteras de beräknade värdena för temperaturen i ytvattnet och bottenvattnet från modellen samt observationer av dessa parametrar för stationerna Mergrundet och Tärnan. Den nedersta grafen visar simulerad istjocklek. Beräkningen för förekomsten av is är grov eftersom den beskrivs på samma sätt horisontellt inom respektive bassäng. Det går till exempel inte att beskriva förekomst av is i mindre vikar och samtidigt ett öppet vatten i de mer öppna delarna. Simuleringarna av is kan dock ge en indikation på hur förekomsten av is påverkas i ett framtida klimat. I grafen för istjocklek visar modellen att det förekommer is under 14 av de 19 åren mellan 1997-2015.

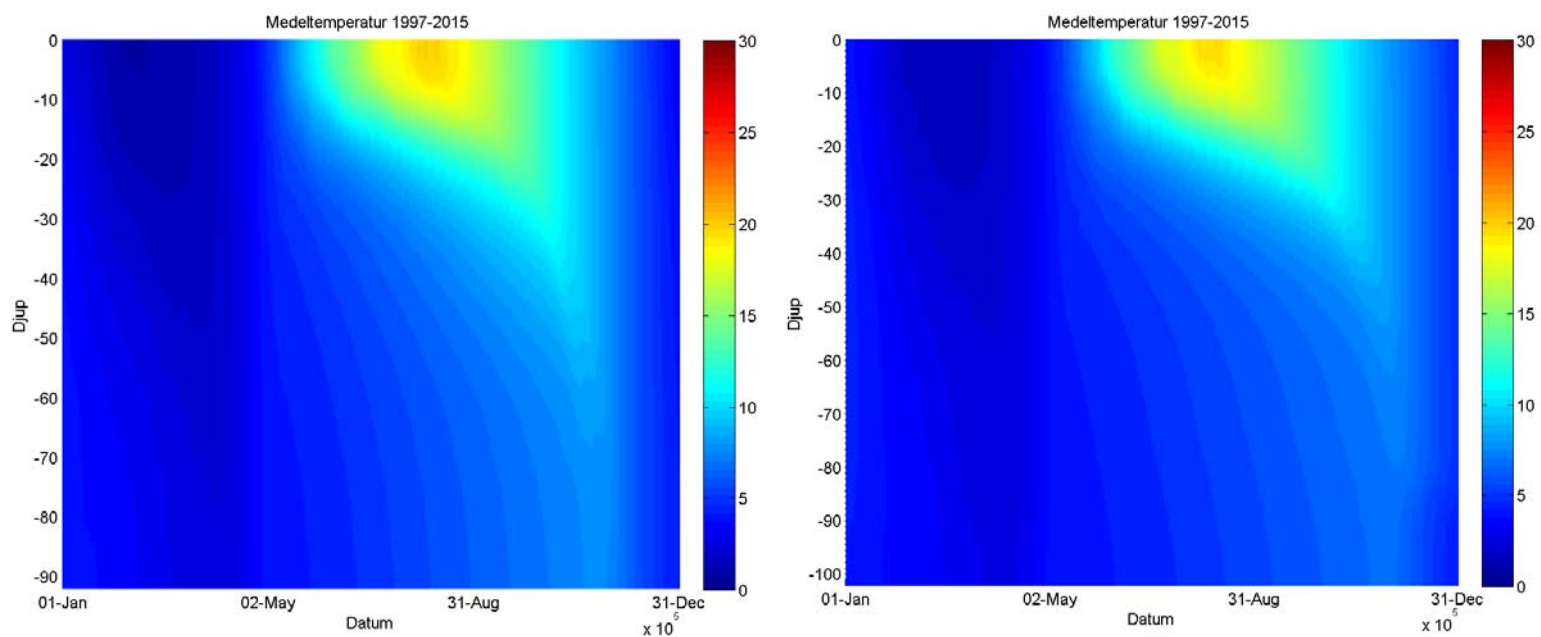


Figur 22. De två övre graferna visar simulerad temperatur °C (blå) i yta respektive botten (70 m) i Dalbosjön. Observationer är från stationen Mergrundet (svart). Den nedre grafen visar simulerad istjocklek i meter (röd) samt en markering om någon is har observerats (grå graf visar 1) eller om ingen observation finns (grå graf visar 0) i Vänersborgsviken. Observationer för huruvida det fanns is eller inte finns bara för perioden 2012-2014. Röda punkter visar uppmätt istjocklek i meter.

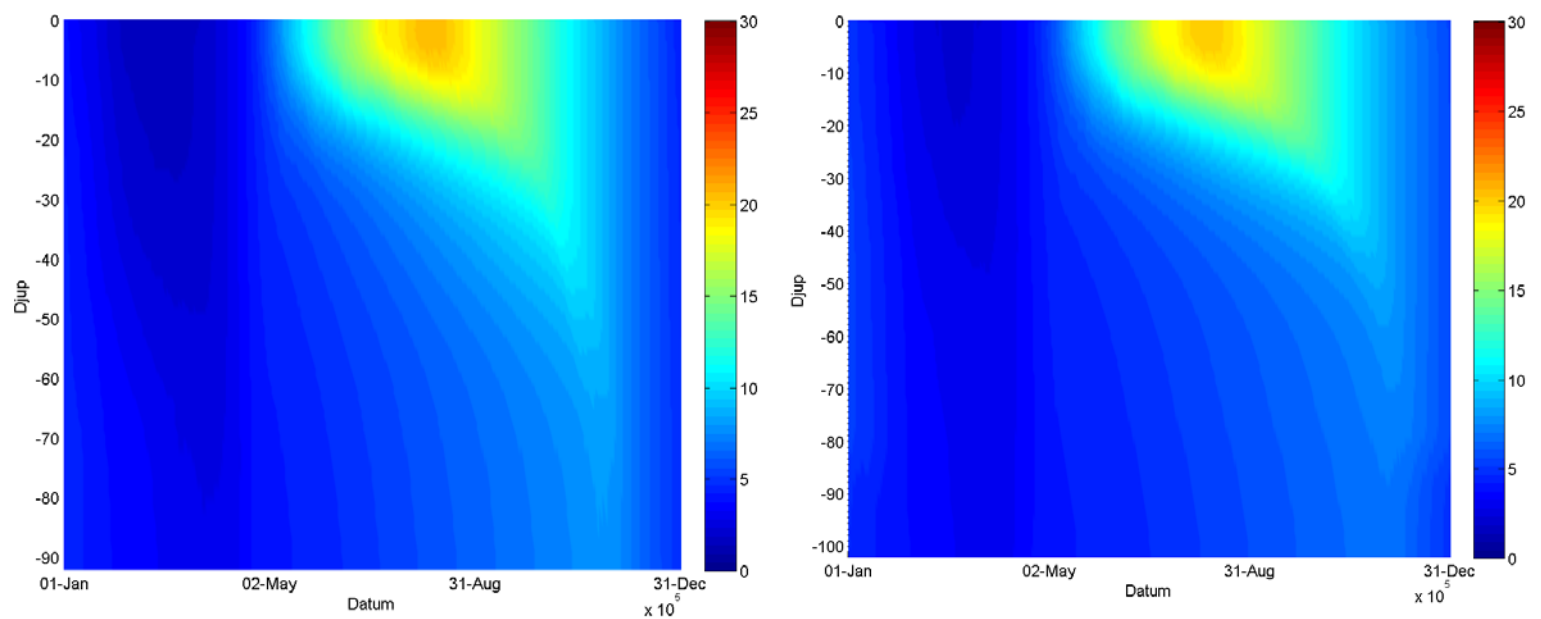


Figur 23. De två övre graferna visar simulerad temperatur °C (blå) i yta respektive botten(70 m) i Värmlandssjön. Observationer är från stationen Tärnan (svart). Den nedre grafen visar simulerad istjocklek i meter (röd) samt en markering om någon is har observerats (grå graf visar 1) eller om någon is inte har observerats eller om ingen observation finns (grå graf visat 0) i Mariestadssjön. Observationer för huruvida det fanns is eller inte finns bara för perioden 1997-1999.

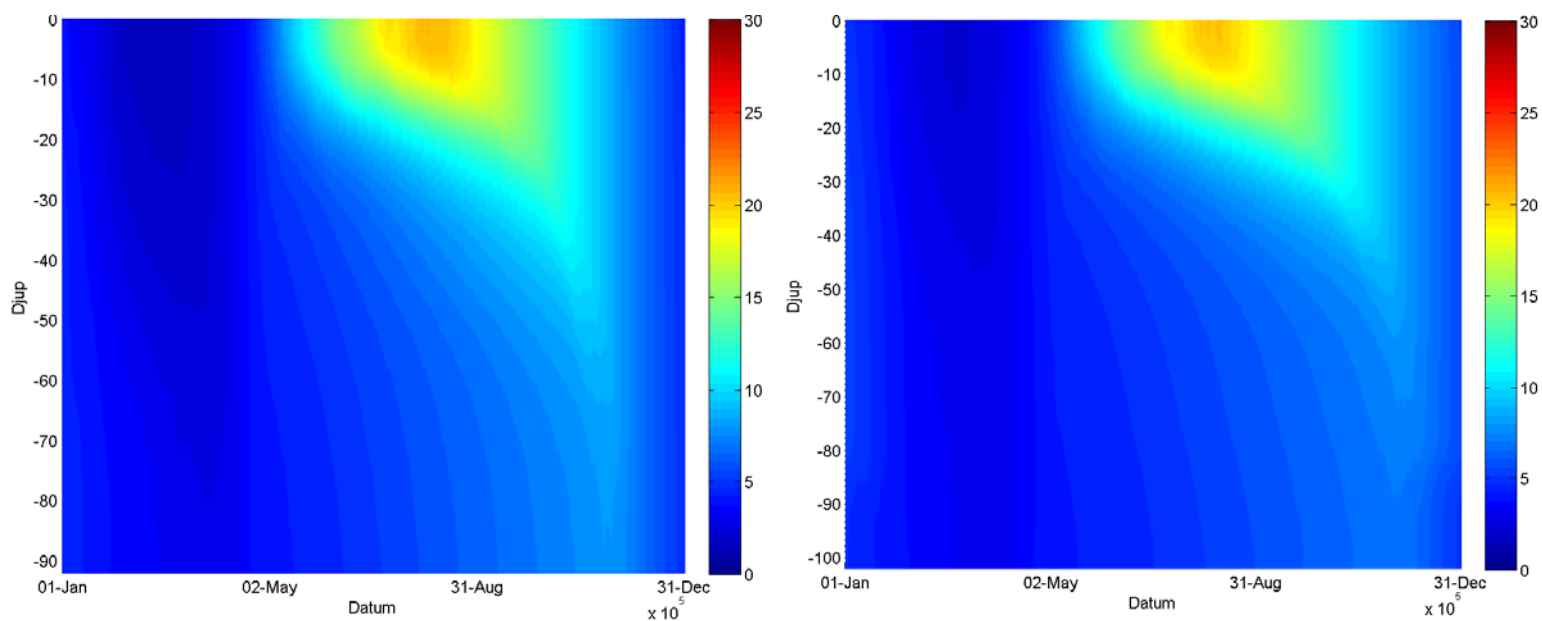
För att illustrera hur temperaturen ser ut i hela profilen visas den simulerade temperaturen för alla djup under ett normalår (Figur 24). Normalåret innehåller medelvärdesbildade temperaturer för varje dag under perioden 1997-2015. Sommartid kan en temperaturgradient i djupled ses, vilket tyder på att sjön är skiktad. Resultat från motsvarande beräkning för framtida klimat visas i Figur 24 till 28.



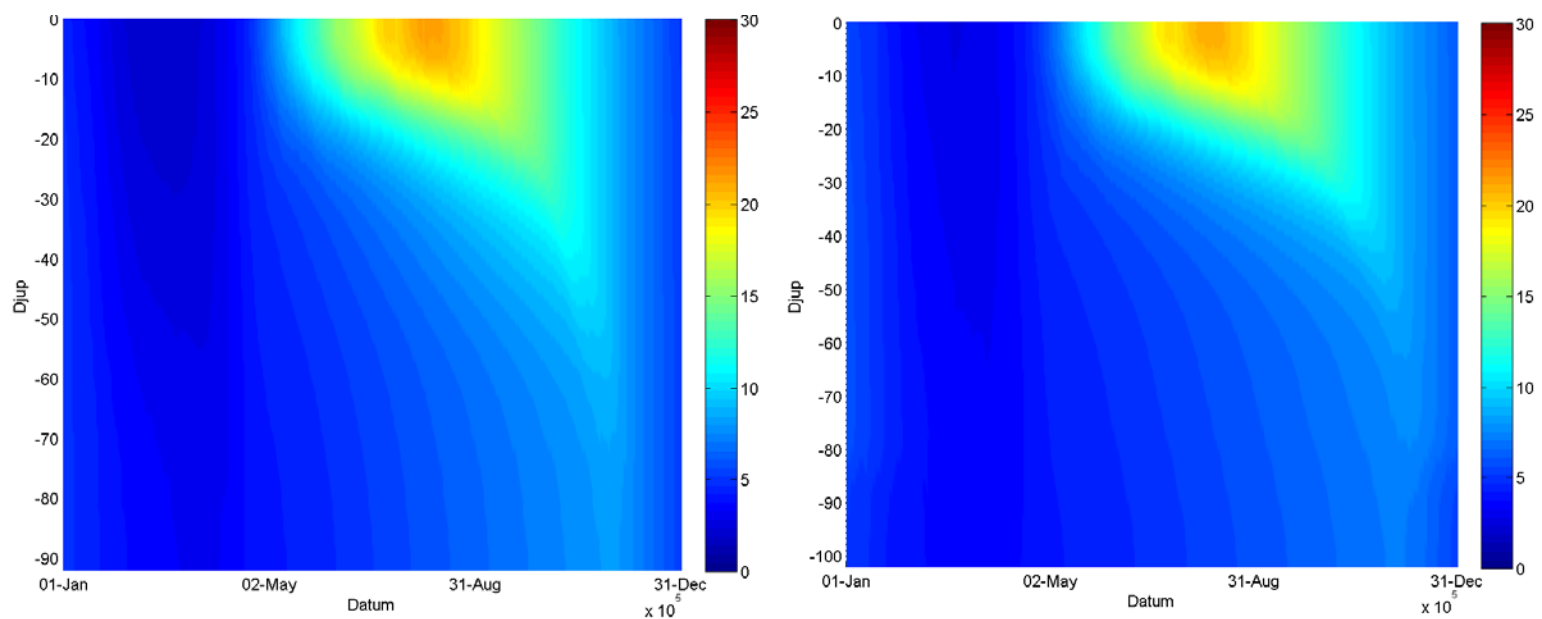
Figur 24. Simulerad temperatur för alla djup (m) under ett normalår (1997-2015) i Vänern. Till vänster den västra bassängen Dalbosjön och till höger den östra bassängen Värmlandssjön.



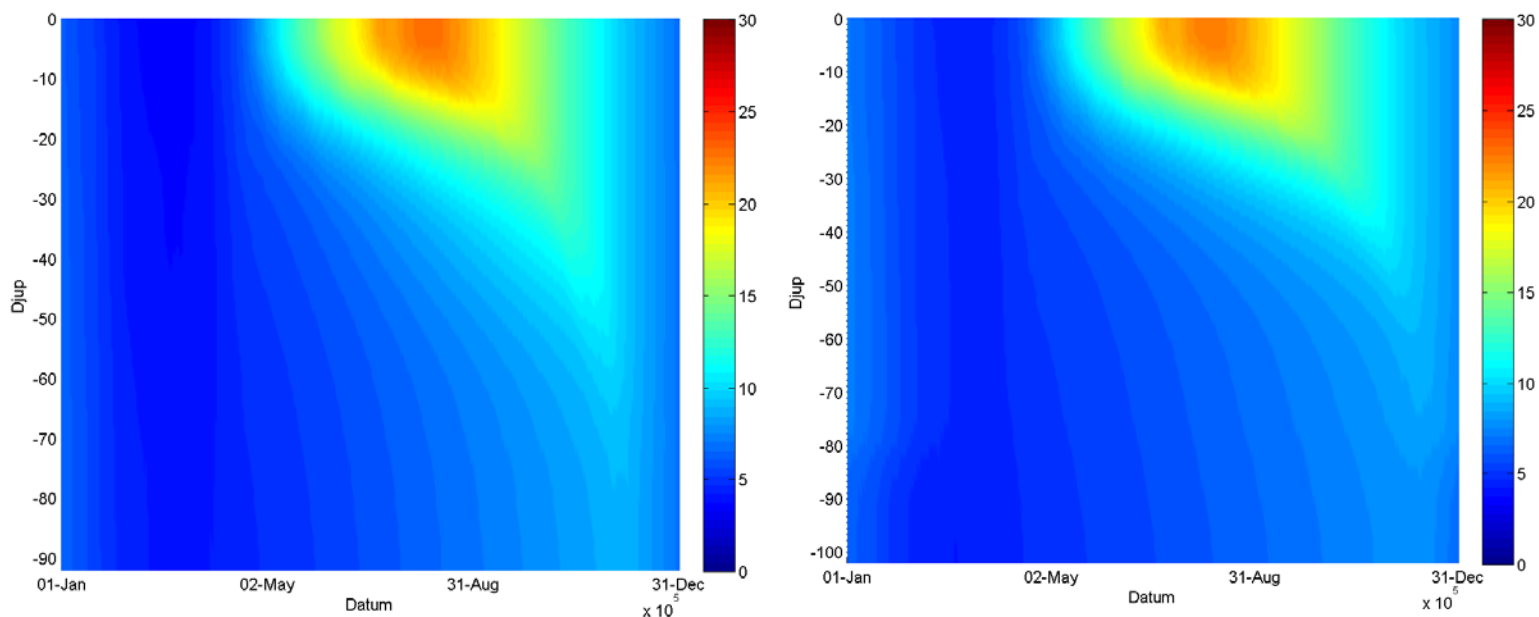
Figur 25. Simulerad temperatur för alla djup (m) under ett normalår baserat på perioden 2032-2050 och med RCP 4.5 i Vänern. Till vänster den västra bassängen Dalbosjön och till höger den östra bassängen Värmlandssjön.



Figur 26. Simulerad temperatur för alla djup (m) under ett normalår baserat på perioden 2032-2050 och med RCP 8.5 i Vänern. Till vänster den västra bassängen Dalbosjön och till höger den östra bassängen Värmlandssjön.



Figur 27. Simulerad temperatur för alla djup (m) under ett normalår baserat på perioden 2080-2098 och med RCP 4.5 i Vänern. Till vänster den västra bassängen Dalbosjön och till höger den östra bassängen Värmlandssjön.



Figur 28. Simulerad temperatur för alla djup (m) under ett normalår baserat på perioden 2080-2098 och med RCP 8.5 i Vänern. Till vänster den västra bassängen Dalbosjön och till höger den östra bassängen Värmlandssjön.

För att se hur temperatur och is förändras, enligt RCP 4.5 samt RCP8.5, under de framtida perioderna 2032-2050 och 2080-2098 har ett antal indikatorer valts ut, Tabell 17-18.

Medeltemperaturen ökar i både yt- och bottenvatten till perioden i mitten av seklet och ytterligare något till perioden i slutet av seklet. Skillnaden i medeltemperatur är liten mellan RCP 4.5 och 8.5 i mitten av seklet men i slutet av seklet visar resultaten en större ökning i scenario RCP 8.5.

Förekomsten av dagar då temperaturen överstiger 15 respektive 20 grader i ytvattnet ökar i båda scenarierna med störst ökning för scenario RCP8.5 i slutet av seklet. Vid jämförelse med referensperioden ökar antalet dagar med skiktning medan antalet dagar med is minskar för båda scenarierna.

Tabell 17. Olika parametrar för simulerad vattentemperatur och is i Dalbosjön, dels för referensperioden 1997-2015, dels ändringen till perioderna 2032-2050 samt 2080-2098. Beräkningar är gjorda för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I detta fall har det inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena men värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. Därför presenteras resultaten i halvgrader och antal dagar.

	Period 1997-2015	Förändring till period 2032-2050 RCP4.5	Förändring till period 2032-2050 RCP8.5	Förändring till period 2080-2098 RCP4.5	Förändring till period 2080-2098 RCP8.5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	9,0	+1,0	+1,0	+1,5	+3,0
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	5,0	+0,5	+0,5	+0,5	+1,0
Maxtemperatur ytvatten, grader C	24,0	+0,5	+1,0	+1,5	+3,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >5 grader C	227	+17	+18	+29	+70
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >10 grader C	158	+13	+13	+21	+46
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >15 grader C	94	+11	+13	+21	+41
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >20 grader C	15	+7	+8	+17	+49
Antal dagar/år med skiktning *	28	+1	+2	+5	+9
Antal dagar/år med is	36	-22	-22	-27	-34
Antal år med is	15 av 19	10 av 19	10 av 19	6 av 19	3 av 19

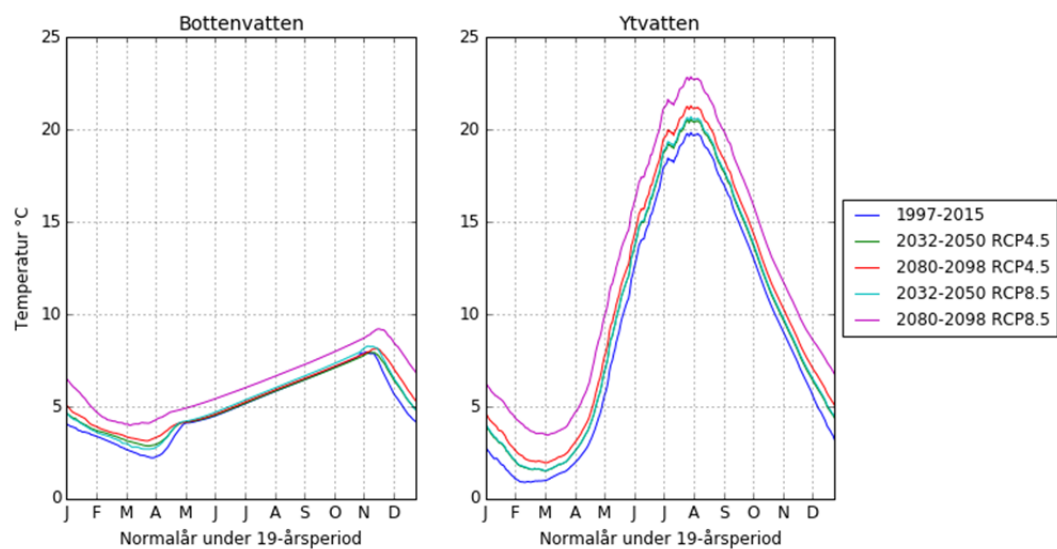
*Skiktning definierats enligt den metod som beskrivs i stycke 3.1.3.

Tabell 18. Olika parametrar för simulerad vattentemperatur och is i Värmlandssjön, dels för referensperioden 1997-2015, dels förändringen till perioderna 2032-2050 samt 2080-2098. Beräkningar är gjorda för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I detta fall har det inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena så de ska betraktas som ungefärliga förändringar. Därför presenteras resultaten i halvgrader och antal dagar.

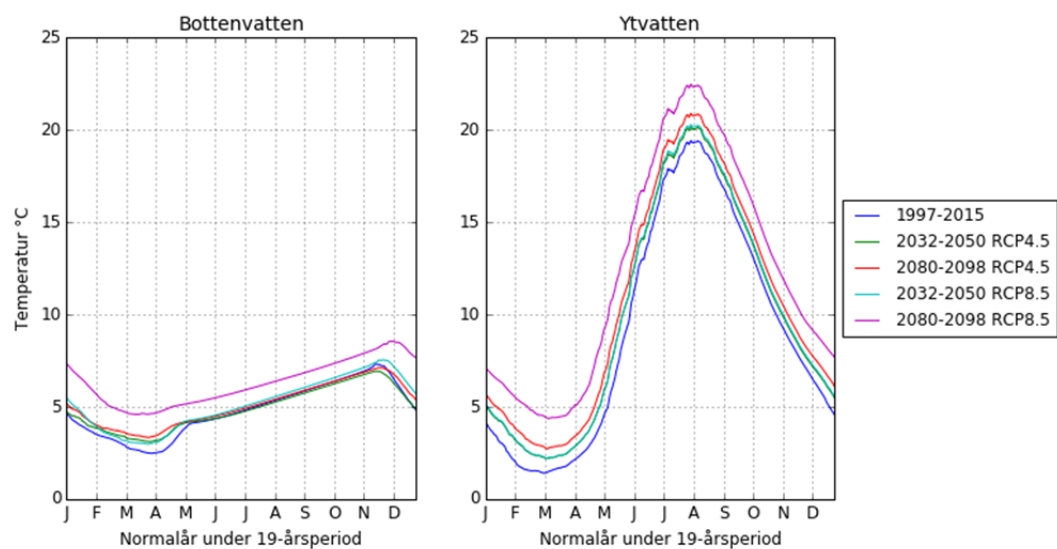
	Period 1997-2015	Förändring till period 2032-2050 RCP4.5	Förändring till period 2032-2050 RCP8.5	Förändring till period 2080-2098 RCP4.5	Förändring till period 2080-2098 RCP8.5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	9,0	+1,0	+1,0	+1,5	+3,0
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	4,5	+0,5	+0,5	+0,5	+1,5
Maxtemperatur ytvatten, grader C	23,5	+1,0	+1,0	+1,5	+3,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >5 grader C	233	+20	+21	+35	+86
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >10 grader C	153	+12	+13	+23	+52
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >15 grader C	88	+11	+13	+22	+44
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvatten >20 grader C	12	+6	+7	+15	+45
Antal dagar/år med skiktning	23*	+3	+4	+6	+12
Antal dagar/år med is	25	-17	-17	-20	-25
Antal år med is	12 av 19	6 av 19	6 av 19	4 av 19	1 av 19

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

I ett framtida klimat ökar temperaturen i Vänerns yt- och bottenvatten jämfört med referensperioden. Temperaturen för ett normalår som baseras på 19-årsperioden redovisas i Figur 29 och 30. Störst skillnad är det mellan referensperioden och den framtida perioden 2080-2098 i scenario RCP8.5. Förändringen är ungefär lika stor under hela året.



Figur 29. Simulerad temperatur för bottenvattnen och ytvatten under ett normalår i Vänern, Dalbosjön för referensperiod (blå) och framtidsscenarier (övriga).



Figur 30. Simulerad temperatur för bottenvattnen och ytvatten under ett normalår i Vänern, Värmlandssjön för referensperiod (blå) och framtidsscenarier (övriga).

5 Diskussion och slutsatser

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

Konsekvenserna av förändringarna kommer att behandlas i en kommande rapport, där även Vättern, Mälaren och Hjälmaren ingår.

5.1 Vattennivåer och tappningar

I detta projekt har nya beräkningar för Vänerns vattennivå gjorts och resultatet skiljer sig från tidigare beräkning. Jämfört med Bergström m.fl. (2010) är 100-årsnivån oförändrad medan beräknad högsta vattennivå blir ca 0,2 m högre. Det beror på att beräkningarna har blivit mer noggranna, framförallt med förbättringar i HBV-modellen (Tabell 19).

Tabell 19. Jämförelser mellan 100-årsnivå, 200-årsnivå och BHW i de nya beräkningarna och tidigare (Bergström 2010).

	2017	2010	Skillnader mellan beräkningar
100-årsnivå	45,32 m	Ca 45,33 m	2017: Längre dataserie, 1810-2016 2017: Flera fördelningsfunktioner använda, varav den med bäst anpassning till data valts ut. 2010: Endast översiktlig beräkning för den nuvarande strategin
200-årsnivå	45,47 m	Inte beräknat för den nuvarande strategin	
BHW	46,27 m	46,08 m	2017: HBV-modellen har en bättre beskrivning av området uppströms Vänern med bland annat regleringar inlagda. En ny kalibrering har gjorts och det finns en förbättrad magasinstabell för Vänern. 2017: Ytterligare ca 6 år med observationsdata finns.

Beräkningar har gjorts för hur vattennivån i Vänern påverkas om tappningen från Vänern ökar till 1200 m³/s eller 1500 m³/s. Det är dock osäkert om det kommer att gå att tappa ut så mycket vatten från Vänern på grund av översvämningens risk längs älven. Vattennivån i Göta älv påverkas av havets nivå ända upp till Lilla Edet. I dagens vattendom finns en bestämmelse att tappningen måste minskas från 1000 till 900 m³/s när havsnivån är hög. Det blir troligen svårare att tappa stora mängder vatten från Vänern i ett framtida klimat med en högre havsnivå, men det har inte tagits hänsyn till det i beräkningarna i denna rapport.

I beräkningarna för den nuvarande tappningsstrategin har ingen hänsyn tagits till att Vattenfall har tillgång till prognoser över tillrinningen till Vänern, som styr beslutet om tappningen. Enligt Bergström m.fl. (2010) kan dessa prognoser leda till att den beräknade högsta nivån sänks med ca en dm.

5.2 Vattennivåer och tappningar i ett framtida klimat

Resultatet från de nya beräkningarna skiljer sig från tidigare beräkningar. Förändringarna i framtida 100-årsnivå är i de nya beräkningarna högre än tidigare (Bergström m.fl. 2010). Förändringen i beräknad högsta vattennivå är ungefär lika stor som i de tidigare beräkningarna. För dessa beräkningar finns nu nya förutsättningar (Tabell 20).

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. Något samlat mått på osäkerheten har inte gått att ta fram.

Tabell 20. Förändring i 100-årsnivå, 200-årsnivå och BHW till slutet på seklet jämfört med referensperioden 1961-1990. Jämförelse mellan de nya beräkningarna (2017) och tidigare beräkningar (Bergström 2010). För beräkningarna från 2017 visas medelförändring samt max- och minvärden för de olika scenarierna.

	2017 (RCP4.5)	2017 (RCP8.5)	2010 (Övervägande A1B*)	Skillnader mellan beräkningarna
Förändring i 100-årsnivå	+0,41 m (+0,14 till +1,10)	+0,49 m (+0,12 till +0,76)	Ca +0,20 m	2017: En ny generation klimatmodeller och en annan kombination av globala och regionala modeller. Ett mer systematiskt urval av klimatscenarioer. 2017: Nya utsläppsscenarioer, varav RCP8.5 är ett högt utsläppsscenario. 2017: HBV-modellen har en bättre beskrivning av området uppströms Väner med bland annat regleringar inlagda. En ny kalibrering har gjorts och det finns en förbättrad magasininställning för Väner.
Förändring i 200-årsnivå	+0,45 m (+0,15 till +1,22)	+0,54 m (+0,13 till +0,84)	Inte beräknad tidigare	
Förändring i BHW	+0,34 m (-0,08 till +0,82)	+0,33 m (-0,15 till +0,76)	Ca +0,2 till 0,4 m	2017: En ny generation klimatmodeller och en annan kombination av globala och regionala modeller. Ett mer systematiskt urval av klimatscenarioer. 2017: Nya utsläppsscenarioer, varav RCP8.5 är ett högt utsläppsscenario. 2017: HBV-modellen har en bättre beskrivning av området uppströms Väner med bland annat regleringar inlagda. En ny kalibrering har gjorts och det finns en förbättrad magasininställning för Väner.

*Scenariot A1B är ett utsläppsscenario i den förra generationen klimatberäkningar. Utsläppen av växthusgaser ligger något högre än RCP4.5.

5.3 Vinduppstuvning

Den hydrodynamiska tredimensionella beräkningsmodellen för Vänern har kontrollerats mot observerat vattenstånd (Bilaga C). Friktionen från vinden på vattenytan samt friktionen mot botten har anpassats, inom rimliga gränser, för att ge en tillfredställande beskrivning av vattenståndet i Vänern. 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 Pålgrunden har använts som drivning, men det vore önskvärt att använda ett vindfält som varierar i både tiden och rummet. Testsimuleringar för Vänern har utförts med vinddrivning från analysmodellen MESAN (<http://www.smhi.se/klimatdata/oppna-data/meteorologiska-data/analysmodell-mesan-1.30445>). Baserat på data från MESAN har ett vindfält och lufttryck som varierar i både tiden och rummet använts. Vindhastigheten i MESAN underskattas dock över Vänern vilket leder till att förändringarna i det simulerade vattenståndet underskattas.

De simulerade vattennivåerna i Vänern skiljer sig från de tidigare nivåerna beräknade med överslagsmässiga metoder. En del orter har fått högre värden på vinuppstuvningen, medan andra fått lägre värden (Tabell 21). En orsak till denna skillnad är att modellen tar hänsyn till lokala förhållanden såsom strandlinjens horisontella utsträckning och bottenvariationerna medan man vid överslagsmässiga beräkningar exempelvis endast använder sig av ett medeldjup över bassängen samt bassängens längd.

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.

Tabell 21. Jämförelser mellan vinduppstuvning med den nya beräkningsmodellen 2017 och med överslagsberäkningar 2010.

Läge	2017 Beräkningsmodell Vinduppstuvning (m)	2010 Överslagsberäkningar Vinduppstuvning (m)
Vänersborg	0,60	0,50
Mellerud	0,25	0,30
Köpmannebro	0,25	0,30
Åmål	0,20	0,30
Säffle	0,15	0,30
Grums	0,15	0,20
Karlstad	0,20	0,30
Skoghall	0,15	-
Kristinehamn yttre	0,35	0,50
Otterbäcken	0,25	0,30
Mariestad	0,40	0,40
Lidköping	0,25	0,20

5.4 Vattentemperatur

Det här är första gången beräkningar av vattentemperaturer i framtida klimat görs för Vänern. Trots att modellen är enkel ger den resultat som överensstämmer väl med observationer för dagens klimat. Det har dock varit svårt att validera beräkningsresultatet eftersom det inte finns så mycket mätningar.

Med den metoden som använts för beräkning av vattentemperatur och isförhållanden har det av beräkningstekniska skäl inte gått att ta fram 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 Ida Axelsson Wall och Leif Gustavsson, Länsstyrelsen Värmland, Anna Georgieva Lagell och Håkan Alexandersson, Länsstyrelsen Västra Götaland, Marianne Magnusson Lidköpings kommun, Sara Peilot, Vänerns vattenvårdsförbund, Lars Joelsson, Vattenfall, Per Lagerström, Sjöfartsverket, David Schälin, SGI, Christer Jansson, LRF, Bertil Hallman Trafikverket, Lena Blom, Göteborgs stad och Laila Gibson, Vänersamarbetet. Vi vill tacka referensgruppen för värdefulla synpunkter och diskussioner.

Vi vill också tacka Katarina Losjö, Johan Andreasson, Sten Bergström, Niclas Hjerdt, Lena Lindström, Jörgen Sahlberg och Walter Gyllenram på SMHI för stor hjälp under olika delar av arbetet med rapporten.

Vi vill också rikta ett stort tack till Lars E Engberg på Lantmäteriet för hjälp med höjdsystem och landhöjning, Bilaga A.

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.
- Bergström, S., Andréasson, J., Asp, M., Caldarulo, L., German, J., Lindahl, S., Losjö, K. och Stensen, B. (2010). Fördjupad studie rörande översvämningsriskerna för Vänern – slutrapport. SMHI 2010-85.
- Blumenthal, B (2010). När Vänern svämmade över. Händelseutveckling och konsekvenser av översvämningen 2000/2001. Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads universitet. Rapport 2010:1.
- Eklund, A. och Bergström, S. (2014). Tappningsstrategi med naturhänsyn för Vänern Strategi 1 och 2. PM SMHI. Dnr 2013/343/9.5
- Finsberg, C. Pro Natura. 2015. Inventering av Vänerns strandvegetation i stråk 2014. Stråkvis inventering 2014. Vänerns vattenvårdsförbund, 2015. Rapport nr 87.
- 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
- Koffman, A., Lundkvist, E., Hebert, M. och Thorell, M. (2014). Vänerns vattenreglering - Effekter och konsekvenser för flora, fauna och friluftsliv. Calluna AB.
- 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 län och Vattenfall (2008). En ändrad tappningsstrategi för Vänern- överenskommelse mellan Länsstyrelsen Västra Götaland och Vattenfall AB. Dnr 450-11125-2008.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2011). Stigande vatten. En handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. Till denna hör tre faktablad för Vänern, vattendrag och kusten.
- 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 (2011). Identifiering av områden med betydande översvämningsrisk Steg 1 i förordningen (2009:956) om översvämningsrisker - preliminär riskbedömning. Dnr 2011-2996.
- MSB (2014). Vägledning för översvämningskartering av vattendrag. Fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning.

- Sahlberg, J. (2009). The Coastal Zone Model. SMHI Reports Oceanography. No.98
- Sjörkvist 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.
- SOU (2006) Översvämningsshot - Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. SOU 2006:94.
- 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.
- Vänerns vattenvårdsförbund (2016) Övergripande riskanalys för Vänern som råvattentäkt. Rapport nr 97.
- Västerbygdens vattendomstols (1937) Dom den 1937-06-19 angående Vänerns reglering. Mål A.M. 27/1925.
- 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.

2017-10-10

PM

Vänerns vattennivå och landhöjning

LARS E ENGBERG

Denna PM är ett försök att beskriva hur man bör resonera vid konvertering av Vänerns vattenstånd från RH 00 Vänersborg till RH 2000.

Bakgrund

Regleringen av Vänern styrs av vattennivåer angivna i "Vänerns höjdsystem" dvs. RH 00 i Vänersborg. Eftersom övrig information i huvudsak refererar till höjder i RH 2000 behöver dessa vattennivåer också redovisas i RH 2000. Det finns ett flertal parametrar som påverkar en sådan konvertering.

Medelvattenstånd

Enligt Faktablad – Vänern motsvarar Vänerns medelvattenstånd höjden 44,34 m i RH 00, dvs. nivån 2,90 m under SMHI:s höjdfix Vänersborg b (LM-nr 081*2*5901). Eftersom Vänern är reglerad och avtappas i Vänersborg kan vi anta att relationen mellan medelvattennivån och höjdfix Vänersborg b är konstant. Det innebär att höjdskillnaden 2,90 m gäller oberoende av höjdsystem. Av tabell 1 framgår att höjden i RH 2000 för nämnda höjdfix är 47,549 m, vilket ger att Vänerns medelvattenstånd i Vänersborg har höjden 44,649 m i RH 2000.

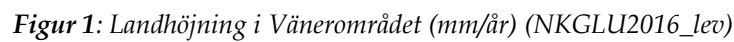
Tabell 1: Höjdfix i Vänersborg

Namn	LM-nr	RH 00	RH 2000	Skillnad
Vänersborg b	081*2*5901	47,24 m	47,549 m	0,309 m

Landhöjning

Landhöjningen över Vänern varierar med lägsta värden sydväst och högsta värden i nordost, se figur 1.

En effekt av olika landhöjning är att Vänern stjälpas och utan avtappning skulle medelvattennivån öka i Vänersborg och minska i Karlstad. Genom avtappningen hålls nivån konstant i Vänersborg men sänks fortfarande i Karlstad. Under antagandet att Vänerns medelvattenyta är en nivåyta i jordens potentialfält kommer medelvattennivån i Karlstad att sjunka ca 14 cm under en hundraårsperiod.

[illegible]

Figur 2: Relativ landhöjning i Vänerområdet (mm/år)

Konvertering av höjdvärden

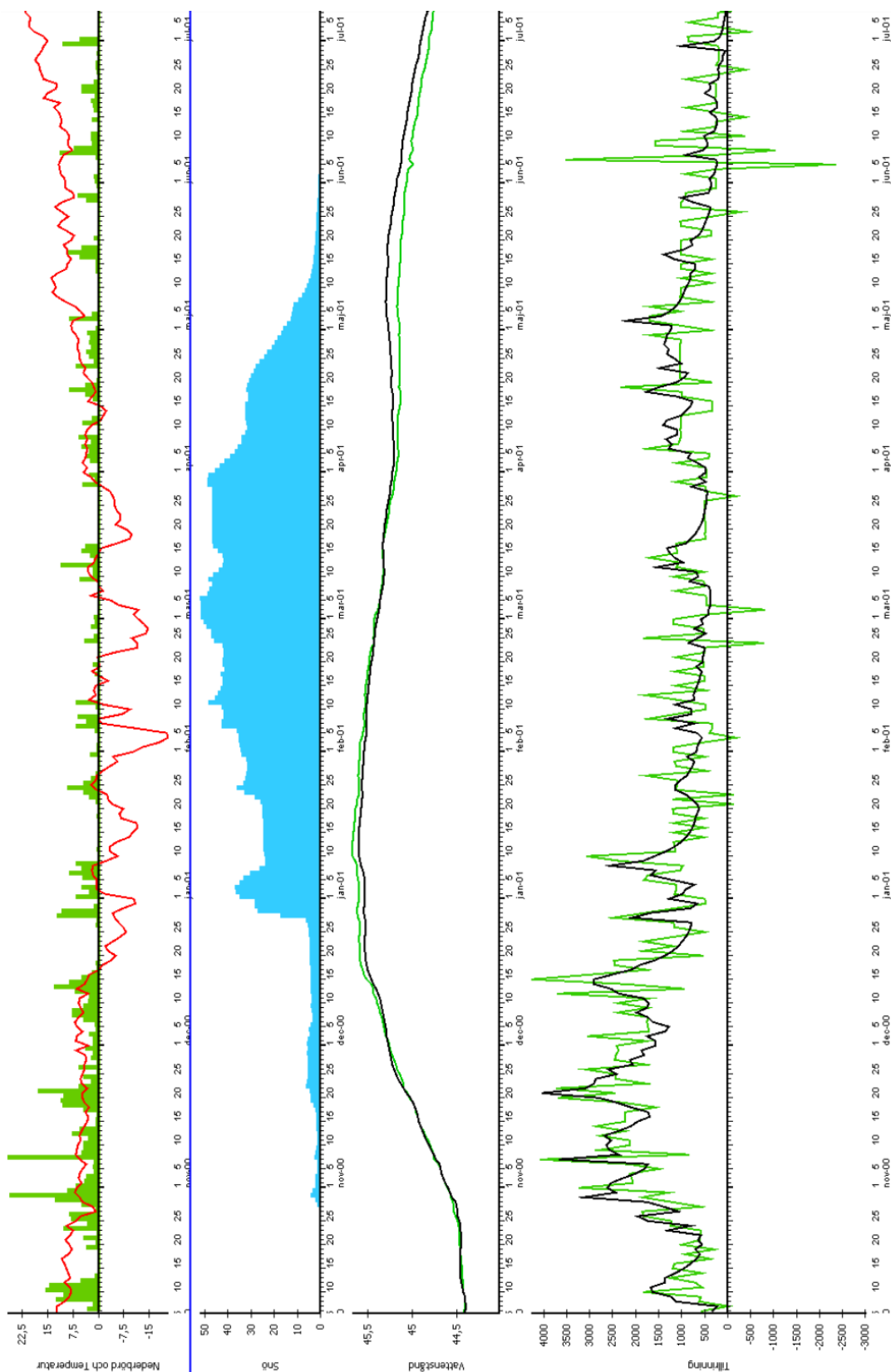
För att konvertera vattennivåer angivna i Vänerns höjdsystem, RH 00 Vänersborg, till RH 2000 adderas systemskillnaden 0,309 m. På grund av olika landhöjning kommer den faktiska medelvattennivån att avvika från denna nivå.

Tabell 2: Vattennivåns avvikelse pga landhöjning (m)

Ort	Systemskillnad (m)	Relativ landhöjning (mm/år)	Landhöjningseffekt (m)		
			År 2000	År 2050	År 2100
Karlstad	0,309	1,36	0	-0,068	-0,136
Kristinehamn	0,309	1,37	0	-0,068	-0,137
Otterbäcken	0,309	0,99	0	-0,050	-0,099
Sjötorp	0,309	0,85	0	-0,042	-0,085
Mariestad	0,309	0,68	0	-0,034	-0,068
Lidköping	0,309	0,33	0	-0,016	-0,033
Vänersborg	0,309	0,00	0	0,000	0,000
Sunnanå	0,309	0,42	0	-0,021	-0,042
Köpmannebro	0,309	0,49	0	-0,025	-0,049
Åmål	0,309	0,83	0	-0,042	-0,083
Säffle	0,309	0,97	0	-0,048	-0,097
Grums	0,309	1,24	0	-0,062	-0,124

Bilaga B. Kalibrering av HBV-modellen

Modellberäknad tillrinning till Vänern (totalt) under delar av 2000 och 2001, beräknad med modellerad reglering i uppströms magasin. Överst nederbörd (staplar) och temp, i mitten snö (blå staplar), därefter vattenstånd (svart modellberäknad och grön observerad), nederst tillrinning (svart modellberäknad och grön observerad).



Bilaga C. Validering av vindberäkningar

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 utvalda tidsperioderna. Det är dessa inställningar som använts vid simuleringarna för stationär vinduppstuvning för Vänern.

I Vänern har Sjöfartsverkets mätningar av vattenståndet vid Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp använts, se Figur 8 för lokalisering. Observationer finns för var tionde minut från 2009 och framåt.

Som drivning av modellen har observerade vindar från SMHI:s automatstation vid Pålgrunden använts (se Figur 8). Pålgrunden är belägen ungefär mitt i Vänern och står helt oskyddad så det förekommer inga läande effekter och det är den station som bedöms vara mest representativ för vindar över Vänern. Tidsserien baseras på observationer av 10 minuters medelvind för varje timme.

Kontrollsimuleringar har utförts för tre tidsperioder, 21-27 december 2009, 24-28 mars 2014 samt 20-28 mars 2015. Tidsperioderna har valts utifrån inträffade intressanta händelser med avseende på vindhastighet och riktning samt uppmätt vattenstånd.

December 2009

Vindens hastighet och riktning vid Pålgrunden för perioden 21-27 december 2009 visas i Figur C1. Under denna tidsperiod förekommer två intressanta händelser. Vid den första händelsen förekommer vindhastigheter på ca 13 m/s från NO och vid den andra händelsen förekommer vindhastigheter på strax över 15 m/s från NO.

Simulerat och observerat vattenstånd vid de fyra platserna Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp visas i Figur C2. Vattenståndet har en tydlig respons på vinden med högre vattenstånd vid Dalbobron och till viss del även i Sunnanå vid händelserna för högre vindhastigheter från NO och lägre vattenstånd i Skoghall och Sjötorp vid samma tillfällen.

Överensstämmelsen mellan observerat och simulerat vattenstånd är mycket god vid alla fyra observationsplatserna. Vid Dalbobron överskattas vattenståndshöjningen något för den andra händelsen.

Mars 2014

Vindens hastighet och riktning vid Pålgrunden för perioden från 24 till 28 mars 2014 visas i Figur C3. Under denna tidsperiod förekommer en längre period med ihållande nordostliga vindar, samtidigt som vindhastigheten ökar upp mot ca 15 m/s.

Simulerat och observerat vattenstånd vid de fyra platserna Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp visas i Figur C4. Vattenståndet har en tydlig respons på vinden med en höjning av vattenståndet vid Dalbobron och till viss del även i Sunnanå och med en sänkning av vattenståndet i Skoghall och Sjötorp.

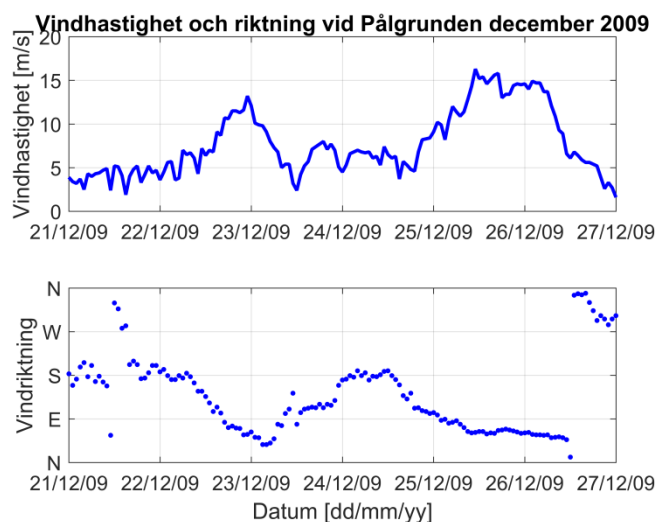
Överensstämmelsen mellan observerat och simulerat vattenstånd är god vid alla fyra observationsplatserna. Vid Dalbobron underskattas vattenståndshöjningen och även vid Sunnanå underskattas vattenståndshöjningen något.

Mars 2015

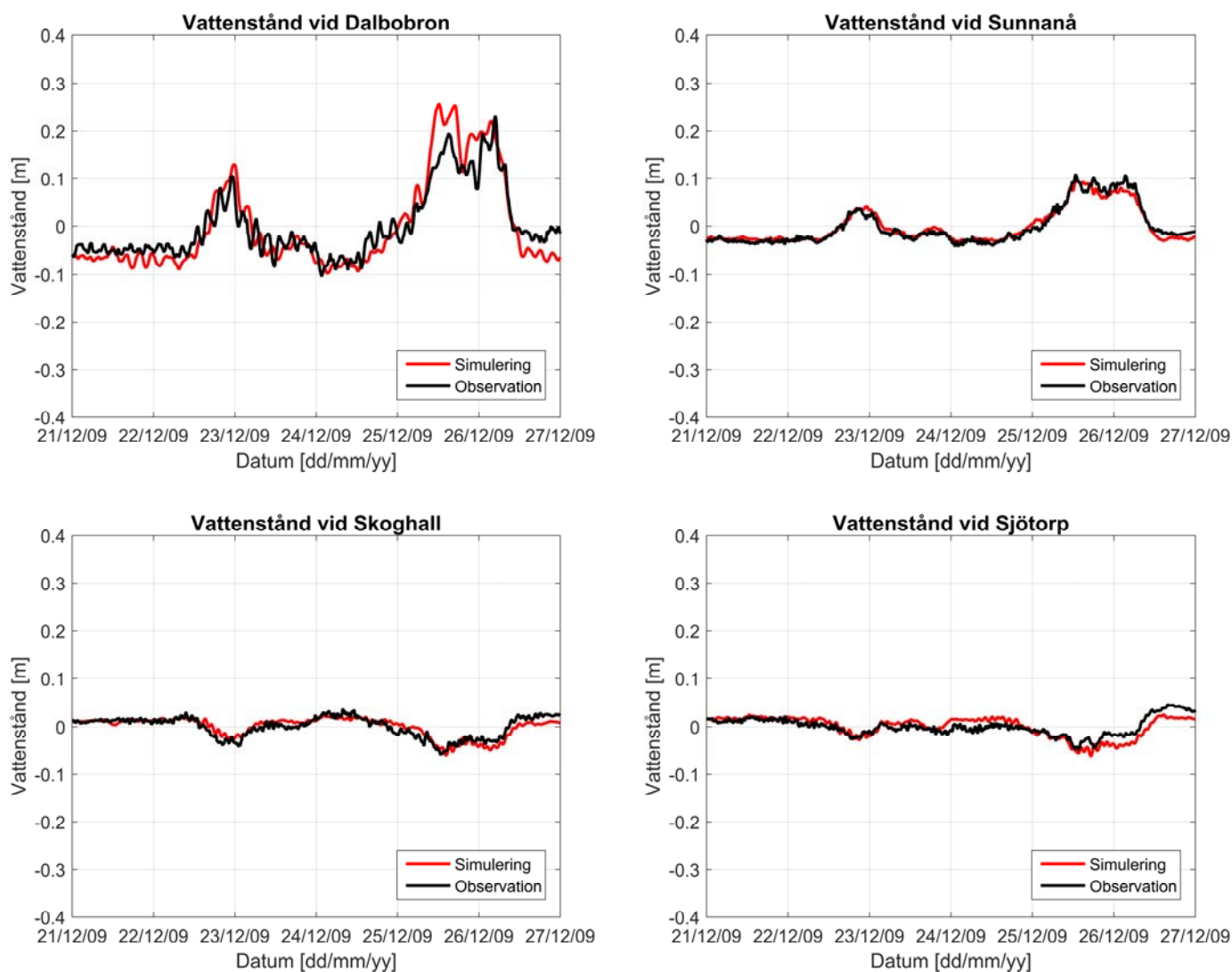
Vindens hastighet och riktning vid Pålgrunden för perioden från 20 till 28 mars 2015 visas i Figur C5. Under tidsperioden förekommer tre intressanta händelser. Vid den första händelsen är det nordostliga vindar med en hastighet på ca 13 m/s. Därefter har man en period med sydvästliga vindar med en hastighet på strax över 15 m/s och en varaktighet på ca 1,5 dygn. Mot slutet av perioden är vindarna ostliga med en hastighet på ca 15 m/s vid två tillfällen.

Simulerat och observerat vattenstånd vid de fyra platserna Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp visas i Figur C6. Vid Sunnanå och Sjötorp är det mycket god överensstämmelse mellan simulerat och observerat vattenstånd. Vid Skoghall är observationerna något skakiga under denna period men om man bortser från det ser det även här ut att vara god överensstämmelse mellan observerat och simulerat vattenstånd.

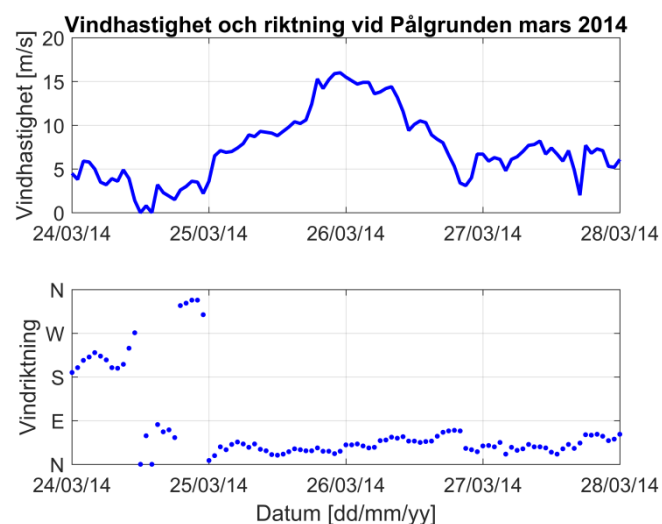
Vid Dalbobron, där det är störst variationer av vattenståndet, underskattar modellen vattenståndshöjningen något vid den första händelsen vid vindar från NO. Vid den andra händelsen med vindar från SV sjunker vattenståndet och modellen överskattar här sänkningen något. Vid den tredje händelsen med vindar från O sker en vattenståndshöjning vid Dalbobron, vilken överskattas något av modellen.



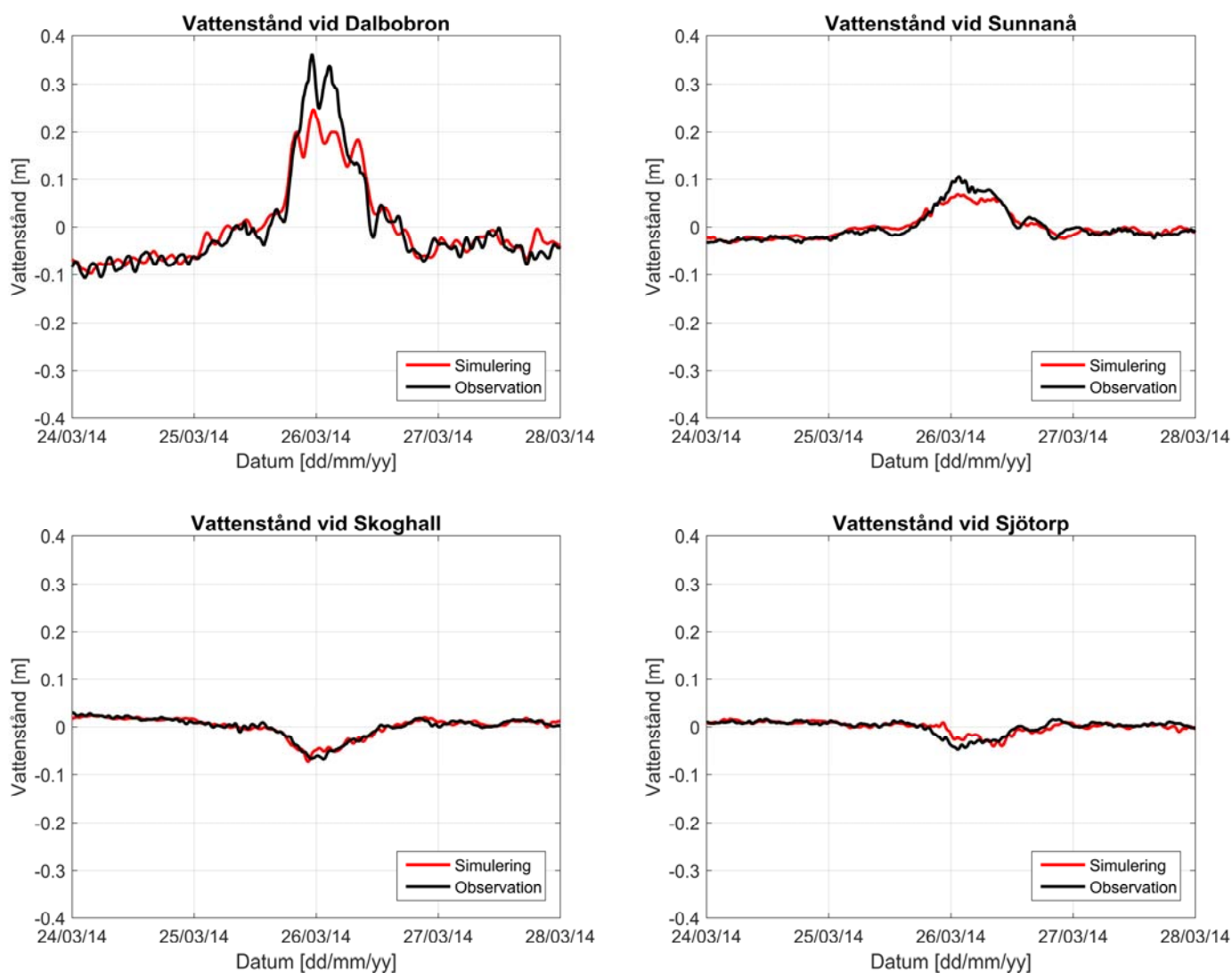
Figur C1. Vindhastighet och riktning vid Pålgrunden december 2009.



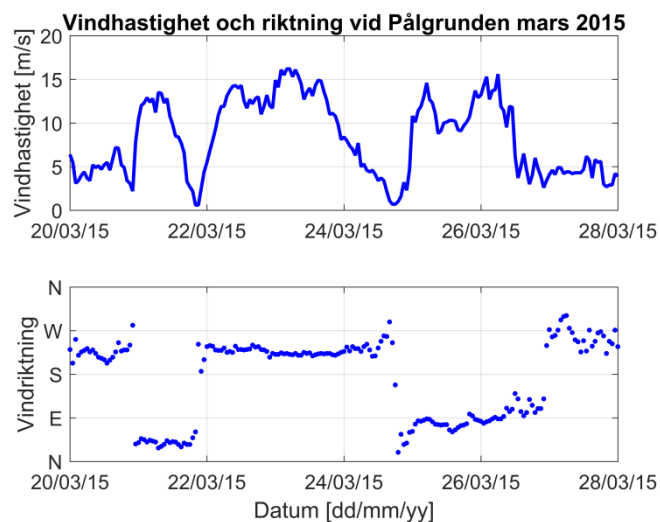
Figur C2. Simulerat (röd linje) och observerat (svart linje) vattenstånd vid Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp i december 2009.



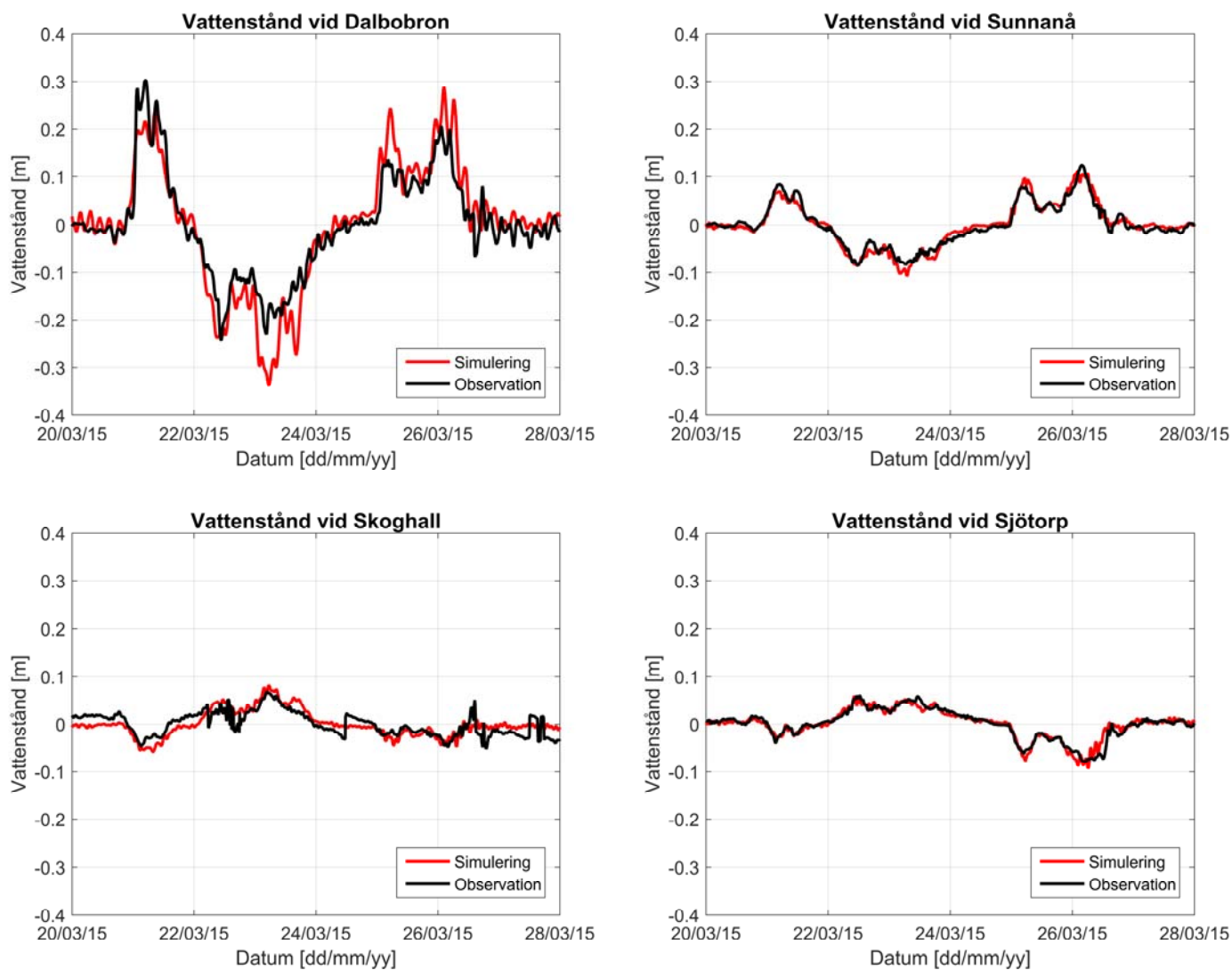
Figur C3. Vindhastighet och riktning vid Pålgrunden mars 2014.



Figur C4. Simulerat (röd linje) och observerat (svart linje) vattenstånd vid Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp i mars 2014.



Figur C5. Vindhastighet och riktning vid Pålgrunden mars 2015.



Figur C6. Simulerat (röd linje) och observerat (svart linje) vattenstånd vid Dalbobron, Sunnanå, Skoghall och Sjötorp i mars 2015.

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

I Tabell D1 visas resultat från beräkningen av 100-årsnivå och 200-årsnivå för perioden 1810-2016. KS-testet tittar på största avvikelsen mellan datamaterialets empiriska fördelningsfunktion, och fördelningens fördelningsfunktion. Ett lågt värde på KS-test innebär en bättre anpassning. Kolmogorov Smirnovs anpassningstest finns beskrivet av t.ex. Marsaglia m.fl. (2003).

Tabell D1. Resultat från beräkningar av 100-årsnivå och 200-årsnivå för Väner.

Fördelningsfunktion	100-årsnivå		200-årsnivå		KS-test
	Värde (m)	95 % konfidens- intervall	Värde (m)	95 % konfidens- intervall	
GEV	45,32	45,05-45,60	45,47	45,11-45,85	0,81
Weibull	45,11	45,01-45,18	45,15	45,03-45,24	1,00
Log Pearson typ III	45,27	45,04-45,48	45,38	45,09-45,67	-
Lognormal	45,09	44,96-45,20	45,15	44,99-45,29	0,98
Gumbel	45,28	45,03-45,52	45,41	45,08-45,73	0,85

Bilaga E. Värden till länsstyrelsernas rekommendationer Stigande vatten Faktablad Vänern.

Här sammanfattas de värden som utgör grunden för en kommande uppdatering av faktablad Vänern till Stigande Vatten (Länsstyrelserna i Värmland och Västra Götaland, 2011). För en mer detaljerad beskrivning av beräkningarna hänvisas till metod- och resultatkapitel i denna rapport. Värdena anges här på cm-nivå, men osäkerheterna är stora.

Sifforna redovisas som värden i RH 00 Vänersborg. För omräkning till RH 2000 och landhöjningseffekt hänvisas till Bilaga A, som också blir ett underlag till Stigande vatten, faktablad Vänern.

Inom projektet har en dialog förts med länsstyrelserna vid Vänern. Länsstyrelserna har gjort några val kring vad nivåerna ska baseras på:

- Den nuvarande tappningsstrategin ska användas.
- För framtida klimat väljs scenariot RCP8.5 för perioden 2069-2098.
- Den dynamiska vinduppstuvningen antas vara 50 % av den stationära. Detta är i linje med vad som använts tidigare (Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län, 2011).

Tabell E1. 100-årsnivå, 200-årsnivå och Beräknad högsta vattennivå (Samma sak som tidigare kallats dimensionerande nivå) för den nuvarande tappningsstrategin. I parentes visas 95 % konfidensintervall. Värdet för beräknad högsta vattennivå är framtaget åt Vattenfall Vattenkraft AB. Beräkningarna för 100-årsnivå och 200-årsnivå baseras på beräkningar 1810-2016.

100-årsnivå	200-årsnivå	Beräknad högsta vattennivå
45,32 (45,05-45,60)	45,47 (45,11-45,85)	46,27

Tabell E2. Förändring i beräknad vattennivå från referensperioden 1961-1990 till 2069-2098. Observera att resultatet endast visas för utsläppsscenariet RCP8.5. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max- och minvärden för de olika scenarierna. Värdet för beräknad högsta vattennivå är framtaget åt Vattenfall Vattenkraft AB.

	Klimateffekt, 100-årsnivå	Klimateffekt, 200-årsnivå	Klimateffekt Beräknad högsta vattennivå
RCP 8.5 (2069-2098)	+49 (+12 till +76)	+54 (+13 till +84)	+33 (-15 till +76)

Tabell E3. Beräknad stationär vinduppstuvning för olika platser runt Vänern vid en vindhastighet på 20 m/s samt dynamisk vinduppstuvning på 50 % av den stationära vinduppstuvningen.

Läge	Vinduppstuvning (m)	Dynamisk/temporär vinduppstuvning (50 %) (m)
Vänersborg	0,60	0,30
Mellerud	0,25	0,125
Köpmannebro	0,25	0,125
Åmål	0,20	0,10
Säffle	0,15	0,075
Grums	0,15	0,075
Karlstad	0,20	0,10
Skoghall	0,15	0,075
Kristinehamn yttre	0,35	0,175
Otterbäcken	0,25	0,125
Mariestad	0,40	0,20
Lidköping	0,25	0,125

SMHI:s 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:

- | | | | |
|---|---|-----|--|
| 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 | 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) |
| 2 | Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete | 8 | Att begränsa klimatiförändringar. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag från arbetsgrupp 3 (WG 3) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change (2015) |
| 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 | 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 |
| 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 | 10. | Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014) |
| 5 | Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012 | 11. | Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier |
| 6 | Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige | 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 |
| | | 13. | Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen. |

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, vattentemperaturer och is i Vättern
Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
43. Anna Eklund, Anna Johnell, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Maria Andersson, Cajsa-Lisa Ivarsson, Jonas German, Elin Sjökvist och Elinor Andersson (2017)
Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmaren
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